

Nutzung von IFC für den Informationsaus- tausch bei Ausschreibungen - Machbarkeitsanalyse



Rodriguez, Jérémy

Thesis-Begleiter:

Prof. Lukas Schildknecht

Thesis-Expert:

Marcel Chour, CRB

Praxispartner:

CRB

Eigenständigkeitserklärung

"Ich erkläre hiermit,

dass ich die vorliegende Master-Thesis mit dem Titel «Nutzung von IFC für den Informationsaustausch bei Ausschreibungen — Machbarkeitsanalyse» selbst und selbständig verfasst habe,

dass ich sämtliche nicht von mir selbst stammenden Textstellen bzw. Bestandteile eines Werkes (Bilder, Grafiken, Codes, etc.) gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln korrekt zitiert und die verwendeten Quellen gut sichtbar erwähnt habe;

dass ich in einem Verzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots [z.B. ChatGPT], Übersetzungs- [z.B. DeepL] Paraphrasier- [z.B. Quillbot]) oder Programmierapplikationen [z.B. Github Copilot] Personen und Leistungen bezüglich Korrektur und/oder Lektorat deklariert und ihre Art der Verwendung offenlege und bei den entsprechenden Textstellen angegeben habe,

dass ich sämtliche immateriellen Rechte an von mir allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben habe oder dass diese Materialien von mir selbst erstellt wurden;

dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;

dass ich mir bewusst bin, dass meine Arbeit auf Plagiate und auf Drittautorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;

dass ich mir bewusst bin, dass die Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik einen Verstoß gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrundeliegenden Studierendenpflichten der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik verfolgt und dass daraus disziplinarische (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) Folgen resultieren können.“

Vorname Nachname: Jérémy Rodriguez

Ort, Datum: Bienne, le 20 Mai 2026

Unterschrift:

Abstract

Im Schweizer Bauwesen läuft die Phase der Ausschreibung heute weitgehend dokumentenzentriert ab. Auf der einen Seite das digitale Bauwerksmodell, das via IFC ausgetauscht wird. Auf der anderen Seite das Leistungsverzeichnis nach NPK, das im CRBX-Format gemäss SIA 451 und IfA 18 transportiert wird. Beide Welten sind ausgereift. Sie sprechen aber nicht miteinander, und so entsteht ein Medienbruch, der in jedem Projekt erneut von Hand überbrückt werden muss.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Frage, ob das offene IFC-Schema in der Version 4X3 als alleiniger Träger eines Schweizer Leistungsverzeichnisses tragfähig ist. Der Ansatz ist methodisch zweistufig: zuerst eine konzeptionelle Analyse mit Mapping-Schema und Variantenbewertung, dann ein Proof of Concept am Beispiel einer Eichenparkett-Position aus dem NPK-Kapitel 412. Die Ergebnisse werden anschliessend in zwei Experteninterviews — Anbietersicht und Normgebersicht — qualitativ validiert.

Der entwickelte Mapping-Ansatz (Variante V3) nutzt einen einzigen `IfcCostSchedule` als Wurzel, bildet die NPK-Hierarchie über `IfcCostItem` mit `IfcRelNests` ab, behandelt die NPK-Codes als externe Klassifikation via `IfcClassification`, und verknüpft Bauteil und Position über `IfcRelAssignsToControl`. Konditionen, Mehrwertsteuer und Akteure werden nach dem Cassandra-Pattern beziehungsweise über native IFC-Mechanik abgebildet.

Der Proof of Concept zeigt die Machbarkeit auf der Schemaebene. Sämtliche im Quellsatz vorhandenen Informationen lassen sich in der IFC-Datei eindeutig verorten, der manuelle Round-Trip über eine Vollständigkeitsmatrix gelingt, und die Schemavalidierung durch den buildingSMART IfcValidation Service ist erfolgreich. Die Experteninterviews bestätigen den eingeschlagenen Weg: aus Anbietersicht ist die Persistenz der Modell-Position-Verknüpfung ein zentraler Mehrwert gegenüber heutigen Praktiken; aus Normgebersicht stimmt grundsätzlich die Richtung. Beide Stimmen identifizieren dieselbe Grenze: nicht das Schema ist das Problem, sondern die koordinierte Adoption durch die Software-Anbieter.

Die Arbeit liefert drei Beiträge. Erstens eine vollständige Abdeckungsmatrix CRBX $\leftrightarrow$ IFC4X3 mit Verlustanalyse. Zweitens ein bidirektionales Mapping-Konzept, dokumentiert in einem nachvollziehbaren Schemakatalog. Drittens einen lauffähigen Referenzdatensatz mit Quellcode. Auf dieser Grundlage werden konkrete Empfehlungen für künftige IFC-Profilierungen, eine IDS-Spezifikation und einen Belastungstest an weiteren NPK-Gewerken formuliert.

Stichworte: IFC, IFC4X3, NPK, CRBX, SIA 451, IfA 18, Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, BIM, Cost Breakdown Structure, `IfcCostItem`, `IfcCostSchedule`, Machbarkeitsanalyse, Schweizer Bauwesen

Table of Contents

1	Einleitung.....	9
1.1	Ausgangslage: Digitalisierung im Ausschreibungswesen.....	9
1.2	Problemstellung: Medienbruch zwischen DBM und Leistungsverzeichnis (SIA 451/CRBX)	9
1.3	Forschungsfrage und Teilfragestellungen	10
1.4	Zielsetzung und Machbarkeitsanalyse.....	11
1.5	Abgrenzung der Arbeit.....	11
2	Forschungsdesign und Methodik	11
2.1	Wissenschaftliches Vorgehen (Mixed-Methods)	11
2.2	Phasen der Arbeit	12
2.2.1	Phase 1: Analyse und Mapping-Konzeption	12
2.2.2	Phase 2: Prototyping (PoC) und Round-Trip-Tests.....	12
2.2.3	Phase 3: Experteninterviews und Evaluierung.....	12
2.3	Aufbau der Arbeit	12
3	Theoretische Grundlagen	13
3.1	Das Schweizer Ausschreibungswesen heute (SIA 451, IfA18, NPK)	13
3.2	Informationsaustausch	15
3.2.1	IFC-Kosten- und Prozessdom��nen (IfcCostItem, IfcCostSchedule, IfcTask)	15
4	Stand der Forschung und Herausforderungen.....	16
4.1	Defizite im heutigen Datenaustausch (SIA 451 vs. IFC)	16
4.2	Schweizer Lösungsansätze	17
4.3	Internationale Lösungsansätze.....	17
4.3.1	Containerbasierte Verknüpfung (Deutschland, Niederlande)	17
4.3.2	Native IFC-Modellierung der Kostendomäne (Italien)	18
4.3.3	Algorithmische Anreicherung (USA, Kanada).....	18
4.3.4	Integrative Cost-Management-Frameworks (Vereinigtes Königreich)	18
4.3.5	Querschnitt: Wiederkehrende Limitationen.....	18
4.4	Strukturierte Kosten-Ontologien.....	20
4.5	Anforderungsanalyse: Kern- und Zusatzanforderungen.....	20
4.5.1	Kernanforderungen (K1–K5)	21
4.5.2	Zusatzanforderungen (Z1–Z4)	21
4.5.3	Bewertungslogik	21
5	Konzeptionelle Analyse: Mapping CRBX zu IFC.....	23
5.1	Strukturanalyse CRBX (SIA 451 / IfA18)	23
5.1.1	Administrativer Teil (A-, B-, C-Records)	23
5.1.2	Fachlicher Teil (G-Records, NPK-Hierarchie).....	24
5.1.3	Vordersatz und Mengenangaben im Projektkontext.....	25
5.2	Abdeckungsmatrix CRBX �� IFC4X3.....	26
5.3	Iterative Konzeptentwicklung — Variantenraum	28
5.3.1	Variantenraum: zwei Achsen, neun Kandidaten.....	28
5.3.2	Variante V1 — ObjectType USERDEFINED	29
5.3.3	Variante V2 — CHCRB_NPK_Type.....	29

5.3.4	Variante V3 — IfcClassification + Reference	30
5.3.5	Variantenvergleich und Auswahl	30
5.4	Bidirektionales Mapping-Schema (V3)	31
5.4.1	Struktur des Leistungsverzeichnisses	31
5.4.2	NPK-Codes via IfcClassification	32
5.4.3	Akteure und kommerzielle Konditionen	33
5.4.4	Element-Verknüpfung und Mengenermittlung — Mechanik	35
5.4.5	Anwendungsbeispiel Eichenparkett	36
5.5	Semantische und technische Grenzen	38
5.6	IDS als methodisches Hilfsmittel	39
6	Realisierung des Proof of Concept (PoC)	40
6.1	Szenariodefinition und Versuchsaufbau	40
6.2	Workflow der prototypischen Umsetzung	40
6.3	Validierung und Round-Trip-Tests	43
6.3.1	Tabellarischer Nachweis der Informationsvollständigkeit (K2)	45
6.4	Grenzen des PoC	46
6.5	Auswertung der Vollständigkeitsmatrix	46
7	Evaluation und Experteninterviews	46
7.1	Durchführung der Experteninterviews	46
7.2	Auswertung und Validierung der Ergebnisse	48
7.3	Vergleich des Soll-Konzepts mit dem Ist-Zustand	48
8	Diskussion	49
8.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Machbarkeit	49
8.2	Potenzial für 5D-BIM und Integrated Project Delivery	49
8.3	Limitationen und Herausforderungen bei der Standardisierung	50
9	Fazit und Ausblick	51
9.1	Fazit der Machbarkeitsanalyse	51
9.2	Empfehlungen für zukünftige IFC-Profilierungen	51
9.3	Ausblick: Die Zukunft des systemneutralen LV-Austauschs	52
	Literaturverzeichnis	53
	Anhang	55

Abbildungsverzeichnis

Sämtliche in dieser Arbeit eingebetteten Abbildungen sind aus Platzgründen verkleinert dargestellt. Die Schemata in höherer Auflösung und vergrösserter Darstellung — insbesondere die mehrspaltigen Matrizen aus Kapitel 5 und 6 — finden sich im Anhang 5 (Schemakatalog in Originalgrösse).

Abbildung 1: Die drei Ebenen des Medienbruchs DBM-Leistungsverzeichnis	10
Abbildung 2: Phasen der Arbeit und Zuordnung der Teilfragen	13
Abbildung 3: Drei tieferliegende Defizite jenseits des Medienbruchs	17
Abbildung 4: Vergleichende Übersicht internationaler Lösungsansätze	19
Abbildung 5: Vergleich der zugrundeliegenden Kosten-Ontologien	20
Abbildung 6: Anforderungsmatrix: Kern- und Zusatzanforderungen	22
Abbildung 7: UML-Klassendiagramm NPK-Bau	24
Abbildung 8: Objektinstanzdiagramm NPK Kapitel 241 Ortbetonbau	25
Abbildung 9: Vollständige Abdeckungsmatrix CRBX-IFC4X3	27
Abbildung 10: Variantenraum entlang zweier Achsen: neun Kandidaten, drei retenierte Varianten.....	29
Abbildung 11: Bewertungsmatrix V1/ V2/ V3 gegen Anforderungen aus Kapitel 4.5	30
Abbildung 12: IFC 4X3 ObjektInstanzdiagramm: Spiegelung NPK Kapitel 241 (Ortbetonbau)	32
Abbildung 13: Administrativer Teil: Akteur und kommerzielle Konditionen.....	34
Abbildung 14: Element-Verknüpfung und Mengenermittlung: Mechanik generisch	36
Abbildung 15: Anwendungsbeispiel Eichenparkett.....	38
Abbildung 16: Toolchain des Proof of Concept	42
Abbildung 17: Iterationen der Schemavalidierung	44
Abbildung 18: Vollständigkeitsmatrix CRBX- IFC4X3	45
Abbildung 19: Leitfade schwerpunkte	47

Abkürzungsverzeichnis

ABBF	Anbieter im Bereich Bauadministrationssoftware
ABC	Berechenbarkeitsklassifikation (A direkt, B indirekt, C konventionell)
AG	Aktiengesellschaft
AGB	Allgemeine Geschäftsbedingungen
API	Application Programming Interface
AVA	Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung (deutscher Begriff)
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
BKP	Baukostenplan (Schweizer CRB-Klassifikation)
buildingSMART	Internationale Non-Profit-Organisation für openBIM-Standards
CBS	Cost Breakdown Structure
CHF	Schweizer Franken
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
cPset	Custom Property Set (nutzerdefiniertes Property Set)
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
CRBX	Datenformat des CRB (XML-basiert, gemäss IfA 18)
DBM	Digitales Bauwerksmodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOS	Disk Operating System
eBKP	elementbasierter Baukostenplan
eBKP-H	elementbasierter Baukostenplan Hochbau
EIS	Datenformat nach SIA 451 (binäre Variante)
EN	Europäische Norm
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
FZK	Karlsruher Institut für Technologie (FZK-Viewer)
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (Deutschland)
IDS	Information Delivery Specification (buildingSMART)
IfA 18	Datenaustauschrichtlinie 18 (CRB)
IFC	Industry Foundation Classes (ISO 16739)
IFC4X3	IFC-Schemaversion 4X3 (IFC4X3_ADD2)
IPD	Integrated Project Delivery
ISO	International Organization for Standardization
KI	Künstliche Intelligenz
LN02	Schweizerisches Höhensystem (Landesnivellement 1902)
LV	Leistungsverzeichnis
LV95	Schweizerisches Koordinatensystem (Bezugsrahmen 1995)
MSc	Master of Science
MwSt	Mehrwertsteuer
NLP	Natural Language Processing
NPK	Normpositionen-Katalog
NPK-Bau	Normpositionen-Katalog Bau
OpenBIM	Offener, herstellerneutraler BIM-Ansatz
PDF	Portable Document Format
PoC	Proof of Concept

Pset	Property Set (IFC-Eigenschaftsmenge)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIA 451	Norm für den elektronischen Austausch von LV-Daten
SN	Schweizer Norm
SPEC	Specification (z. B. DIN SPEC 91400)
StLB	Standardleistungsbuch (Deutschland)
TF	Teilfrage(stellung)
UML	Unified Modeling Language
URL	Uniform Resource Locator
VAT	Value Added Tax (engl. Bezeichnung für MwSt)
VDC	Virtual Design and Construction
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage: Digitalisierung im Ausschreibungswesen

Das Schweizer Bauwesen verfügt im Hinblick auf die Digitalisierung über einen weitgehend standardisierten Rahmen. Die SN EN ISO 19650 regelt das Informationsmanagement (Bauen digital Schweiz, 2024, S. 11), der NPK des CRB strukturiert die Beschreibung der Bauleistungen, und mit der SIA 451 sowie dem Anwenderdokument IfA 18 besteht ein Datenformat für den elektronischen Austausch von Leistungsverzeichnissen (SIA, 1992, Deckblatt). Trotz dieses Rahmens verläuft die Phase der Ausschreibung in der Praxis weitgehend dokumentenzentriert.

Geht man im Projektalltag davon aus, dass sich Projekte in einem digitalisierten und BIM-orientierten Umfeld entwickeln, so laufen zwei Datenwelten parallel: das DBM wird über das offene IFC-Format ausgetauscht, das Leistungsverzeichnis im CRBX-Format nach SIA 451 und IfA 18. Beide Formate sind ausgereift. Sie sprechen aber nicht miteinander. Eine semantische oder strukturelle Verbindung zwischen den beiden Standards ist nicht vorgesehen, und wo sie projektspezifisch entsteht, geschieht das über eine manuelle Implementierung der NPK-Positionen ins IFC. Schöttl beobachtet dieses Muster international: dokumentenzentrierte Ansätze führten unweigerlich zu Ineffizienzen und Fehlern, ganz gleich, wie viele Dateiformate standardisiert seien (Schöttl, 2023, S. 1–2).

Interessant ist, dass das IFC-Schema die für eine Integration nötigen Domänen selbst bereitstellt. Die Entitäten `IfcCostItem`, `IfcCostSchedule`, `IfcTask` und `IfcProcess` erlauben die Modellierung von Kosten und Prozessen in direkter Verbindung mit den geometrischen Bauteilen (Cassandro et al., 2024b, S. 1298).

International werden diese Klassen vor allem für die Kostenschätzung und für 5D-Anwendungen genutzt. Im deutschsprachigen Raum existiert zusätzlich mit dem BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400 ein containerbasierter Lösungsweg (Hagedorn, 2018, S. 13). Auch wenn dieser die von buildingSMART bereitgestellten Entitäten nicht direkt verwendet, geht die Grundidee in dieselbe Richtung — eine Integration der Kosten in die digitalen Modelle. In der Schweizer Ausschreibungspraxis bleiben beide Ansätze bislang weitgehend ungenutzt; eine systematische Untersuchung, ob sie den NPK-Anforderungen genügen, liegt nicht vor.

Damit zeichnet sich folgende Lage ab: eine reife LV-Welt steht neben einer ebenso reifen Welt der digitalen Modelle. Die Frage, ob das IFC-Schema als alleiniger Datenträger der LV-Informationen genutzt werden kann, bleibt offen — und bildet den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

1.2 Problemstellung: Medienbruch zwischen DBM und Leistungsverzeichnis (SIA 451/CRBX)

Das parallele Funktionieren der beiden Datenwelten erzeugt einen Medien- und Methodenbruch, der sich in den heutigen Phasen der Ausschreibung niederschlägt. Die Folgen lassen sich auf drei Ebenen beschreiben (vgl. Abb. 1).

Datenebene. Auf der Datenebene entstehen Redundanzen: Bauteilbezeichnungen, Mengen und Beschreibungen müssen parallel in unterschiedlichen Formaten gepflegt werden, Änderungen in den digitalen Modellen werden nicht automatisch auf das LV übertragen, und Inkonsistenzen entstehen schleichend. Die Experteninterviews von Schöttl bestätigen diesen Befund (Schöttl, 2023, Anhang S. 132, Interview I10, Pos. 70; Interview I2, Pos. 49).

Prozessebene. Auf der Prozessebene setzt die heutige Arbeitsweise eine manuelle Übersetzung der Leistungen zwischen Modell und LV voraus, was viel Zeit beansprucht, das Fehlerrisiko durch den menschlichen Faktor erhöht und nicht vollständig rückverfolgbar bleibt.

Semantische Ebene. Auf der semantischen Ebene schliesslich besteht keine standardisierte Möglichkeit, eine NPK-Position eindeutig auf ein Bauteil im IFC-Modell zu beziehen. Die generischen Kostenklassen des IFC sind nicht auf ein nationales Klassifikationssystem abgestimmt. Cassandro et al. zeigen am lombardischen Beispiel zwar die grundsätzliche Machbarkeit einer strukturierten Verknüpfung (Cassandro et al., 2024b, S. 1293), verweisen aber zugleich auf die Notwendigkeit IDS-basierter Validierungsregeln, da das IFC-Schema allein keine semantische Eindeutigkeit garantiert (ebd., S. 1318).

So entsteht die doppelte Problemlage. Praktisch erzeugt der Medienbruch einen wiederkehrenden Effizienz- und Qualitätsverlust in einer wirtschaftlich gewichtigen Projektphase. Wissenschaftlich bleibt offen, ob das IFC als Träger schweizerischer LV-Strukturen tragfähig ist und welche semantischen Lücken bei einer solchen Abbildung verbleiben. Aus diesem doppelten Defizit leitet sich die Forschungsfrage ab.

Schema 1.2-A — Die drei Ebenen des Medienbruchs DBM ↔ Leistungsverzeichnis

Symptome des heutigen Parallelbetriebs von IFC (DBM) und CRBX (LV) in der Schweizer Ausschreibungspraxis

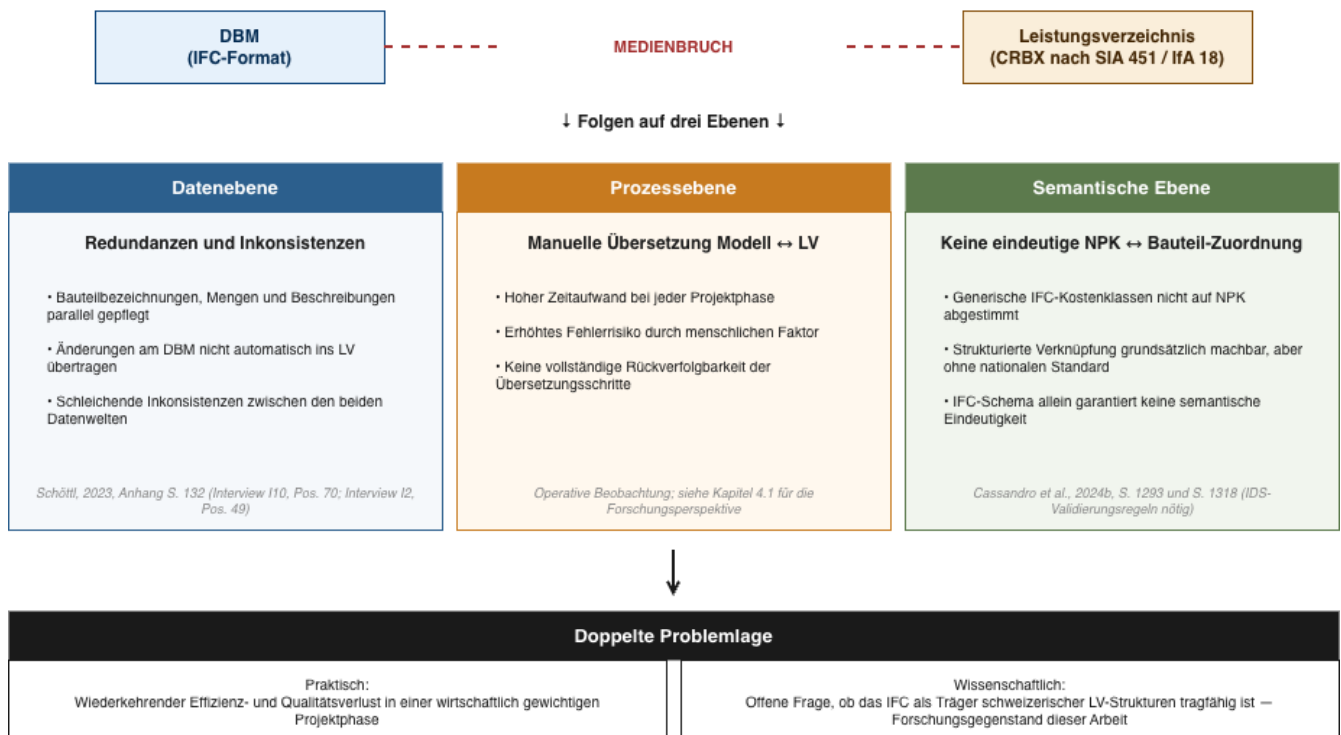


Abbildung 1: Die drei Ebenen des Medienbruchs DBM-Leistungsverzeichnis

1.3 Forschungsfrage und Teilfragestellungen

Die in Kapitel 1.2 beschriebene Lage führt zur übergeordneten Forschungsfrage:

Inwieweit kann der offene IFC-Standard die Grundlage für einen konsistenten und bidirektionalen Informationsaustausch von Digitalen Bauwerksmodellen (DBM) und Leistungsverzeichnissen (LV) bilden und damit die modellbasierte Ausschreibung in der Schweizer Baupraxis unterstützen?

Die Hauptfragestellung gliedert sich in vier Teilfragestellungen:

TF1 — Abbildbarkeit. Wie können Leistungsverzeichnisse nach NPK innerhalb der Datenstruktur von IFC abgebildet werden?

TF2 — Substitutionspotenzial. Inwieweit kann der Standard IfA 18 durch den IFC-Standard ersetzt werden?

TF3 — Prozess- und Werkzeugimplikationen. Welche Anpassungen an Ausschreibungsprozessen und Werkzeugen sind erforderlich, und welche Herausforderungen ergeben sich daraus?

TF4 — Abdeckungsgrad und Lücken. In welchem Umfang können die in SIA 451 und IfA 18 definierten Informationsstrukturen im bestehenden IFC-Schema vollständig abgebildet werden, und wo bestehen semantische oder strukturelle Lücken?

TF1 pr  uft, ob eine Abbildung möglich ist. TF2 misst den Abdeckungsgrad dieser Abbildung. TF3 stellt die Frage nach den Nutzungsbedingungen. TF4 quantifiziert und untersucht die Grenzen einer Implementierung des IFC-Schemas für den LV-Austausch. Die methodische Zuordnung der Teilfragen zu den Phasen der Arbeit erfolgt in Kapitel 2.

1.4 Zielsetzung und Machbarkeitsanalyse

Ziel der Arbeit ist es, das IFC-Format als Austauschformat für NPK-basierte Leistungsverzeichnisse zu erschliessen und zu nutzen. Es geht nicht darum, ein Produkt für den Markt zu entwickeln, sondern die Machbarkeit zu prüfen und aufzuzeigen, unter welchen Bedingungen der Informationsfluss technisch und semantisch tragfähig ist.

Aus dem Hauptziel ergeben sich vier Teilziele: die Validierung des Abdeckungsgrads zwischen dem NPK-Schema (SIA 451 / IfA 18) im .e1s-Format und dem IFC-Schema, die Entwicklung eines bidirektionalen Mapping-Konzepts CRBX-IFC, die Identifikation der semantischen und strukturellen Lücken des IFC-Formats mit konkreten Vorschlägen für IFC-Profilierungen, sowie die Realisierung eines Proof of Concept zur Validierung des Mapping-Prototyps.

Die Arbeit liefert drei Ergebnisse: ein erstes auf der analytischen Ebene (Abdeckungsgrad), ein zweites auf der konzeptionellen Ebene (Mapping-Schema), und drittens einen funktionsfähigen Prototyp. Die Auswertung dieser Ergebnisse durch Experteninterviews mit dem Praxispartner CRB dient der Einschätzung ihrer Praxistauglichkeit.

1.5 Abgrenzung der Arbeit

Im Fokus dieser Arbeit steht die technische und semantische Analyse des LV-Austauschs über das IFC-Format im Schweizer Kontext. Im Zentrum stehen die Analyse des Informationsmodells nach SIA 451 und IfA 18, das Mapping dieser Struktur auf das IFC-Konzept, die Konzeption eines bidirektionalen Austauschmodells, die Entwicklung eines PoC sowie die Evaluation des Prototyps durch Experteninterviews.

Nicht Teil der Arbeit sind die Entwicklung von Lösungen für native Softwareprodukte sowie die Evaluation auf wirtschaftlicher, juristischer und organisatorischer Ebene der Ausschreibungsprozesse.

Auch die Vertiefung der Formate BCF und COBie gehört nicht zum Untersuchungsgegenstand. Eine methodische Präzisierung betrifft den Standard Information Delivery Specification (IDS): IDS ist nicht Untersuchungsobjekt der Arbeit, wird jedoch als methodisches Hilfsmittel zur Spezifikation von Informationsanforderungen eingesetzt (vgl. Kapitel 5.6).

Geografisch beschränkt sich die Fallstudie auf die Schweiz. Die verschiedenen internationalen Ansätze dienen als Referenz, werden jedoch nicht als auf die Schweiz übertragbare Modelle herangezogen. Methodisch beschränkt sich die empirische Validierung auf ein bis zwei halbstrukturierte Experteninterviews.

2 Forschungsdesign und Methodik

2.1 Wissenschaftliches Vorgehen (Mixed-Methods)

Die Forschungsfrage vereint zwei Dimensionen, die methodisch unterschiedlich zu behandeln sind: der Aspekt der Abbildbarkeit des CRBX-Schemas auf das IFC-Schema ist konzeptionell-technisch und über eine Prototyping-Phase sowie über Dokumentenanalyse zu klären. Die prozessualen Implikationen erschliessen sich nur über die Einschätzung von Praxisakteuren.

Aus dieser doppelten Natur folgt ein Mixed-Methods-Ansatz, also die Kombination qualitativer und quantitativer Verfahren innerhalb desselben Forschungsprojekts (Kuckartz, 2014, S. 33).

Konkret kommt das Konzept des sequenziellen Vertiefungsdesigns zur Anwendung, ein explanatory sequential design nach Creswell (2017): zunächst liefert eine konzeptionell-strukturelle Phase

Ergebnisse, die in einer zweiten, qualitativen Phase vertieft und kontextualisiert werden.   bertragen auf diese Arbeit bedeutet das: das Mapping CRBX–IFC entsteht analytisch und wird auf Basis eines Prototyps erarbeitet, anschliessend folgen Experteninterviews zur Evaluation. Das Vorgehen ist iterativ angelegt — die Ergebnisse des PoC wirken auf das Mapping zurück, und die Ergebnisse der konstruktiven Diskussionen mit den Experten beeinflussen sowohl das Mapping als auch den PoC.

2.2 Phasen der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in drei aufeinanderfolgende Phasen, die jeweils einer der vier in Abschnitt 1.3 formulierten Teilfragen schwerpunktmässig zugeordnet sind. Abbildung 2 fasst diese Zuordnung samt Eingaben, Methoden und Ergebnissen je Phase zusammen.

2.2.1 Phase 1: Analyse und Mapping-Konzeption

Die Phase 1 antwortet primär auf TF1 (Abbildbarkeit) und TF4 (Abdeckungsgrad). Zunächst wird der Stand zu SIA 451, IfA 18, NPK, CRBX sowie zur Nutzung von IFC für Kosten- und Prozessmodellierung erhoben. Anschliessend werden die Informationsobjekte aus SIA 451 / IfA 18 — LV-Struktur, Mengen, Preise, Identifikatoren — ihren potenziellen IFC-Pendants gegenübergestellt. Ergebnis dieser Phase ist eine Abdeckungsmatrix, in der die CRBX-Struktur als abbildbar, partiell abbildbar oder nicht abbildbar klassifiziert wird. Diese Abdeckungsmatrix bildet die Grundlage für das bidirektionale Mapping-Konzept.

Methodisch knüpft das Vorgehen an Arbeiten an, die das IFC-Schema systematisch auf seine Eignung für strukturierte Kostendaten prüfen (Cassandro et al., 2024b, S. 1297); spezifisch ist hier der Bezug auf den NPK statt auf einen generischen Preiskatalog.

2.2.2 Phase 2: Prototyping (PoC) und Round-Trip-Tests

Die Phase 2 widmet sich der TF2 (Substitutionspotenzial). Im Zentrum dieser Phase steht der Round-Trip-Test: ein NPK-LV im CRBX-Format wird über das Mapping ins IFC-Format überführt. Das entstandene IFC-Modell wird anschliessend strukturell und semantisch zurück ins CRBX-Format gebracht.

Der Vergleich der Ergebnisse erlaubt eine quantitative Bewertung des Informationsverlusts und identifiziert Lücken im Mapping, als Kriterium der Verlustfreiheit im Sinne eines „loss-free export“ (Hagedorn, 2018, Abstract).

2.2.3 Phase 3: Experteninterviews und Evaluierung

Die Phase 3 antwortet hauptsächlich auf die TF3 (Prozess- und Werkzeugimplikationen). Dafür kommen ein bis zwei halbstrukturierte Interviews zum Einsatz. Halbstrukturierte Interviews sind eine Interviewform, die thematisch eingegrenzte Inhalte mit Spielraum für unerwartete Aspekte verbindet (Kuckartz, 2014, S. 81–82). Die Stichprobe ist gezielt zusammengesetzt und soll die drei wichtigsten Akteursgruppen abdecken: das CRB als normgebende Institution, die Software-Anbieter im Bereich der Ausschreibung sowie die Anwender aus Bauleitung und Kostenmanagement. Ziel ist nicht eine statistisch repräsentative Auswertung, sondern eine qualitative Prüfung kritischer Punkte, die in den verschiedenen konstruktiven Gesprächen aufgekommen sind.

Die Auswertung folgt der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2014, S. 77–78): Aufzeichnung, Transkription, kategoriengeleitete Codierung. Der Vergleich mit dem Soll-Konzept aus Phase 1 erfolgt in Kapitel 7.3.

2.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung (Kapitel 1) und der Methodik (Kapitel 2) widmet sich Kapitel 3 den theoretischen Grundlagen — dem Schweizer Ausschreibungswesen sowie den für den LV-Austausch relevanten IFC-Bereichen. Kapitel 4 verortet die Forschungsarbeit im Stand der Forschung. Die konzeptionellen Ergebnisse, Analyse und Mapping, finden sich in Kapitel 5. Den PoC samt Round-Trip-Test deckt

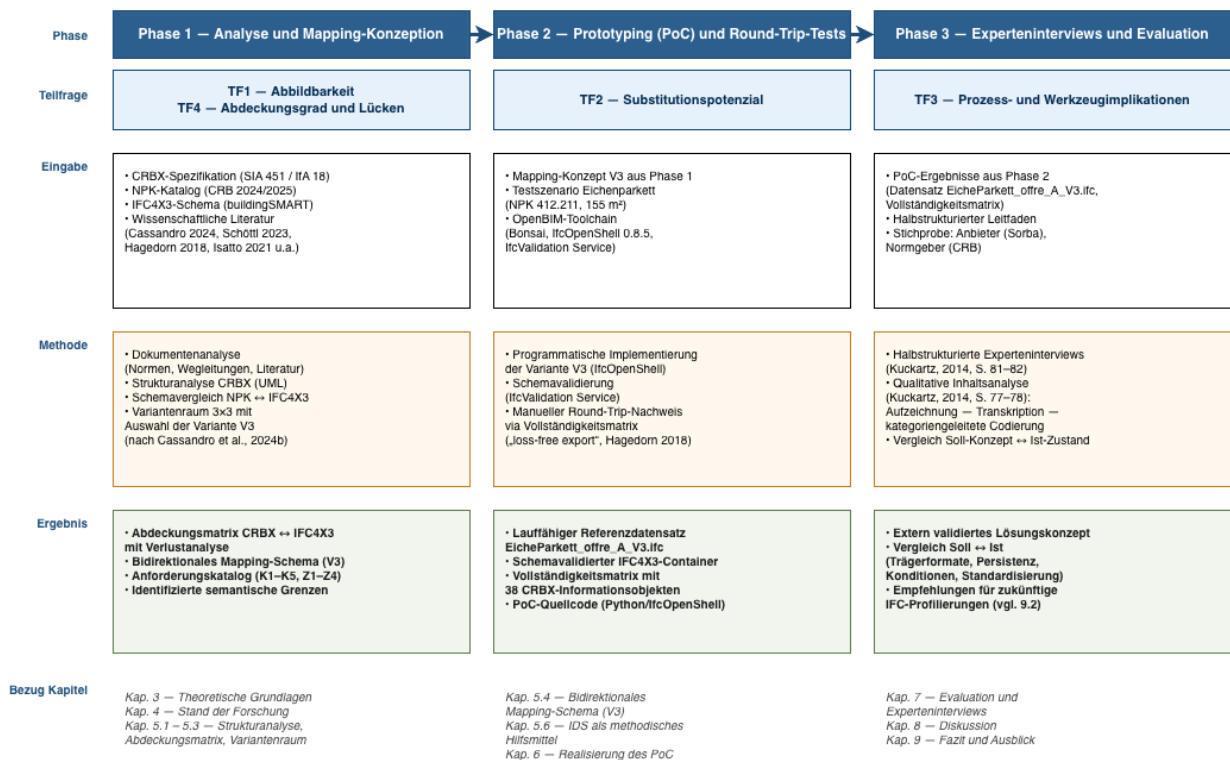
Kapitel 6 ab, die Experteninterviews stehen in Kapitel 7. Kapitel 8 verbindet die Erkenntnisse in der Diskussion, Kapitel 9 schliesst mit Fazit und Ausblick.

Diese lineare Struktur erlaubt eine Lektüre von der Problemformulierung bis zur Empfehlung sowie eine selektive Lektüre der zentralen Teile (Konzept – Prototyp – Praxisvalidation).

Hinweis zur Darstellung der Schemata. Die in dieser Arbeit eingebetteten Abbildungen sind aus Platzgründen verkleinert dargestellt. Eine hochauflösende Version aller Schemata in Originalgrösse — insbesondere der mehrspaltigen Mapping- und Bewertungsmatrizen aus Kapitel 5 und 6 — findet sich im Anhang 5 (Schemakatalog).

Schema 2.2-A — Phasen der Arbeit und Zuordnung der Teilfragen

Drei sequenzielle Phasen mit iterativer Rückkopplung — von der Analyse über das Prototyping zur Evaluation



Iterative Rückkopplung — Ergebnisse der späteren Phasen wirken auf das Mapping und auf den PoC zurück

Abbildung 2: Phasen der Arbeit und Zuordnung der Teilfragen

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Das Schweizer Ausschreibungswesen heute (SIA 451, IfA18, NPK)

Das Schweizer Ausschreibungswesen ruht auf drei Pfeilern: einem normativen Rahmen, einem technischen Inhalt und einem technischen Format. Der NPK des CRB übernimmt den Inhalt, indem er die Bauleistungen hierarchisch strukturiert. Die SIA 451 definiert das Datenformat für den elektronischen Austausch der Leistungsverzeichnisse. Und das IfA 18 ist heute das Anwenderdokument, das die operative Umsetzung in der Praxis regelt. Diese drei Komponenten bilden zusammen den Datenverbund, der seit Ende der 1980er-Jahre das Rückgrat der Ausschreibung in der Schweiz bildet.

Das ursprüngliche Ziel des Datenverbunds lässt sich so formulieren: Daten aus Leistungsverzeichnissen, Angeboten, Verträgen und Rechnungen sollen zwischen den verschiedenen Akteuren und den verschiedenen Software- und Hardwaresystemen eines Projekts ausgetauscht werden können, ohne Redundanzen, ohne dass dieselben Informationen mehrfach erfasst werden müssen (SIA, 1992, S. 1).

Die Entstehungsgeschichte ist in dasselbe Dokument eingeschrieben: Pilotprojekte an der SWISS-DATA '85 für den Hochbau und 1986/87 in Basel, Zürich und Genf für den Tiefbau führten zur Empfehlung SIA 451 von 1989, die 1992 überarbeitet vorlag und seither — gemeinsam mit dem Merkblatt SIA 2005 — die normative Grundlage des Datenverbunds bildet (SIA, 1992, S. 1).

Strukturell beruht die SIA 451 auf einer klar gegliederten Recordart-Logik. Die Norm unterscheidet zwischen Header- und Schlussrecords (A und Z), Sekundärgliederungen (B), Konditionen (C) und dem zentralen Standardrecord für Leistungsverzeichnisse nach NPK Bau, der mit „G“ gekennzeichnet ist (SIA, 1992, S. 5). Jeder G-Record enthält eine Zeile von Datenfeldern, die die LV-Positionen eindeutig identifizieren: Katalog (Kapitel, Sprache, Ausgabejahr), Leistungsposition, Variablennummer, Zeilennummer, Objektgliederung, Positionslage, Variantengruppe und weitere Felder, die sich auf das Merkblatt SIA 2005 beziehen (SIA, 1992, S. 5–6).

Diese Feldstruktur unterscheidet sich grundlegend von der heute objektorientierten Logik der BIM-Datenformate. Die oben beschriebene Struktur ist linear, satzbasiert und auf den seinerzeit verfügbaren Datenträgern (DOS-Diskette 3,5") sowie auf dem Zeichensatz ISO-Norm 8859/1 verankert (SIA, 1992, S. 1).

Auf der technischen Ebene wird der Inhalt durch den NPK geliefert. Er ist hierarchisch strukturiert und reicht von der Kapitelgruppe über das Kapitel und den Abschnitt bis zur Unterposition. Eine konkrete Leistung — etwa „Einsteinmauerwerk aus Backstein, vollfugig vermauert, Wandstärke 140–160 mm, Wandhöhe 1,51–3,00 m“ — wird nicht in Worten beschrieben, sondern über eine Kette von Codes präzise lokalisiert: Kapitelgruppe 300 (Rohbauarbeiten) → Kapitel 314 (Maurerarbeiten) → Abschnitt 314.100 (Mauerwerk aus künstlichen Steinen) → Hauptposition 314.111 → Unterposition 314.111.132. Diese Hierarchie erlaubt die eindeutige Beschreibung gleichwertiger Leistungen durch unterschiedliche Akteure und wird damit zur Basis für den Vergleich der verschiedenen Angebote in der Submissionsphase.

Eine standardisierte Verbindung zwischen NPK und Bauwerksmodell existiert nicht und stellt in der Praxis ein zentrales Problem dar. Der Umstand, dass die NPK-Struktur über mehrere Jahrzehnte gewachsen ist, hat zur Folge, dass die innere Logik der Kapitel nicht durchgängig einheitlich ist. Diese heterogene Struktur erschwert ein systematisches Mapping zwischen NPK und modellbasierten Workflows.

Mehrere normgebende Akteure haben in den vergangenen Jahren Vorschläge für eine modellbasierte Anwendung des NPK formuliert. Das Tiefbauamt des Kantons Zürich beispielsweise hat 2024 mit dem Anwendungsfall 090.1 einen formalisierten Workflow für die modellbasierte Unternehmerausschreibung mit NPK-Leistungsverzeichnis publiziert. Der Anwendungsfall ist der SIA-Phase 41 (Ausschreibung) zugeordnet (Picarel, 2024, S. 7) und definiert drei Bearbeitungsstufen: die Bereitstellung des Modells mit den für die Angebotserstellung erforderlichen Inhalten, die Ergänzung um das Mengengerüst gemäss NPK-Positionen sowie die Bereitstellung des Ausschreibungsmodells auf einem BIM-gestützten Viewer (Picarel, 2024, S. 7).

Methodisch greift dieser Anwendungsfall auf eine ABC-Analyse zurück, mit der die NPK-Positionen nach ihrer Berechenbarkeit aus dem Modell klassifiziert werden: A-Positionen werden modellbasiert direkt, B-Positionen modellbasiert indirekt (etwa Planien oder Anstrichflächen), C-Positionen konventionell, also ausserhalb des Modells, ermittelt (Picarel, 2024, S. 13). Diese Differenzierung ist insofern bemerkenswert, als sie implizit anerkennt, dass nicht alle NPK-Inhalte aus einem DBM ableitbar sind — eine Beobachtung, die für die spätere Mapping-Analyse in Kapitel 5 relevant bleibt.

Zusammenfassend lassen sich die Stärken und Grenzen des heutigen Schweizer Ausschreibungssystems benennen. Stärken sind die Reife des Datenverbunds und die breite Akzeptanz des NPK-Systems durch alle Akteure. Grenzen sind die nicht objektorientierte Recordstruktur, die Heterogenität der internen NPK-Struktur quer durch die Kapitel und das Fehlen einer Standardanbindung an das digitale Bauwerksmodell.

3.2 Informationsaustausch

3.2.1 IFC-Kosten- und Prozessdom  nen (IfcCostItem, IfcCostSchedule, IfcTask)

Das IFC-Schema enthält in seinem Core Layer zwei Erweiterungen, die Process Extension und die Control Extension. Beide sind zentrale Bausteine für die Modellierung von Prozessen und Kosten. Im Folgenden beschränkt sich die Darstellung auf die elementaren Entitäten für die LV-Information: IfcCostItem, IfcCostSchedule und IfcTask. Ergänzend werden die für ihre Verknüpfung notwendigen Beziehungsentitäten erläutert.

IfcCostItem ist die zentrale Entität zur Modellierung von Kostenelementen. Sie ist eine nicht-geometrische Klasse und Subklasse von IfcControl. Das aktuelle IFC-Schema beschreibt sie als abstrakte Entität, die einen Kostenbetrag oder Finanzwert mit beschreibenden Kontextinformationen kapselt und zur Verwendung in einem Kostenplan vorgesehen ist (Cassandro et al., 2024b, S. 1298).

Strukturell trägt die Entität IfcCostItem drei eigene Attribute — PredefinedType, CostValues, CostQuantities — sowie die ererbten Attribute GlobalId, Name, Description und Identification. Die CostValues enthalten die Einheitspreise in Form einer oder mehrerer IfcCostValue-Instanzen, die jeweils einen Wert (Materialpreis oder Lohnsatz) und eine Kategorie tragen (Cassandro et al., 2024b, S. 1299). Die Mengen sind als IfcPhysicalQuantity im Attribut CostQuantities enthalten und stehen damit in direkter Verbindung zum Attribut CostValues. Die Logik dieses Aufbaus ist also: Ein Kostenelement ist ein Tripel aus Identifikator, einer oder mehreren Wertkomponenten und einer Mengenangabe.

Kostenelement und Bauteil sind über eine Beziehungsentität miteinander verbunden, nicht über ein Attribut. Das zentrale Bindeglied zwischen Kostenelement und Bauteil ist IfcRelAssignsToControl.   ber diese Beziehungsentität wird eine IfcProduct-Instanz dem Kostenelement zugeordnet (Cassandro et al., 2024b, S. 1299). Durch diesen Mechanismus entsteht ein operativer Link zwischen Kostendaten und Geometrie. Die Entität IfcRelNests ist der zweite zentrale Beziehungsbaustein. Sie erlaubt eine hierarchische Baumstruktur über mehrere Kostenelemente und damit den Aufbau eines Kostenstrukturplans im Sinne einer Cost Breakdown Structure (Institut Digitales Bauen, 2024, Folie 13).

IfcCostSchedule dient als übergeordnete Konsolidierungsstruktur, die eine Menge von IfcCostItem zusammenfasst, und entspricht funktional einem Kostenplan oder Kostenvoranschlag. Die Entität bündelt die einzelnen Kostenelemente in expliziter und vordefinierter Form — etwa für eine konkrete Kostenschätzung eines Bauprojekts (Cassandro et al., 2024a, S. 2). Wie IfcCostItem wird IfcCostSchedule durch einen Namen, eine Beschreibung sowie einen PredefinedType und einen Status charakterisiert. Die Verknüpfung zwischen IfcCostSchedule und den zugeordneten IfcCostItem-Instanzen erfolgt — wie weiter oben bereits ausgeführt —   ber IfcRelNests. An der Wurzel des Kostenbaums steht das hierarchisch höchste IfcCostItem, das Summary-CostItem, das via IfcRelAssignsToControl an seinen IfcCostSchedule gebunden ist.

IfcTask übernimmt die Modellierung auf der Prozessseite. Die Entität IfcTask ist seit IFC1.0 Teil des IFC-Schemas. Ihr Zweck hat sich über die Versionen entwickelt: vom ursprünglichen Anliegen, das BIM-Modell mit der Bauablaufplanung im Sinne eines 4D-Kontexts zu verbinden (Isatto, 2021, S. 524), hin zu einer deutlich breiteren Prozessdom  ne seit IFC4. Eine wichtige Erweiterung ist die Existenz von IfcTaskType, der die verschiedenen Aufgabenarten unabhängig von ihrem konkreten Vorkommen, ihrer Dauer oder ihren Abhängigkeiten definiert und in einer Elementbibliothek klassifiziert (Isatto, 2021, S. 525). Diese Trennung von Typ und Instanz folgt einer in IFC durchgehend angewandten Logik, die die Wiederverwendung typisierter Definitionen erlaubt.

Die zeitlichen Eigenschaften einer Aufgabe — Beginn, Dauer, Fortschritt — sind in der Entität IfcTaskTime gekapselt (bis IFC4 noch IfcScheduleTimeControl). Die Verknüpfung zwischen IfcTask und IfcTaskTime erfolgt über IfcRelAssignsTasks, die Verknüpfung einer Aufgabe mit einem geometrischen Element über IfcRelAssignsToProcess (Hamledari et al., 2017, S. 4). Wie bei den Kostenelementen ergibt sich die hierarchische Struktur mehrerer IfcTask (Work Breakdown Structure)   ber IfcRelNests (Institut Digitales Bauen, 2024, Folie 11).

Daraus ergibt sich ein dreidimensionales Beziehungsgeflecht: IfcProduct, also das Bauteil, ist Träger der geometrischen Daten, der Kosten (IfcCostItem, zugeordnet über IfcRelAssignsToControl) und der Prozesse (IfcTask, zugeordnet über IfcRelAssignsToProcess). Die Tabelle XY fasst die für diese Arbeit zentralen Entitäten und Beziehungen zusammen.

Zwei Beobachtungen lassen sich aus dieser Übersicht ableiten. Erstens stellt das IFC-Schema die nötigen Klassen für eine modellbasierte Abbildung des Leistungsverzeichnisses bereit. Konzeptionell lässt sich eine LV-Position als IfcCostItem mit den zugewiesenen Mengen, Preisen und Bauteilbezügen modellieren. Zweitens ist die Nutzung dieser Klassen aus operativer Sicht anspruchsvoll. Sie verlangt die korrekte Instanziierung mehrerer Beziehungsentitäten und ist in den heutigen BIM-Autorensoftwares kaum bis gar nicht durchführbar. Für den weiteren Verlauf der Forschung und der Arbeit ist es daher nötig, auf Bibliotheken wie IfcOpenShell zurückzugreifen, um diese Strukturen programmatisch zu erzeugen. Welche dieser Klassen in welchem Umfang nötig sind, um die spezifische NPK-Struktur abzubilden, ist Gegenstand von Kapitel 5 (Mapping-Analyse).

4 Stand der Forschung und Herausforderungen

4.1 Defizite im heutigen Datenaustausch (SIA 451 vs. IFC)

Zusätzlich zum in Kapitel 1.2 beschriebenen Medienbruch weisen die Recherchen drei tieferliegende Lücken aus, die für die Mapping-Analyse in Kapitel 5 von hoher Relevanz sind (vgl. Abb. 3).

Erstens entwickelt sich die schweizerische LV-Welt ohne Modellbezug weiter. Die jüngsten Richtlinien des CRB dokumentieren den Übergang von der Norm SIA 451 zur Norm IfA 18, ohne die Frage der Interoperabilität zu adressieren (CRB, 2025, S. 4: „Verweis auf Schnittstelle SIA 451 wurde entfernt, da aktuell die Datenaustauschrichtlinie IfA18 gültig ist“). Die LV-Standards werden also vertieft, ohne dass die Lücke zur Modellwelt geschlossen würde.

Zweitens wird das IFC-Format in der Praxis häufig als Dokumentationsformat eingesetzt — eine Art Snapshot am Ende einer Phase — und nicht als kontinuierlich fortgeschriebener Träger. Die Normen (ISO 16739-1:2024) definieren das IFC zwar als Datenaustauschformat, die Anwenderwahrnehmung weicht davon aber ab, wie die Interviews von Schöttl belegen (Schöttl, 2023, Anhang S. 133, Interview I5, Pos. 122: „Es ist ja nicht ein Austausch Format auch laut Norm, es ist ein Dokumentationsformat [...] Ich glaube, das ist das grundsätzliche Missverständnis dahinter, wenn ich da unterwegs bin“). Für ein bidirektional fortzuschreibendes LV (Angebot, Werkvertrag, Rechnung) ist diese Diskrepanz zwischen Norm und Praxis äusserst relevant — ohne dass sich das Missverständnis dem Standard oder den Anwendern allein zuschreiben liesse.

Drittens bestätigt die internationale Forschung zur Cost Estimation Lücken auf systemischer Ebene. Die Verknüpfung zwischen Kostendaten und Modellobjekten erfolgt nahezu ausnahmslos manuell (Cassandro et al., 2024b, S. 1293).

Schema 4.1-A – Drei tieferliegende Defizite jenseits des Medienbruchs

Drei tieferliegende Defizite, die aus dem Stand der Forschung hervorgehen – zusätzlich zum in Kap. 1.2 beschriebenen Medienbruch

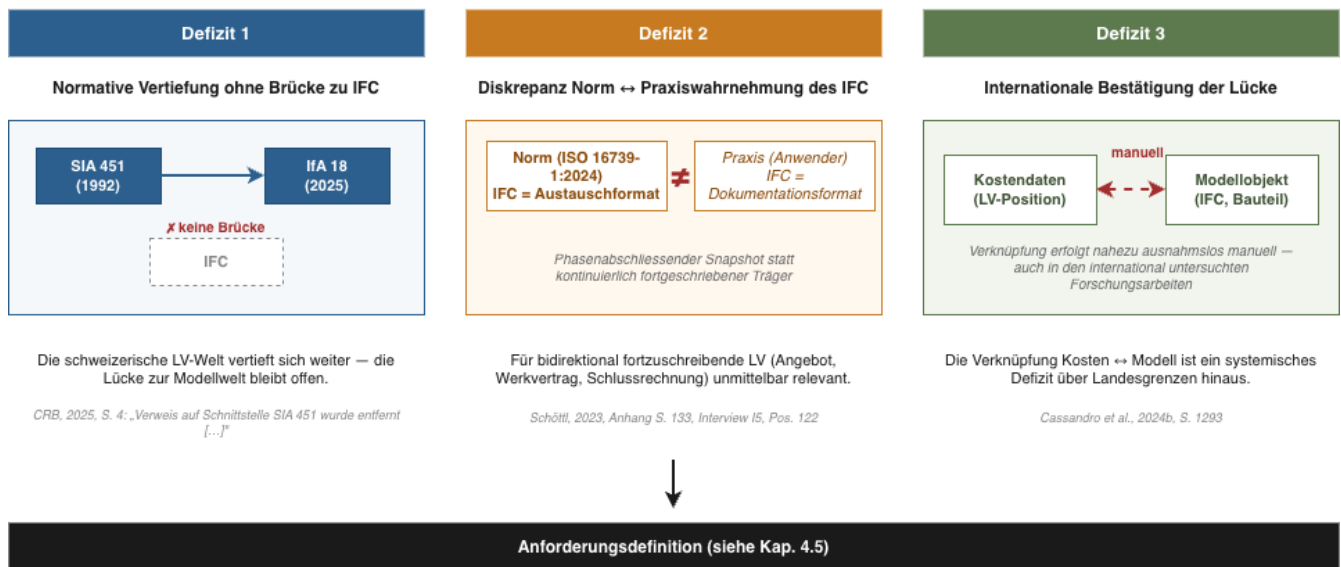


Abbildung 3: Drei tieferliegende Defizite jenseits des Medienbruchs

4.2 Schweizer Lösungsansätze

In der Schweiz lassen sich zwei grosse Achsen erkennen.

Auf der Normungsebene hat das CRB das eBKP-Gate eingeführt. Das eBKP-Gate führt zwei zusätzliche Ebenen ein, die Teilelemente und die Komponenten. Diese beiden Ebenen liegen zwischen dem elementbasierten Baukostenplan und den NPK-Positionen (CRB, 2025, S. 7). Die Publikation 1026 dokumentiert die Zuordnung eBKP–NPK. Eine Brücke zum IFC ist allerdings in keiner der beiden Vorgaben vorgesehen.

Auf der praktischen Seite hat das Tiefbauamt des Kantons Zürich 2024 den Anwendungsfall 090.1 publiziert. Die in diesem Anwendungsfall enthaltene ABC-Analyse wurde bereits in Kapitel 3.1 dargestellt (Picarel, 2024). Wichtig für die Anforderungsdefinitionen ist die darin enthaltene Beobachtung, dass nicht alle NPK-Inhalte aus einem DBM ableitbar sind.

Beide Ansätze verfolgen das Ziel, die LV-Welt zu vertiefen, ohne das IFC als Datenträger einzusetzen. Die Verknüpfungen werden entweder über zusätzliche Norm-Ebenen oder über Property Sets im Modell hergestellt. Die Frage, ob das IFC die Leistungsverzeichnisse tragen kann, bleibt damit offen.

4.3 Internationale Lösungsansätze

4.3.1 Containerbasierte Verknüpfung (Deutschland, Niederlande)

Wie bereits in Kapitel 1.1 erwähnt, gehört der BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400 (Hagedorn, 2018, S. 13) zu einer breiteren Familie von Containern. Diese Container-Familie reicht von den statischen Multi-Model-Containern aus dem Projekt Mefisto (Scherer & Schapke, 2014, S. 196) bis zu den semantisch annotierten Information Containers for Linked Document Delivery nach ISO 21597 (Al-Sadoon et al., 2023, S. 1). Das Prinzip bleibt dasselbe: die ursprünglichen Formate der verschiedenen Dokumente bleiben erhalten und werden über separate Layer untereinander verknüpft. Im Schweizer Kontext ist eine solche Verknüpfung über externe Layer in keiner Vorgabe und in keiner Norm vorgesehen.

Parallel dazu werden in Deutschland (AVA-Welt) die DBM in spezialisierte Software geladen, und die Bauteile werden manuell oder halbautomatisch mit StLB-Bau-Positionen des GAEB ergänzt (Borrmann et al., 2024, Teil II, S. 192). Methodisch ähneln das Vorgehen den in Kapitel 4.2 für den

Schweizer Markt beschriebenen Lösungen. Auch wenn der Standardisierungsstand nicht in allen Punkten gleich ist, gleichen sich die Ansätze.

4.3.2 Native IFC-Modellierung der Kostendomäne (Italien)

Die ambitionierteste, zugleich auch jüngste Forschungslinie verzichtet auf externe Container und konzentriert sich darauf, die IFC-Kostendomäne selbst zu nutzen (vgl. Kapitel 3.2.1). Cassandro et al. (2024b) haben einen umfassenden Ansatz für den Preiskatalog der Region Lombardei entwickelt. Der auf einer IfcCostItem-Architektur aufgebaute Katalog beschreibt sowohl Ressourcen als auch Prozesse. Modelliert werden elementare Ressourcenelemente, Aktivitäten und Werke bis hin zu Bauleistungen mit Gemeinkosten und Gewinn (Cassandro et al., 2024b, S. 1308).

Das entwickelte Modell wurde anhand eines Strukturmodells mit 82 Bauteilen validiert. Gholamzadehmir et al. (2025) haben die Arbeit erweitert und ein 5D-Sanierungsszenario integriert. Die konzeptionelle Vorarbeit hatte Isatto (2021, S. 519) geleistet, indem er die ersten Ansätze einer kostenbasierten Modellierung in IFC4 ausformulierte.

Die Methode beruht auf einem Preiskatalog, der nach Prozessen und Ressourcen strukturiert ist — und genau darin liegt ihre grösste Einschränkung für die vorliegende Arbeit. Der NPK ist hingegen leistungsbeschreibend organisiert. Daraus ergibt sich ein Strukturunterschied, der in Kapitel 5 die Mapping-Logik bestimmt.

4.3.3 Algorithmische Anreicherung (USA, Kanada)

Eine dritte Forschungslinie verfolgt das Ziel, die IFC-Kosten- und Prozessdom  nen programmatisch automatisiert zu befüllen. Das von Akanbi (2021) entwickelte Framework verbindet 2D-zu-3D-Modellierung, IFC-basierte Mengenermittlung, NLP-gestützte Extraktion aus Bauspezifikationen und automatisierte Kostenzuordnung. Die von Akanbi vorgelegte Tabelle (Akanbi, 2021, S. 131, Tabelle 7.1) weist eine Reduktion der Bearbeitungszeit von 7,1 % aus. Ergänzend dazu aktualisieren Hamledari et al. (2017, S. 4) 4D-Modelle automatisch mit Fortschrittsdaten. Beide Arbeiten zeigen, dass die programmatische Befüllung der Kostendomäne technisch machbar ist. Gleichzeitig belegen sie, dass die heute verfügbaren BIM-Softwares die für die IFC-Cost-Domäne nötigen Klassen nicht unterstützen (Cassandro et al., 2024b, S. 1305).

4.3.4 Integrative Cost-Management-Frameworks (Vereinigtes Königreich)

In Grossbritannien verlagern Elghaish und Abrishami (2020, S. 1) das Problem auf die Ebene des Projektmanagements. Ihr zentralisiertes Kostenmanagementsystem zielt darauf ab, Activity-Based Costing und Earned Value Management mit BIM zu verknüpfen, um eine faire Verteilung der Risiken und Gewinne zwischen den verschiedenen Akteuren eines IPD-Projekts zu ermöglichen. Für die im Rahmen dieser Arbeit relevanten Fragestellungen liefert dieser Ansatz kein Mapping-Vorbild, wohl aber einen Anwendungskontext. Dieser Kontext lässt sich nutzen, um die strategische Relevanz IFC-basierter LV-Strukturen sichtbar zu machen.

4.3.5 Querschnitt: Wiederkehrende Limitationen

Abbildung 4 stellt die vier Ansatzfamilien systematisch gegenüber. Aus den genannten Arbeiten lassen sich drei Beobachtungen ableiten, die unabhängig von der Nation gelten — sei es in Italien, Brasilien, der Schweiz, in Kanada oder in den Vereinigten Staaten. Erstens fehlt eine Standardisierung der Verknüpfung zwischen digitalen Modellen und Leistungsverzeichnissen. Zweitens unterstützen die verschiedenen nativen Softwares weder das Lesen noch das Erstellen der IFC-Kostenklassen. Drittens lässt sich die semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung aus dem IFC-Schema allein nicht bestimmen.

Schema 4.3-A – Vergleichende Übersicht internationaler Lösungsansätze

Vier Ansatzfamilien aus Forschung und Praxis – St tken und Limitationen aus Schweizer Perspektive

Ansatzfamilie	Methode	Träger	Stärke	Limitation für Schweiz	Schl�sselquelle
Containerbasierte Verknüpfung 1a. Layer-Container (DIN SPEC 91400, ICDD) <i>Deutschland, Niederlande</i>	Originalformate (CFBX, IFC, Plan) bleiben unverändert; Verknüpfung wird in einem separaten Container-Layer geführt (BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400, Multi-Model-Container Meisio, ICCD nach ISO 21597).	Multi-Format-Container (verschiedene Datenstruktur, je nach Standard)	Native Formate bleiben erhalten; technologisch ausgereift; ISO-standardisiert (ISO 21597).	CFBX nicht vorgesehen; Container bietet ein paralleler Layer – der Medienbruch wird nicht aufgelöst, sondern nur containerisiert.	<i>Hogstad (2018), Scherer & Schuele (2014), Al-Saidon et al. (2023)</i>
Containerbasierte Verknüpfung 1b. Manuelle/halbautomatische Anreicherung (AVA-Weit) <i>Deutschland</i>	DBM werden in spezialisierte AVA-Software geladen; Bauteile werden manuell oder halbautomatisch mit SLB-Bau-Positionen des GAEB ergänzt.	Proprietäre AVA-Software (GAEB-Datenaustausch)	Etablierte Praxis im DACH-Raum; gleicht den in Kapitel 4.2 für die Schweiz beschriebenen Lösungen.	Bestätigt indirekt den Medienbruch; auch in Deutschland erfolgt die Verknüpfung nicht im offenen IFC-Container, sondern in proprietärer Software.	<i>Burmaw et al. (2024) Teil II, S. 192</i>
Native IFC-Modellierung der Kostendomäne <i>Italien</i>	Verzicht auf externe Container; Nutzung der IFC-Cost-Domäne selbst; IccCostitem-Architektur für ressourcen- und prozessbasierten Katalog (komplexer Preiskatalog 2024); Validierung an Strukturmocell mit 82 Bauteilen.	IFCAX3 nativ (IccCostitem, IccCostValue, IccCostSchedule)	Ein einziges Trägerformat; vollständig standardisiert; konzeptionell ambitioniertere und jüngste Forschungsline.	Methode kalibriert auf ressourcen-/prozessbasierten Katalog; NPK ist hingegen leistungsschreibend organisiert – dieser Strukturunterschied bestimmt das Mapping (vgl. Kap. 5).	<i>Cassandro et al. (2024b), Ghelarducci et al. (2025), Isarho (2021)</i>
Algorithmische Anreicherung <i>USA</i>	Programmatische Belegung der IFC-Cost-Domäne; 2D-3D-Modellierung, IFC-Mengenermittlung, NLP-gestützte Extraktion aus Bauprozessdokumenten, automatisierte Kostenzuordnung; ergänzend automatische 4D-Aktualisierung mit Fortschrittsdaten.	IFC nativ + programmatische Toolchain (z.B. NLP, IFC-APIs)	Reduktion der Bearbeitungszeit um 7,1 % (Akanbi, 2021, S. 131, Tabelle 7.1); zeigt, dass die programmatische Belegung der Cost-Domäne technisch machbar ist.	Native BIM-Autorenwerkzeuge unterstützen das Lesen und Erstellen der IFC-Cost-Klassen heute nicht durchgängig (Cassandro et al., 2024b, S. 1305).	<i>Akanbi (2021), Hamdani et al. (2017)</i>
Integrative Cost-Management-Frameworks <i>Vereinigtes Königreich</i>	Verlagerung des Problems auf die Ebene des Projektmanagements; zentralisiertes Kostenmanagement-System, das Activity-Based Costing und Earned Value Management mit BIM verknüpft, für IPD-Kontexte.	Cost-Management-System auf BIM-Basis (kein einzelnes Trägerformat)	Strategische Relevanz IFC-basierter LV-Strukturen über den Datenaustausch hinaus (tats. Risiko- und Gewinnverteilung im IPD-Projekt).	Kein Mapping-Vorbild im engeren Sinn, sondern Anwendungskontext für IFC-basierte LV (ISD-BIM, IPD).	<i>Eghaish & Abrishami (2020)</i>

Querschnitt – drei wiederkehrende Limitationen aller Ansätze (unabhängig vom Land, vgl. Kap. 4.3.5)

�1 F�hlende durchgängige Standardisierung der Modell-LV-Verknüpfung	�2 Native BIM-Software unterstützt das Lesen/Erstellen der IFC-Cost-Klassen nicht durchgängig	�3 Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung nicht aus dem IFC-Schema allein lesbar
--	--	---



Implikationen für Anforderungsdefinition (siehe Kap. 4.5) und Mapping-Konzept (siehe Kap. 5)

Abbildung 4: Vergleichende Übersicht internationaler Lösungsansätze

4.4 Strukturierte Kosten-Ontologien

Der in Kapitel 4.3 angestellte Vergleich der Formate führt zu einer weiteren Forschungsachse, die sich auf die Strukturierung der Inhalte konzentriert: die Daten in natürlicher Sprache. Konkret geht es um die Strukturierung und Konvertierung sprachlicher Leistungsbeschreibungen, damit diese Daten maschinenlesbar werden. Cassandro et al. (2024b, S. 1322) beschreiben die methodischen Anforderungen: Strukturierung der heute in natürlicher Sprache vorliegenden Cost Items zu maschinenlesbaren Daten, Definition der Informationsanforderungen, die das Modell für eine korrekte Kostenschätzung enthalten muss (Level of Information Need), Definition einer semi-automatisierten Prüfprozedur für diese Informationsanforderungen (idealerweise über eine standardisierte IDS-Spezifikation), sowie die Überprüfung der Korrektheit und Eindeutigkeit der Cost-Elemente in Bezug auf die geometrischen Objekte. Diese vier Punkte — Maschinenlesbarkeit, Informationsanforderungen, semi-automatisierte Validierung, eindeutige Bauteilverknüpfung — werden in Kapitel 4.5 für die Anforderungsdefinition dieser Forschungsarbeit aufgegriffen.

Der konzeptionelle Unterschied der oben erwähnten Ontologien zum Ziel eines Mappings zwischen dem IFC und der NPK-Struktur ist äusserst relevant. International dominieren ressourcen- und prozessbasierte Strukturen (Material/Arbeit/Geräte – Aktivität – Werk – Bauleistung); Abbildung 5 visualisiert diesen Strukturunterschied. Während auf nationaler Schweizer Ebene der NPK leistungsbeschreibend organisiert ist (Position – Bauteil – Bauleistung). Eine Übertragung der internationalen Referenzen oder Leitlinien erfordert daher nicht nur eine Feldübersetzung, sondern eine Restrukturierung der Logik. Diese Restrukturierung wird in Kapitel 5 behandelt.

Schema 4.4-A — Vergleich der zugrundeliegenden Kosten-Ontologien

Ressourcen- und prozessbasierte Logik (CBS, international) vs. leistungsbeschreibende Logik (NPK, Schweiz)

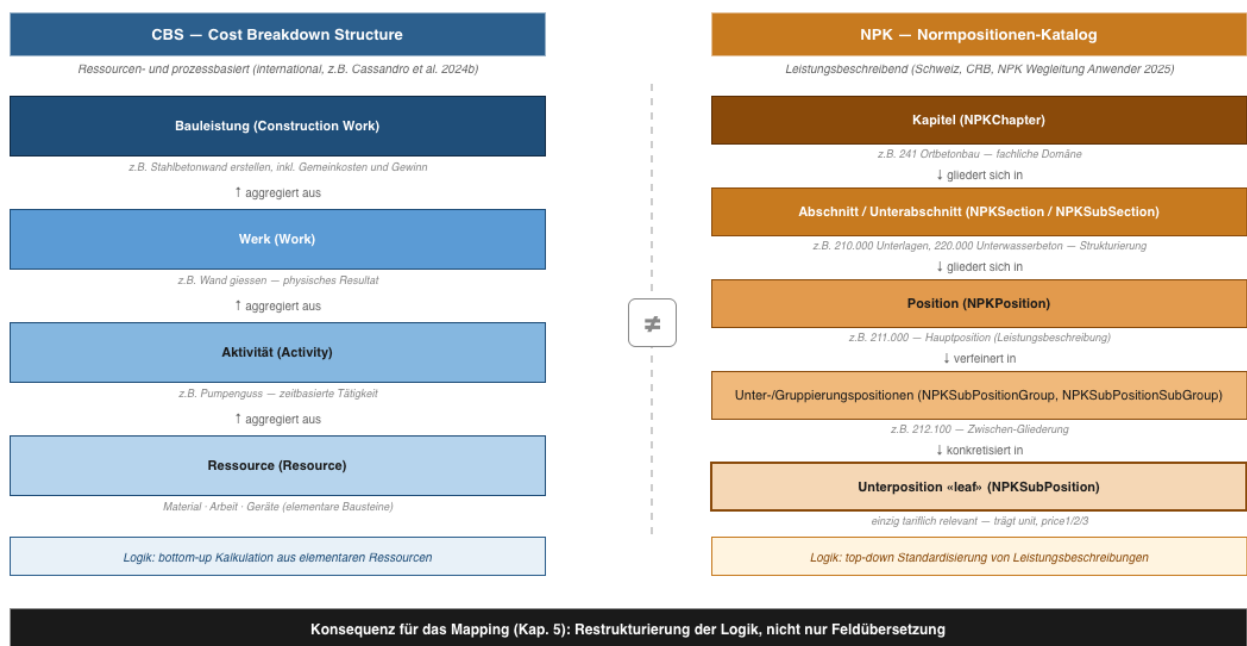


Abbildung 5: Vergleich der zugrundeliegenden Kosten-Ontologien

4.5 Anforderungsanalyse: Kern- und Zusatzanforderungen

Die Kapitel 4.1 bis 4.4 zeichnen die Anforderungen nach, die das auf dem IFC basierende Austauschmodell für die Schweizer LV-Welt erfüllen muss.

4.5.1 Kernanforderungen (K1–K5)

K1: Strukturelle Abbildbarkeit.

Die NPK-Hierarchie muss aus dem Modell rekonstruierbar sein. Das heisst, die Hierarchie von der Kapitelgruppe bis zur Unterposition muss im IFC-Schema repräsentiert sein.

K2: Round-Trip-Test.

Nach einer Transformation der im CRBX enthaltenen Informationen ins IFC und wieder zurück ins CRBX darf kein Informationsverlust entstehen. Die Semantik muss vom Ausgang bis zur Rückübersetzung identisch bleiben.

K3: Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung.

Die maschinelle Validierung der Zuordnung einer NPK-Position zu einem Bauteil muss automatisiert erfolgen können. Da das Schema allein für diese Operation nicht ausreicht, wäre eine Validierung über eine IDS-Spezifikation notwendig (Cassandro et al., 2024b, S. 1318). Wie in Kapitel 1.5 abgegrenzt, ist IDS nicht Teil dieser Arbeit; K3 wird im Rahmen des PoC (Kapitel 6) manuell validiert.

K4: Rechtssicherheit.

Die LV-Ergebnisse müssen IfA-18-konform sein und in das CRBX-Format zurückgeführt werden können, also rechtssicher und submissionsfähig. Damit ist insbesondere die Konformität mit dem IFC-Schema vorausgesetzt.

K5: Mengentransparenz.

Die ABC-Klassifikation nach Picarel (2024, S. 13) bietet den Rahmen, um die Herkunft der Mengen zu beurteilen. Die Herkunft jeder Menge — modellbasiert direkt, modellbasiert indirekt oder konventionell — muss explizit ausgewiesen sein.

4.5.2 Zusatzanforderungen (Z1–Z4)

Z1: Mehrsprachigkeit.

Die Attribute der Beschreibungstexte sollten lokal hinterlegt und über ihren NPK-Code aus einer mehrsprachigen Bibliothek abrufbar sein.

Z2: Prozessuale Anbindung.

Die Positionen sollten an IfcTask und IfcWorkSchedule gebunden werden können, um eine vollständige Integration in ein 4D/5D-Modell zu ermöglichen (vgl. Elghaish & Abrishami, 2020).

Z3: Versionierung.

Mehrere LV-Versionen — etwa Angebot A und Angebot B für dieselben Positionen — sollen in ein und demselben Modell führbar sein.

Z4: Werkzeugunterstützung.

Entwicklung und Validierung erfolgen mit OpenBIM-Werkzeugen, im Fokus insbesondere IfcOpenShell.

4.5.3 Bewertungslogik

Die NPK-Struktur ist vollständig abbildbar, wenn alle Kernanforderungen K1 bis K5 erfüllt sind. Sind K4 und K5 nicht erfüllt, ist die Struktur nur partiell abbildbar. Ist eine der Kernanforderungen K1 bis K3 verletzt, ist die NPK-Struktur nicht abbildbar. Diese Logik bildet die Bewertungsbasis für Kapitel 5 (Mapping) und Kapitel 6 (PoC). Abbildung 6 fasst die neun Anforderungen mit den jeweils geforderten Bedingungen und Bewertungskriterien im PoC zusammen.

Schema 4.5-A – Anforderungsmatrix: Kern- und Zusatzanforderungen

Fünf Kernanforderungen (K1–K5) und vier Zusatzanforderungen (Z1–Z4) als Bewertungsgrundlage für das Mapping-Konzept (Kap. 5) und den Proof of Concept (Kap. 6)

Code		Kurzbezeichnung	Verlangte Bedingung	Bewertungskriterium im PoC
K1	Strukturelle Abbildbarkeit	NPK-Hierarchie (NPKChapter → NPKSection → NPKSubSection → NPKPosition → NPKSubPosition) bleibt in der IFC-Repräsentation erhalten und ist aus dem Modell vollständig rekonstruierbar.	Vollständige Rekonstruktion der CRBX-Hierarchie aus der IFC-Daten via IteRelNests-Kette (vgl. Kap. 6.3, Test 2).	
K2	Round-Trip-Fähigkeit	Der Wandlungsweg CRBX → IFC → CRBX ist verlustfrei. Die semantische Identität zwischen Ausgangs- und Rückübersetzung ist gewährleistet (Position, Mengen, Preise, Bauteilbezüge).	Vollständigkeitsmatrix CRBX → IFC-4X3 (vgl. Kap. 6.3.1); jede CRBX-Information mit eindeutiger IFC-Verortung nachgewiesen – manueller Round-Trip-Nachweis. Programmatische Rückübersetzung als Anschlusssthema (vgl. Kap. 9.2).	
K3	Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung	Eine NPK-Position ↔ ein IFC-Bauteil, eindeutig zuordenbar und überprüfbar. Das IFC-Schema allein reicht dafür nicht (Cassandro et al., 2024b, S. 1318): IDS wäre der methodisch saubere Weg.	Manuelle Validierung via Vollständigkeitsmatrix (Kap. 6.3.1) und Sichtkontrolle im Borsai-Cost-Editor sowie FZK-Viewer (vgl. Kap. 6.3, Test 3); IDS-Spezifikation wäre methodisch sauberer, ist aber nicht Teil dieser Arbeit (vgl. Abgrenzung Kap. 1.5).	
K4	Rechtssicherheit	Das resultierende LV bleibt IFA-18-konform, in CRBX rückführbar und für die Submissionsphase verwendbar (vergleichbar, rechtssicher). Konformität mit dem IFC-Schema vorausgesetzt.	Schemavalidierung gegen ISO 16739-1 durch buildingSMART IteValidation Service bestanden (vgl. Kap. 6.3, Test 1); Rückführbarkeit zur CRBX über die Vollständigkeitsmatrix nachgewiesen (vgl. Kap. 6.3.1).	
K5	Mengentransparenz	Herkunft der Mengen ist explizit: modellbasiert direkt (A), modellbasiert indirekt (B) oder konventionell (C) im Sinne von Picarel (2024, S. 13).	ABC-Markierung der Mengenerkunft pro Position im PoC nachweisbar (vgl. Kap. 6.3, Test 3).	
ZUSATZANFORDERUNGEN				
Z1	Mehrsprachigkeit	Speicherung über NPK-Code mit lokalisierten Beschreibungstexten als Attribut, abrufbar aus einer mehrsprachigen Bibliothek.	Im PoC nicht zwingend umgesetzt; konzeptionelle Empfehlung.	
Z2	Prozessuale Anbindung	Verknüpfung der LV-Positionen mit IteTask und IteWorkflowSchedule für 4D/5D-Anwendungen und IFC-Kontexte (vgl. Eghaish & Ahrsham, 2020).	Im PoC ausserhalb des Fokus: Strukturen konzeptionell vorbereitet (IteHelvestsigns IteProcess).	
Z3	Versionierung	Mehrere LV-Versionen – etwa Angebot A und Angebot B für dieselben Positionen – sollen in ein- und demselben Modell führbar sein.	Über mehrere IteCostSchedule-Instanzen modellierbar; im PoC eine Version (Angebot).	
Z4	Werkzeugunterstützung	Erzeugung und Validierung mit etablierten OpenBIM-Werkzeugen möglich (im Fokus insbesondere IteOpenShell).	PoC-Implementierung mit IteOpenShell und Borsai; Visualisierung im FZK-Viewer.	
Bewertungslogik für die Abbildbarkeit einer NPK-Struktur (vgl. Kap. 4.5.3)				
✓ Vollständig abbildbar K1 ∧ K2 ∧ K3 ∧ K4 ∧ K5 alle erfüllt		⦿ Partiellos abbildbar K1 ∧ K2 ∧ K3 erfüllt, K4 ∨ K5 verletzt		✗ Nicht abbildbar K1 ∨ K2 ∨ K3 verletzt

K = Kernanforderung (zwingend erfüllen) Z = Zusatzanforderung (wunschenenswert, nicht zwingend) Quellen: Cassandro et al. (2024b), Picarel (2024), CRB (2025), Eghaish & Ahrshami (2020)

Abbildung 6: Anforderungsmatrix: Kern- und Zusatzanforderungen

5 Konzeptionelle Analyse: Mapping CRBX zu IFC

Dieses Kapitel überführt die in Kapitel 4.5 definierten Anforderungen in ein konkretes Mapping-Konzept. Die Struktur wird iterativ entwickelt, wie in Kapitel 2.2 beschrieben: zuerst die Strukturanalyse der CRBX-Quelle (5.1), dann die Abdeckungsmatrix gegenüber IFC4X3 (5.2), die iterative Variantenentwicklung mit drei retenierten L  sungspfaden (5.3), das detaillierte Mapping-Schema der gewählten Variante (5.4), die semantischen und technischen Grenzen (5.5) sowie die Verortung von IDS als methodisches Hilfsmittel (5.6).

5.1 Strukturanalyse CRBX (SIA 451 / IfA18)

Ein vollständiger CRBX-Datensatz umfasst zwei distinkte Teile: einen administrativen Kopfteil mit dem Projekt, den Akteuren und den Konditionen sowie einen fachlichen Hauptteil mit der Struktur der NPK-Positionen. Die SIA 451 unterscheidet diese beiden Teile über die Record-Arten der verschiedenen Datensätze (SIA, 1992, S. 5).

5.1.1 Administrativer Teil (A-, B-, C-Records)

Projektbezeichnung, Sprache, Ausgabejahr des NPK-Katalogs, Ersteller, Datum und Versionsnummer befinden sich im A-Record. Der A-Record entspricht dem „Front Matter“ eines klassischen Vertragsdokuments.

Die B-Records halten projektspezifische Sekundärgliederungen vor. Der B-Record kann das Projekt nach Objekt (Gebäude A, B, ...), nach Geschoss (EG, OG, ...), nach Etappe oder nach internen Codes des Bauherrn strukturieren.

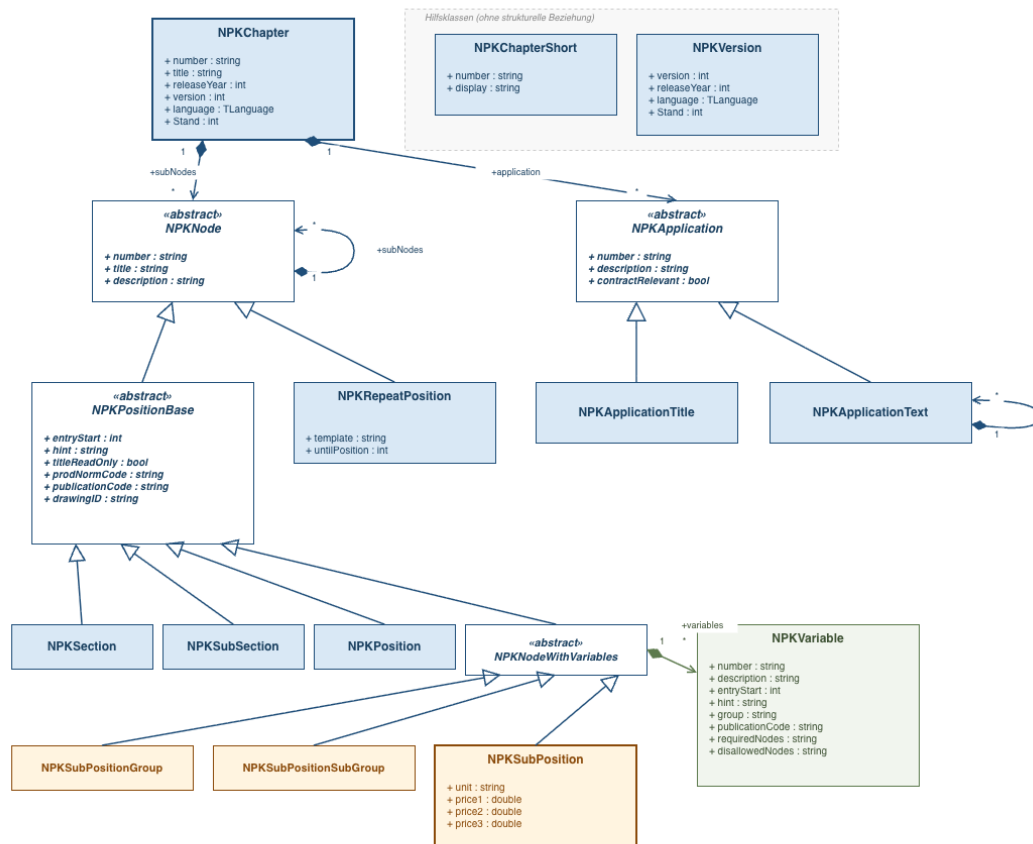
Die C-Records tragen die kommerziellen Konditionen, die Mehrwertsteuer, die Rabatte, Anzahlungen, Zahlungsbedingungen sowie allgemeine Vertragsklauseln (etwa SIA 118 oder SIA 102) oder Werkvertragsklauseln. Die C-Records sind für die Schlussrechnung, den Werkvertrag oder das verhandelte Angebot von hoher Bedeutung, denn die NPK-Positionen tragen zwar die Tarife, nicht aber die kommerziellen Modifikatoren.

Dieser administrative Teil ist für einen modellbasierten Austausch ebenso wichtig wie die NPK-Hierarchie. Ohne diesen ersten Teil fehlen die Informationen zum Wer, Was und Wie — wer das Angebot abgegeben hat, zu welchen Konditionen, mit welchen Rabatten. Es handelt sich um Informationen, die für die Rechtssicherheit (K4) konstitutiv sind.

5.1.2 Fachlicher Teil (G-Records, NPK-Hierarchie)

Schema 5.1-A — UML-Klassendiagramm NPK-Bau

Klassendiagramm des CRBX-Datenmodells nach SIA 451 / IIA 18 — Vererbungen, Beziehungen und Attribute der zentralen Klassen



Konstitutive Strukturmerkmale (vgl. Kap. 5.1.2): typisierte subNodes-Beziehung (Chapter → Section → SubSection → Position → SubPositionGroup → SubPosition) und unabhängige Hierarchie der NPKApplicationText-Knoten (Bedingungstexte).

Abbildung 7: UML-Klassendiagramm NPK-Bau

Der fachliche Teil ist in den G-Records enthalten. Die NPK-Struktur befindet sich in diesem fachlichen Teil. Für das Mapping ist eine formale, objektorientierte Sicht erforderlich. Das UML-Klassendiagramm des NPK-Bau-Datenmodells (Abb. 7) zeigt die Klassen, die dem CRBX-Format zugrunde liegen. Die zentrale Wurzelklasse NPKChapter trägt die Kapitelnummer (241 für Ortbetonbau, 412 für Mehrschichtparkett, 664 für Bodenbeläge aus Holz), den Titel, das Ausgabejahr, die Version und die Sprache. Unterhalb des Kapitels stehen NPKNode-Instanzen, wobei NPKNode eine abstrakte Vaterklasse ist (in UML-Konvention durch Kursivschrift markiert), aus der konkrete Untertypen hervorgehen:

NPKSection — Abschnitt, dreistelliger Code (200, 300) innerhalb des Kapitels,

NPKSubSection — Unterabschnitt, sechsstelliger Code (210.000),

NPKPosition — Hauptposition (211.000),

NPKSubPositionGroup und NPKSubPositionSubGroup — Hundertergruppe und Zehnergruppe (212.100) in der Terminologie der CRB-Wegleitung (CRB, 2025, S. 7),

NPKSubPosition — die Blattklasse. Sie ist als einzige tariflich relevant und trägt die Attribute unit (Einheit der Verrechnung: m², m³, kg, Stk) sowie price1, price2 und price3 — drei Preisspalten für die drei Phasen Angebot, Werkvertrag und Schlussrechnung.

Parallel dazu existiert mit NPKVariable eine eigenständige Klasse mit eigener Logik. NPKVariable (mit den Attributen number, description, group, requiredNodes, disallowedNodes) modelliert benannte, validierte Parameter innerhalb einer Position. Sie erlaubt die Konfiguration einer einzigen Position mit mehreren Varianten, etwa der Variable 01 für die Betonqualität B25, B30, ... bei der Position Beton.

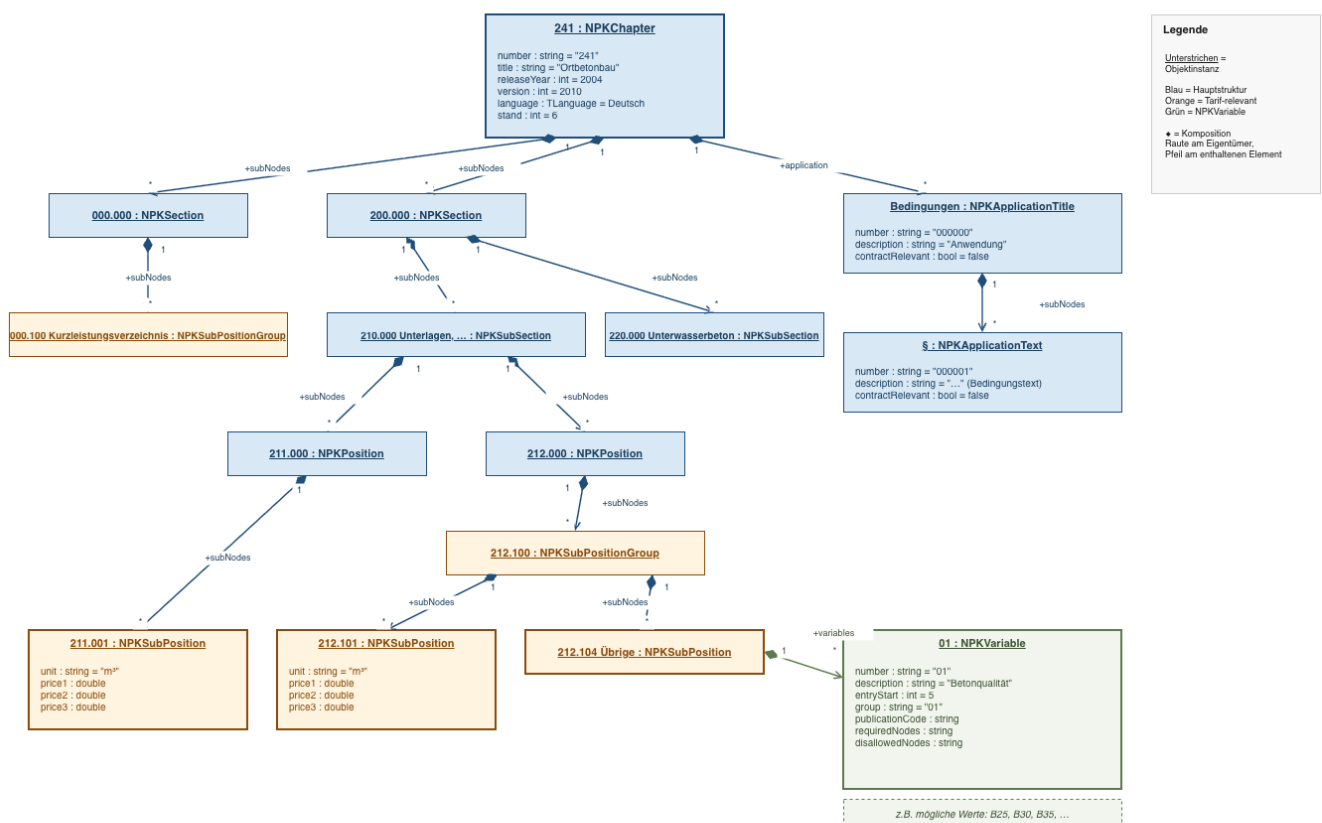
Die Attribute requiredNodes und disallowedNodes tragen die Kohärenzregeln zwischen Variablen und

legen fest, welche Kombinationen einer Position untereinander zulässig sind. NPKApplicationTitle und NPKApplicationText tragen die anwenderorientierten Bedingungstexte. Hier finden sich Bedingungen in Textform. Diese Bedingungstexte enthalten ihrerseits Untertexte als Subnodes. Das boolesche Attribut contractRelevant differenziert, ob es sich um juristisch verbindliche Texte handelt.

Bei einer konkreten Instanziierung des Modells für das NPK-Kapitel 241 (Ortbetonbau) lassen sich zwei strukturelle Eigenschaften erkennen (vgl. Abb. 8). Erstens ist die subNodes-Beziehung typisiert. Das heisst, die Klasse der Kindknoten unterscheidet sich von der der Elternknoten (Chapter – Section – SubSection – Position – SubPositionGroup – SubPosition). Zweitens ist die Hierarchie der NPKApplicationText-Knoten eigenständig: Bedingungstexte können an beliebiger Stelle in der NPK-Positions-Hierarchie verschachtelt werden.

Schema 5.1-B – Objektinstanzdiagramm NPK Kapitel 241 Ortbetonbau

Pädagogisches Beispiel – konkrete Instanziierung des UML-Klassendiagramms (Schema 5.1-A) inkl. NPKVariable und NPKApplicationText



Beispiel-Instanziierung: NPKChapter 241 mit 2 Abschnitten (000, 200), Bedingungen über NPKApplicationTitle/Text, sowie Verfeinerung 200 → 210/220 → 211/212 → 212.100 → 211.001/212.101/212.104. Die Variable 01 (Betonqualität) konditioniert die Position 212.104 über requiredNodes/disallowedNodes.

Abbildung 8: Objektinstanzdiagramm NPK Kapitel 241 Ortbetonbau

5.1.3 Vordersatz und Mengenangaben im Projektkontext

Im UML des NPK-Katalogs sind die Mengenangaben (früher Vordersatz) von zentraler Bedeutung für eine modellbasierte Ausschreibung. Für jede NPKSubPosition der Ausschreibung befüllt der Planer diese Positionen mit den Mengen in der vorgesehenen Einheit.

Drei Phasen mit zugehöriger Menge bilden den kommerziellen Lebenszyklus einer Position ab — analog zur Logik der drei price-Spalten:

Vordersatz Angebot — durch den Planer angegebene, voraussichtliche Menge;

Werkvertragsmenge — vertraglich fixierte Menge;

Aufmass / Schlussrechnung — tatsächlich ausgeführte Menge.

Diese Mengenangaben bilden die operative Verbindung zwischen LV und Bauwerk. Aus diesen Mengensätzen und den Preisen werden die Beträge jeder Position berechnet. In einer modellbasierten Welt (vgl. Kapitel 5.4) liegt hier der entscheidende Brückenpunkt. Genau diese Mengeninformationen sollten künftig automatisch aus den IFC-Bauteilmengen abgeleitet werden — anstatt wie heute manuell durch jeden in ein Projekt involvierten Akteur.

5.2 Abdeckungsmatrix CRBX ↔ IFC4X3

Die in Kapitel 5.1 identifizierten Strukturelemente lassen sich auf die Entitäten der IFC4X3-Cost-Domäne (vgl. Kapitel 3.2.1) übertragen. Für das Mapping-Design wurden zwei zentrale Entscheidungen getroffen, die in Kapitel 5.3 begründet werden.

Die erste Entscheidung ist die Nutzung von `ObjectType` als Datenträger. Da `IfcCostItem.PredefinedType` nur die Werte `USERDEFINED` und `NOTDEFINED` kennt (Cassandro et al., 2024b, S. 1306), wird in der vorliegenden Arbeit das Attribut `ObjectType` als Typträger umfunktioniert. Es trägt Werte wie `Chapter`, `Section`, `SubSection`, `Position`, `SubPositionGroup`, `SubPositionSubGroup`, `SubPosition` und `ApplicationTitle`. Diese Konvention steht im Einklang mit der Vorgehensweise von Cassandro et al. (2024b) für den lombardischen Preiskatalog. Die Konvention bleibt schemakonform; sie standardisiert lediglich die Belegung eines bereits existierenden Attributs. Diese Entscheidung wurde in Absprache mit der Betreuung dieser Arbeit getroffen.

Die zweite Entscheidung ist die Nutzung eines einzigen `IfcCostSchedule` mit dem Namen `NPK` als Wurzel. Andere Schemata setzen ein `IfcCostSchedule` auf Kapitelebene ein. Die Verwendung eines einzigen `IfcCostSchedule` mit dem Namen `NPK` erlaubt es beispielsweise, den administrativen Teil (`A-Records`) am Schedule zu verankern, anstatt ihn für jedes Kapitel zu hinterlegen. Die `NPK`-Kapitel werden zu `Root-IfcCostItem`-Instanzen unterhalb dieses Schedules.

Auf Grundlage dieser Vorgaben ergibt sich die in Abbildung 9 dargestellte Abdeckungsmatrix. Sie ist in drei Abschnitte gegliedert: Abschnitt A für den strukturellen Teil (`NPK`-Hierarchie und Mengen), Abschnitt B für die Klassifikation (`NPK`-Codes als externe Klassifikation) sowie Abschnitt C für den administrativen Teil (Akteure und Konditionen).

Schema 5.2-A – Vollständige Abdeckungsmatrix CRBX    IFC4X3

Tabellarische Gegenüberstellung mit Verlustanalyse über alle drei Abschnitte (A Struktur, B Klassifikation, C Administrativ)

CRBX / NPK-Bau (UML)	Mapping	IFC4X3 (Cost & Resource Domain)	Verlust / Bemerkung
A – Strukturt��il: NPK-Positionshierarchie und Mengen			
NPKChapter	��	IfcCostItem (ObjectType="Chapter")	lossless – Kapitel als Root-CostItem unter einer einzigen IfcCostSchedule mit Namen "NPK" als Wurzel
NPKNode (abstrakt)	��	IfcCostItem + IfcRelNests (Vererbungsebene und Hierarchie)	lossless – Hierarchie via Liste-Semantik von RelatedObjects rekonstruierbar
NPKSection / NPKSubSection	��	IfcCostItem (ObjectType="Section" / "SubSection")	lossless mit Konvention – ObjectType-Wert per IDS / Branchenkonvention
NPKPosition	��	IfcCostItem (ObjectType="Position")	lossless mit Konvention
NPKSubPositionGroup / NPKSubPositionSubGroup	��	IfcCostItem (ObjectType="SubPositionGroup" / "SubPositionSubGroup") + Hierarchie über IfcRelNests	lossless mit Konvention; Group/SubGroup-Unterscheidung nur über ObjectType-String rekonstruierbar
NPKSubPosition «leaf» (unit, price1, price2, price3)	��	IfcCostItem (ObjectType="SubPosition") «leaf» + IfcCostValue (AppliedValue �� price1) + IfcQuantity	lossless – einziger tariflich relevanter Knoten; price1 = Angebot, price2 = Werkvertrag, price3 = Schlussrechnung
Vordersatz / Werkvertragsmenge / Aufmass (Mengenangabe pro SubPosition im LV-Kontext)	��	IfcQuantity (Area/Volume/Weight/Count/Length) als CostQuantities am IfcCostItem; Subtyp durch unit-Attribut der SubPosition gesteuert	lossless mit Konvention – unit �� IfcQuantity-Subtyp; Quelle Bauteil-Qto, " oder manuell
NPKVariable (number, description, group, requiredNodes, disallowedNodes)	��	CHCRB_NPK_Variables (nutzerdefiniertes Property Set) via IfcRelDefinesByProperties	nutzerdefiniert – kein IFC-Pendant; requiredNodes/disallowedNodes-Logik nicht abbildbar ohne IDS
NPKApplicationTitle / NPKApplicationText (rekursive subNodes, contractRelevant)	��	IfcCostItem (ObjectType="ApplicationTitle" / "ApplicationText"), Verschachtelung über IfcRelNests	lossless mit Konvention (Cost-Hierarchie-Variante); alternative flache Pset-Lösung wäre lossy bzgl. Hierarchie
B – Klassifikation: NPK-Codes als externe Klassifikation			
NPK-Katalog als Quelle (CRB, Ausgabejahr)	��	IfcClassification (Source="CRB", Edition="NPK 2024")	lossless – nativer IFC-Mechanismus
NPK-Code pro Knoten (z.B. 241, 212.104, 412.211)	��	IfcClassificationReference (ItemReference, Name) via IfcRelAssociatesClassification	lossless – werkzeugübergreifend austauschbar; skalierbar auf eBKP-H, BKP
C – Administrativer Teil: Akteure, Metadaten, kommerzielle Konditionen			
Bauherr, Planer, Unternehmer (A-Records)	��	IfcActor mit IfcOrganization / IfcPerson und IfcActorRole	lossless
Anbieter / Ersteller des LV	��	IfcRelAssignsToActor mit Name="SubmittedBy" / "PreparedBy" �� IfcActor	lossless – native Schedule-Attribute
Submissionsdatum, Gültigkeitsdatum, Eigentumshistorie	��	IfcCostSchedule.SubmittedOn, UpdateDate; IfcOwnerHistory	lossless
Sekundärgliederungen (B-Records: Objekt, Etappe)	��	IfcGroup + IfcRelAssignsToGroup, alternativ Pset oder IFC-Spatial-Structure	nicht im PoC dieser Arbeit umgesetzt; konzeptionell vorgesehen
Mehrwertsteuer (C-Records)	��	IfcCostValue mit Category="VAT" und ArithmeticOperator=MULTIPLY in IfcCostValue-Hierarchie	lossless mit Konvention – Cassandra-Pattern
Pauschalrabatt, Skonto (C-Records)	��	IfcCostValue mit Category="Discount" und ArithmeticOperator=SUBTRACT	lossless mit Konvention
Zahlungsbedingungen, AGB, externe Pläne und Datenblätter	��	IfcDocumentReference auf externe PDF; alternativ IfcDocumentInformation	semantisch lossy – juristische Texte nicht in Cost-Domäne modellierbar; offene Frage (vgl. Interview I-1 in Kap. 7)
Legende			
�� lossless	verlustfrei, schema-native Abbildung	�� Konvention	lossless mit ObjectType-/Category-Konvention
�� nutzerdefiniert			CHCRB_ -Pset oder semantisch lossy

Abbildung 9: Vollständige Abdeckungsmatrix CRBX-IFC4X3

Drei strukturelle Konsequenzen lassen sich aus dieser Matrix ableiten.

Erstens verlangt das Mapping eine disziplinierte Konvention bei der Belegung von ObjectType und Category. Diese Konvention sollte in der Praxis mittels IDS validiert werden, da es sich um manuell eingegebene Daten handelt und nicht um PredefinedType-Werte (vgl. 5.6). Im Rahmen dieser Arbeit und gemäss der in 1.5 vorgenommenen Abgrenzung wird die Konsistenz dieser Daten manuell geprüft (vgl. K3 in Kapitel 4.5).

Zweitens erzwingt das Mapping die Erstellung zweier Custom Property Sets: CHCRB_NPK_Variables für NPKVariable und CHCRB_NPK_Application für NPKApplicationText. Beide cPsets sind notwendig, da das IFC-Schema kein natives Pendant bereitstellt. Die Namenskonvention von buildingSMART legt fest, dass nur Property Sets, die Bestandteil der offiziellen IFC-Spezifikation sind, den Präfix Pset tragen dürfen (buildingSMART International, 2024, IfcPropertySet   5.1.3.14.1: „Property sets that are not declared as part of the IFC specification shall have a Name value not including the 'Pset_' prefix"). Die Benennung der Custom Property Sets als CHCRB_NPK_(...) ist damit konform mit der Richtlinie von buildingSMART.

Drittens entsteht ein Informationsverlust bei den NPKVariable-Attributen `requiredNodes` und `disallowedNodes`. Diese lassen sich zwar in einem Property Set ablegen, eine logische Validierung der Kombinationen ist auf dieser Ebene jedoch nicht möglich.

5.3 Iterative Konzeptentwicklung — Variantenraum

Die Abdeckungsmatrix in Kapitel 5.2 zeigt mehrere Schlüsselstellen auf, an denen Mapping-Entscheidungen zu treffen sind. Die iterative Entwicklung dieser Arbeit hat ihren Lösungsraum entlang zweier Achsen ausgerichtet. Die Achse A bezieht sich auf die Mapping-Strategie, die Achse B auf die IFC-Typmodellierung.

5.3.1 Variantenraum: zwei Achsen, neun Kandidaten

Die Achse A beschreibt die Mapping-Strategie zwischen CRBX und IFC:

A1 = direkt zwischen CRBX und IFC,

A2 = indirekt mit eBKP-H zwischen CRBX und IFC,

A3 = hybrid mit beiden koexistierenden Systemen.

Die Achse B beschreibt die IFC-Typmodellierung der NPK-Knoten:

B1 = ObjectType mit USERDEFINED-Werten,

B2 = nutzerdefiniertes Property Set,

B3 = IfcClassification und IfcClassificationReference als IFC-Mechanismus für externe Klassifikationen.

Die Kreuzung dieser Varianten ergibt neun mögliche Lösungen (vgl. Abb. 10). Sechs davon lassen sich in einem ersten Schritt ausschliessen. Sämtliche Varianten, die mit A2 gekreuzt sind, lassen sich verwerfen. Der Pfad A2 wird nicht weiterverfolgt, weil die Nutzung des eBKP-H zwischen CRBX und IFC eine doppelte Verlustkette erzeugt. Diese doppelte Verlustkette entsteht dadurch, dass NPK und eBKP-H nicht eindeutig aufeinander abbildbar sind (vgl. Kapitel 4.2 und CRB-Publikation 1026). Die Variante A3 ihrerseits erzeugt eine exponentielle Mapping-Komplexität, ohne gegenüber A1 einen klaren Mehrwert zu liefern.

Es bleiben somit drei Varianten, die alle der Strategie A1 zugeordnet sind — mit zunehmender semantischer Tiefe entlang $B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3$:

V1 = A1·B1 — direkt + ObjectType USERDEFINED,

V2 = A1·B2 — direkt + nutzerdefiniertes Property Set CHCRB_NPK_Type,

V3 = A1·B3 — direkt + IfcClassification und IfcClassificationReference.

Schema 5.3-A — Variantenraum entlang zweier Achsen: neun Kandidaten, drei retenierte Varianten

Achse A (Mapping-Strategie) × Achse B (IFC-Typmodellierung) — gemäss Kapitel 5.3.1

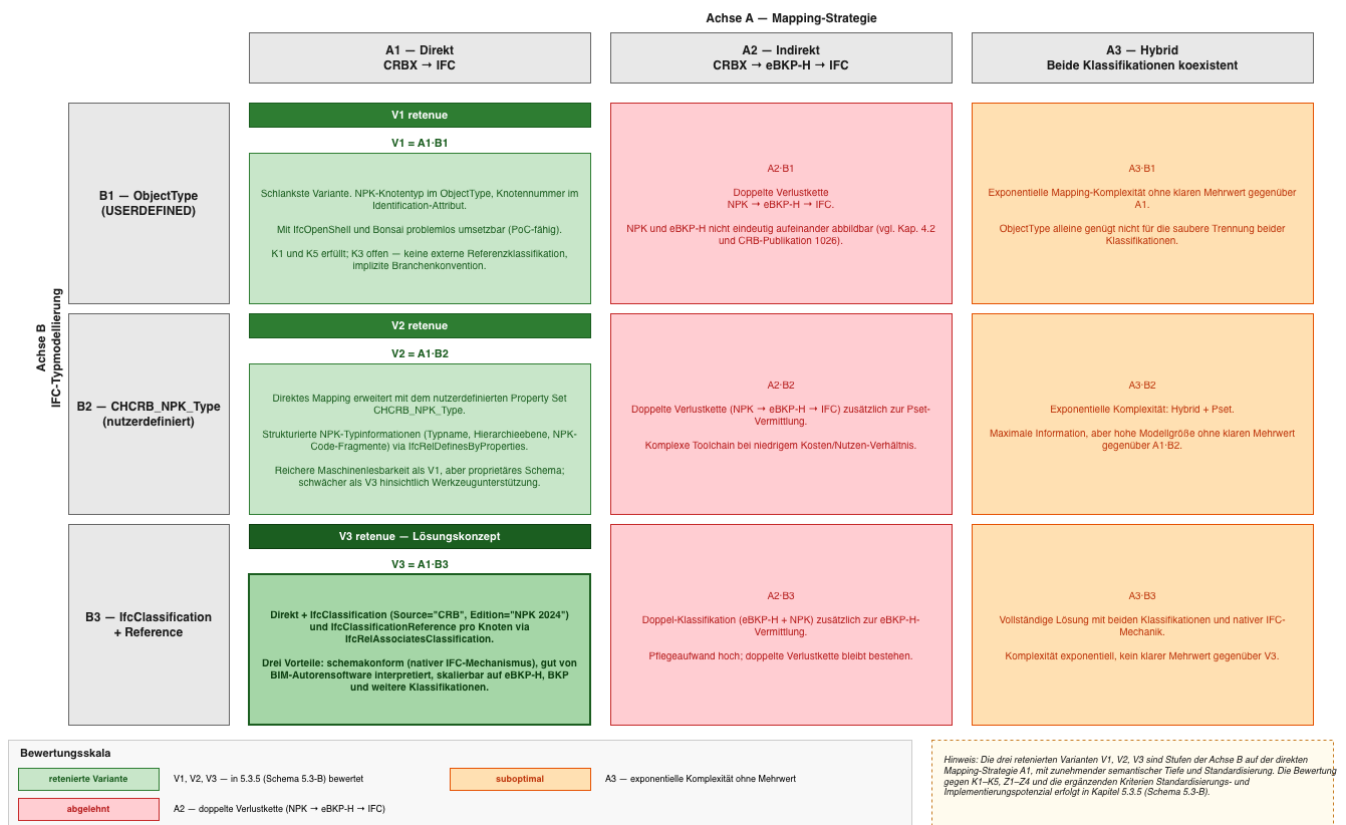


Abbildung 10: Variantenraum entlang zweier Achsen: neun Kandidaten, drei retenierte Varianten

5.3.2 Variante V1 — ObjectType USERDEFINED

V1 ist die schlankste Variante. Der NPK-Knotentyp wird durch ObjectType getragen (Chapter, Section, Position, ...), die Knotennummer liegt im Attribut Identification. Es gibt keine Referenz auf eine externe Klassifikation und kein Property Set für die Typinformation.

Diese Variante ist die minimale Lösung und lässt sich mit IfcOpenShell mehr oder weniger problemlos umsetzen und in einem Model Viewer wie BlenderBIM visualisieren. V1 erfüllt K1 (Strukturelle Abbildbarkeit) und K5 (Mengentransparenz) und ermöglicht über IfcRelAssignsToControl die Element-Verknüpfung. Eine offene Frage bleibt allerdings in Bezug auf K3 (semantische Eindeutigkeit der NPK-Codierung) bestehen: Ohne externe Referenzklassifikation müssen Empfänger und Sender exakt dieselben String-Konventionen verwenden — eine implizite Branchenkonvention, die ausserhalb des unmittelbaren Austauschs nicht sichtbar wird.

5.3.3 Variante V2 — CHCRB_NPK_Type

Die Variante V2 ist eine Ergänzung zu V1. Sie strukturiert die NPK-Typinformationen (Typname, Hierarchieebene, NPK-Code-Fragmente) über ein nutzerdefiniertes Property Set (CHCRB_NPK_Type). Das cPset wird an jedes IfcCostItem über IfcRelDefinesByProperties gehängt.

Die Variante V2 erhöht gegenüber V1 die Maschinenlesbarkeit, da die Typinformation nicht mehr als freier String im Attribut liegt. Werden V2 und V1 kombiniert, entsteht eine Redundanz: die Information liegt sowohl im ObjectType als auch im cPset vor. Hinsichtlich der Werkzeugunterstützung ist V2 schwächer als V3. Die cPsets sind zwar in IFC-Viewern visualisierbar, werden semantisch jedoch nicht interpretiert, während IfcClassification ein nativer Mechanismus ist.

5.3.4 Variante V3 — IfcClassification + Reference

Die Variante V3 nutzt den IFC-Schema-Mechanismus für externe Klassifikationen. Eine IfcClassification-Instanz deklariert NPK als externes Klassifikationssystem (Source="CRB", Edition="NPK 2024", Name="Normpositionen-Katalog Bau"). Eine IfcClassificationReference-Instanz pro genutztem NPK-Code verweist auf den entsprechenden Knoten und wird über IfcRelAssociatesClassification mit dem jeweiligen IfcCostItem verbunden.

Drei Vorteile lassen sich aus dieser Variante klar ableiten. Erstens handelt es sich um eine konforme Lösung im Sinne der IFC-Mechanismen, da sie nutzt, was das Schema bereitstellt: IfcClassification ist genau zu diesem Zweck im Schema vorgesehen. Zweitens sind BIM-Autorensoftwares besser in der Lage, diesen Mechanismus zu interpretieren. Drittens ist der Mechanismus skalierbar — er liesse sich ohne neue Konvention auch auf eBKP-H, BKP oder weitere Klassifikationssysteme anwenden. Der Knotentyp verbleibt zudem im ObjectType, weil IfcClassification die NPK-Codierung trägt, nicht aber die typologische Rolle (Section vs. Position vs. SubPosition) des Knotens innerhalb der Hierarchie.

5.3.5 Variantenvergleich und Auswahl

Die drei retenierten Varianten werden anhand der in Kapitel 4.5 definierten Anforderungsmatrix bewertet. Die Kernanforderungen und die Zusatzanforderungen werden in der unten aufgeführten Reihenfolge berücksichtigt. Ergänzend zur ursprünglichen Anforderungsliste kommen zwei weitere Bewertungskriterien hinzu: Standardisierungspotenzial und Implementierungspotenzial.

Abbildung 11 fasst diese Bewertung zusammen. V3 dominiert in fünf von sechs diskriminierenden Kriterien. Der höhere Implementierungsaufwand wird durch die Standardkonformität und die Skalierbarkeit kompensiert. V3 wird als Lösungskonzept retenu.

Schema 5.3-B — Bewertungsmatrix V1 / V2 / V3 gegen Anforderungen aus Kapitel 4.5

K1–K5 Kernanforderungen, Z1–Z4 Zusatzanforderungen sowie zwei ergänzende Kriterien — V3 dominiert auf den diskriminierenden Kriterien (5 von 6)

Kriterium	V1 — ObjectType USERDEFINED	V2 — CHCRB_NPK_Type	V3 — IfcClassification (Lösungskonzept retenu)
KERNANFORDERUNGEN K1 – K5			
K1 — Strukturelle Abbildbarkeit NPK-Hierarchie vollständig im IFC darstellbar	identisch erf��lt	identisch erf��lt	identisch erf��lt
K2 — Round-Trip-Fähigkeit CRBX → IFC → CRBX verlustfrei reversibel	teilweise	ja, mit Pset-Konvention	ja, nativ
K3 — Semantische Eindeutigkeit der NPK-Codierung Maschinenlesbarkeit, eindeutige Herkunft	schwach	gut	exzellent
K4 — Rechtssicherheit / IFC-Standardkonformität Konformität zum Schema, Belege durch Validation	hoch	mittel (nutzerdef. Pset)	hoch (nativer Mechanismus)
K5 — Mengentransparenz Herkunft der Mengen explizit nachvollziehbar (ABC)	identisch erf��lt	identisch erf��lt	identisch erf��lt
ZUSATZANFORDERUNGEN Z1 – Z4			
Z1 — Mehrsprachigkeit NPK-Inhalte in Deutsch, Französisch, Italienisch	identisch erf��lt	identisch erf��lt	identisch erf��lt
Z2 — Prozessuale Anbindung (5D-BIM / IPD) Werkzeug��bergreifende Interpretierbarkeit	begrenzt	gut	optimal
Z3 — Versionierung Trennung Angebot / Werkvertrag / Schlussrechnung	identisch erf��lt	identisch erf��lt	identisch erf��lt
Z4 — Werkzeugunterstützung openBIM-Werkzeuge, IfcOpenShell, Bonsai	identisch erf��lt	identisch erf��lt	identisch erf��lt
ERGÄNZENDE BEWERTUNGSKRITERIEN (pragmatisch, ohne Anforderungs-Code)			
Standardisierungspotenzial Übertragbarkeit auf buildingSMART / CRB-Strategie	niedrig	mittel	hoch
Implementierungsaufwand Komplexität der Befüllung der Schema-Klassen	niedrig (vorteilhaft)	mittel	höher (mit IfcOpenShell handhabbar)
AUSWAHL — V3 ist als Lösungskonzept retenu			
Sechs der elf Kriterien werden durch alle drei Varianten gleichermaßen erf��lt (K1, K5, Z1, Z3, Z4) sowie K4 für V1 und V3 — treffen damit keine Vorentscheidung. Diskriminierend wirken K2, K3, K4 (gegenüber V2), Z2 sowie die beiden ergänzenden Kriterien. Auf diesen sechs diskriminierenden Kriterien dominiert V3 in fünf Aspekten: der höhere Implementierungsaufwand wird durch Standardkonformität, werkzeug��bergreifende Lesbarkeit und Skalierbarkeit auf andere Klassifikationssysteme aufgewogen.			
identisch erf��lt	nicht diskriminierend	bestes Resultat	auf dem Kriterium
mittel	brauchbar mit Vorbehalt	schwach / begrenzt	nicht empfehlenswert

Abbildung 11: Bewertungsmatrix V1/ V2/ V3 gegen Anforderungen aus Kapitel 4.5

5.4 Bidirektionales Mapping-Schema (V3)

Im Folgenden wird das Mapping-Schema in fünf Schichten definiert: die Struktur des Leistungsverzeichnisses (5.4.1), die externe Klassifikation über IfcClassification (5.4.2), der administrative Teil mit Akteuren und Konditionen (5.4.3), die Mechanik der Element-Verknüpfung und Mengenermittlung generisch (5.4.4) und das Anwendungsbeispiel Eichenparkett (5.4.5).

5.4.1 Struktur des Leistungsverzeichnisses

Die Wurzel des Mappings ist ein einziger IfcCostSchedule mit Name="NPK" und PredefinedType=.BUDGET. für ein Submissionsmodell beziehungsweise .PRICEDBILLOFQUANTITIES. für ein Angebot. Die NPK-Kapitel werden unterhalb des Schedule als Root-IfcCostItem-Instanzen platziert, verknüpft über IfcRelAssignsToControl (RelatingControl = Schedule, RelatedObjects = Kapitel-CostItems).

Innerhalb jedes Kapitels rekonstruiert IfcRelNests die NPK-Hierarchie. Eine Instanz dieser Struktur am Beispiel des NPK-Kapitels 241 (Ortbetonbau) sieht in groben Zügen wie folgt aus:

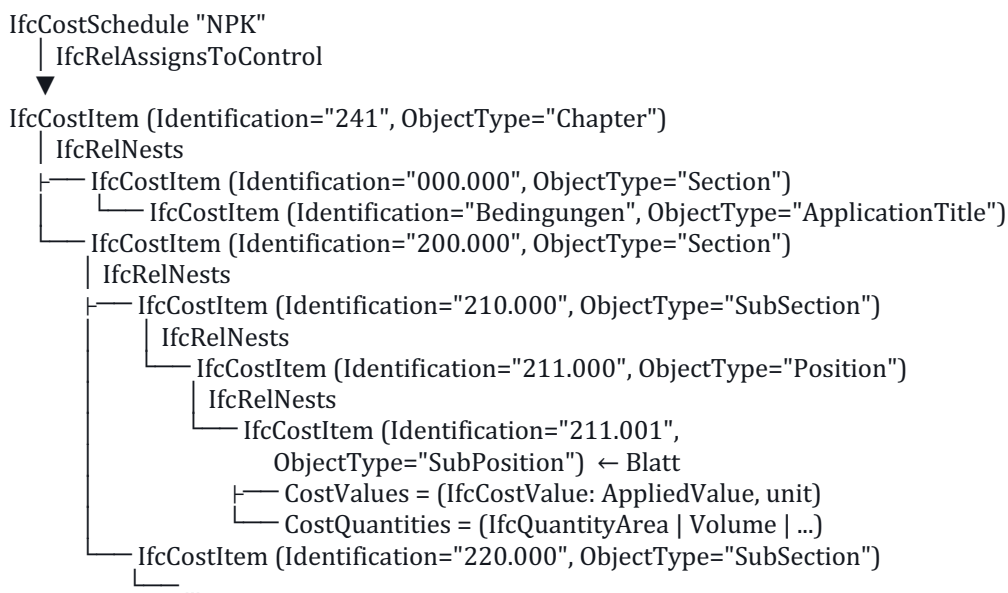


Abbildung 12 zeigt diese Struktur als IFC-Objektinstanzdiagramm und spiegelt damit den NPK-Aufbau aus Abb. 8 auf der IFC-Seite. Zwei Eigenschaften fallen in der oben dargestellten Struktur auf. Erstens trägt nur die Blattebene (ObjectType="SubPosition") tatsächliche IfcCostValue-Instanzen mit konkretem AppliedValue. Alle inneren Knoten tragen entweder keine CostValues oder eine * als Aggregations-Platzhalter in der Category. Dies entspricht einer Konvention der IFC-Cost-Domäne, welche die Aggregation entlang der Hierarchie an IFC-Viewer und Cost-Engines delegiert.

Zweitens lässt sich erkennen, dass die NPKVariable über das cPset CHCRB_NPK_Variables mittels IfcRelDefinesByProperties an das Leaf-CostItem gebunden ist.

Konvention der Positionsnummerierung. Das Identifikator-Attribut Identification des IfcCostItem trägt im PoC den vollständigen NPK-Pfad — beispielsweise 664.400.410.412.200.210.211 für die Position Eiche 1. Sortierung — um Eindeutigkeit zu sichern (eine Unterposition .211 ohne Kontext käme im NPK-Katalog mehrfach vor). Im laufenden Text wird zur besseren Lesbarkeit die NPK-Kurzform verwendet, etwa „Position 412.211“ oder „Unterposition .211“; gemeint ist stets der vollständige Pfad innerhalb der jeweiligen Branche. Die Schemavorschläge und die direkten Auszüge aus dem PoC-

Datensatz nutzen die vollständige Form.

Schema 5.4-A – IFC4X3 Objektinstanzdiagramm: Spiegelung NPK Kapitel 241 (Ortbetonbau)

V3-Mapping: IfcCostSchedule = "NPK" (Wurzel), Kapitel als IfcCostItem mit ObjectType="Chapter", NPK-Codes via IfcClassification

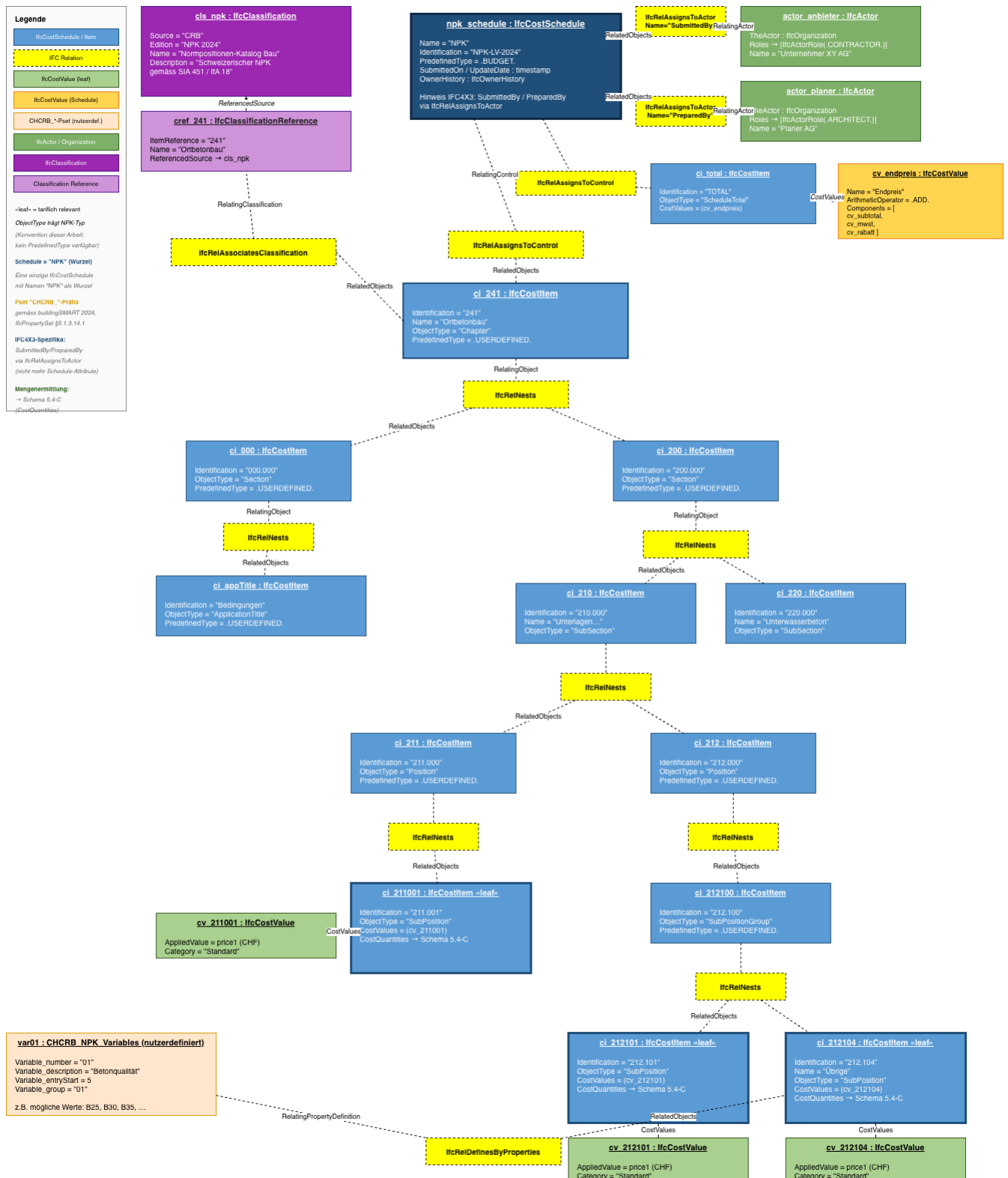


Abbildung 12: IFC 4X3 Objektinstanzdiagramm: Spiegelung NPK Kapitel 241 (Ortbetonbau)

5.4.2 NPK-Codes via IfcClassification

Der NPK-Katalog wird zusätzlich zu seiner strukturellen Hierarchie als externes Klassifikationssystem deklariert. Eine einzige IfcClassification-Instanz pro IFC-Datei hält die Metainformationen:

IfcClassification

Source = "CRB"
 Edition = "NPK 2024"
 Name = "Normpositionen-Katalog Bau"
 Description = "Schweizerischer NPK gemäss SIA 451 / IfA 18"

Für jeden NPK-Knoten existiert eine IfcClassificationReference-Instanz, die den vollständigen Code als ItemReference und den Knotentitel als Name trägt:

IfcClassificationReference

ItemReference = "412.211"
 Name = "Eiche 1. Sortierung"
 ReferencedSource → IfcClassification

IfcRelAssociatesClassification übernimmt die Verbindung mit dem CostItem (RelatingClassification = Reference, RelatedObjects = CostItem). Damit liegt die NPK-Codierung an drei orthogonalen Stellen vor: im Identification-Attribut des CostItem (Kurzform), im ObjectType (Typeebene) und in der Classification Reference (vollständige, klassifizierungsfähige Form). Diese Redundanz ist erwünscht: sie unterstützt sowohl die hierarchische Navigation im Modell als auch die Lesbarkeit für klassifikationsbasierte Abfragen.

5.4.3 Akteure und kommerzielle Konditionen

Der administrative Teil sowie die A- und C-Records lassen sich mit den Standardmechanismen von IFC abbilden, ohne dass zusätzliche benutzerdefinierte Strukturen eingeführt werden müssen (vgl. Abb. 13)..

Akteure. Bauherr, Planer und Anbieter werden als IfcActor-Instanzen modelliert, die jeweils eine IfcOrganization oder IfcPerson mit einer IfcActorRole (.CONTRACTOR., .ARCHITECT., .OWNER.) referenzieren. In IFC4 trug IfcCostSchedule noch die Attribute SubmittedBy und PreparedBy — in IFC4X3 sind diese entfallen. Die Verknüpfung erfolgt stattdessen über IfcRelAssignsToActor mit Name="SubmittedBy" beziehungsweise "PreparedBy". Die Eigentumshistorie der Datei wird im Standard-IFC-Header über IfcOwnerHistory getragen.

Mehrwertsteuer und Rabatte. Hier kommt die IfcCostValue-Hierarchie zum Tragen, die Cassandro et al. (2024b, S. 1308) für die Modellierung von Gemeinkosten und Gewinn im lombardischen Preiskatalog entwickelt haben: „*the cost value of construction work is calculated by adding the cost values of the work and activity (referred to as 'A'), plus overheads (15 % of A ...), and the profit (10 % of A+B). The final cost is the sum of 'A', 'B', and 'C'.*“ Derselbe Mechanismus wird zur Implementierung der Rabatte und der Mehrwertsteuer eingesetzt. Sie werden als zusätzliche IfcCostValue-Komponente abgebildet und über einen arithmetischen Operator verknüpft:

IfcCostValue "Endpreis"

ArithmeticOperator = .ADD.

Components = [Subtotal, MwSt, Rabatt]

└─ IfcCostValue "Subtotal" (AppliedValue = Σ Positionen)

```

└─ IfcCostValue "MwSt" (Category="VAT", ArithmeticOperator=.MULTIPLY., AppliedValue=0.081)
└─ IfcCostValue "Rabatt" (Category="Discount", ArithmeticOperator=.SUBTRACT., AppliedValue=...)

```

Diese Hierarchie ist direkt im *IfcCostSchedule* über das Attribut *CostValue* verankert und gilt somit für das gesamte Leistungsverzeichnis. Die zugrunde liegende Mechanik ist nativ im Schema vorgesehen, erfordert jedoch eine Konvention bei der Benennung der *Category*, analog zur *ObjectType*-Konvention für die NPK-Typen.

Zahlungsbedingungen, AGB und externe Dokumente. Juristische Texte und externe Pläne lassen sich nicht sinnvoll in der Cost-Domäne modellieren. Im Rahmen dieser Arbeit werden sie als *IfcDocumentReference* auf externe PDF-Dateien angehängt. Die genaue Verortung — eingebetteter *IfcDocumentReference* im selben IFC-Container oder externe URL — bleibt eine offene Frage, die in Interview I-1 (Sorba, Kap. 7.2) explizit angesprochen, aber nicht abschliessend geklärt wurde.

Sekundärgliederungen (B-Records). Die projektspezifischen Gliederungen nach Objekt, Etappe oder Bauteilgruppe — orthogonal zur NPK-Hierarchie — lassen sich über *IfcGroup* mit *IfcRelAssignsToGroup* abbilden, alternativ über die native IFC-Spatial-Structure (*IfcBuildingStorey*, *IfcSpace*) wenn die Sekundärgliederung mit realer Geometrie korrespondiert. Sie sind im PoC dieser Arbeit nicht aktiv umgesetzt, weil das Szenario Eichenparkett keine Sekundärgliederung benötigt, bleiben aber konzeptionell vorgesehen.

Schema 5.4-B — Administrativer Teil: Akteure und kommerzielle Konditionen

Mapping CRBX A-Records (Akteure) und C-Records (MwSt, Rabatt) auf IFC4X3-Mechanismen

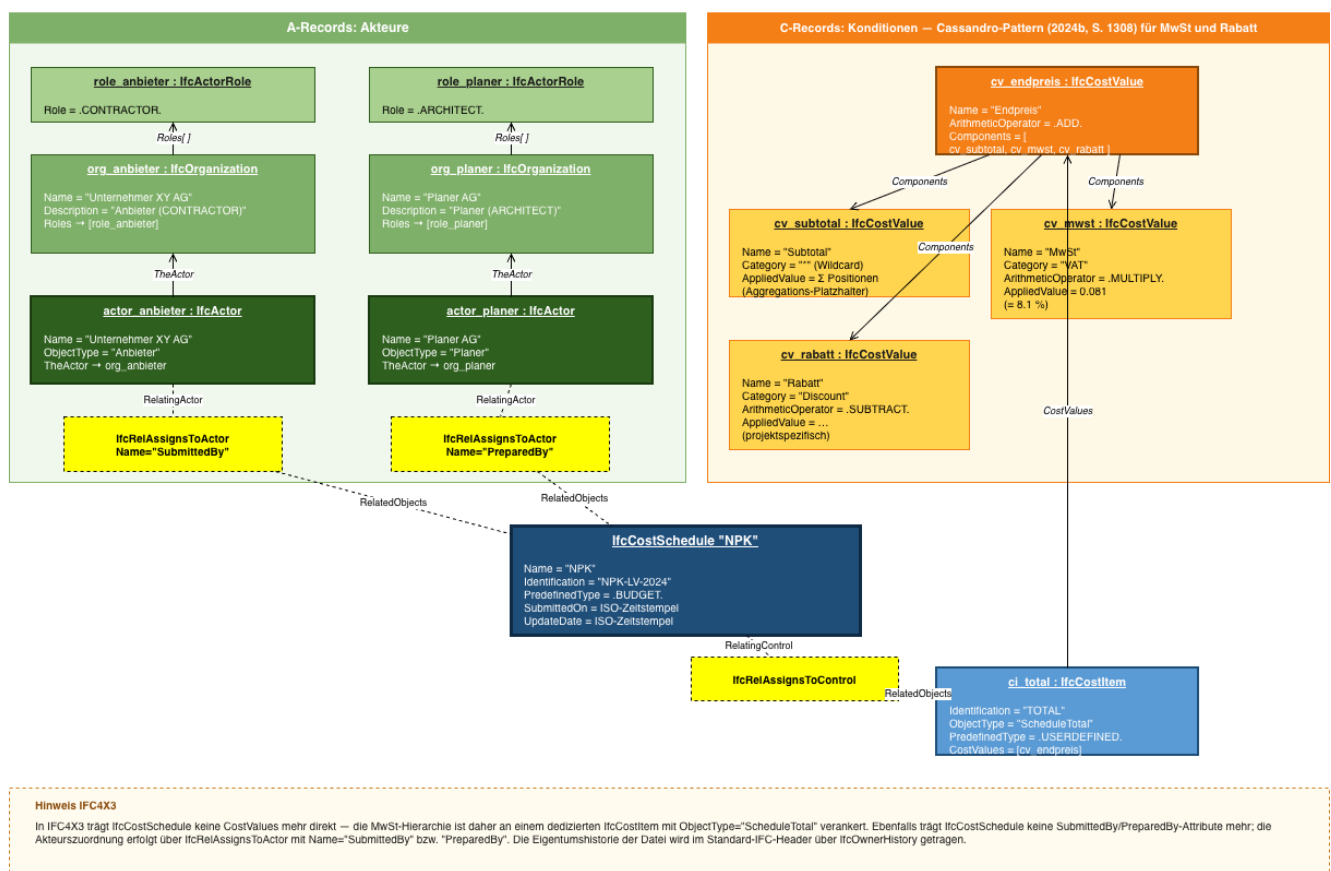


Abbildung 13: Administrativer Teil: Akteur und kommerzielle Konditionen

5.4.4 Element-Verknüpfung und Mengenermittlung — Mechanik

Die Brücke zwischen LV und Bauwerksmodell wird durch zwei IFC-Mechanismen geschlagen, die zusammenspielen (vgl. Abb. 14). Zum einen über eine Beziehung — welches Bauteil betrifft eine Position —, zum anderen über eine Mengenangabe — wie viel der Bauteilmenge in diese Position einfließt.

Mechanismus 1 — Verknüpfung Bauteil ↔ CostItem. Die Zuordnung einer NPK-Position zu einem konkreten IFC-Bauteil (etwa einer IfcWall, IfcSlab oder IfcBeam) erfolgt über IfcRelAssignsToControl, mit dem IfcCostItem als RelatingControl und dem Bauteil als RelatedObjects. Diese Beziehung ist gerichtet — das CostItem kontrolliert eine oder mehrere Bauteile — und sie ist mehrwertig: Ein einzelnes Bauteil kann mehreren CostItems zugeordnet sein (eine Wand kann mit Schalung, Beton, Bewehrung und Putz vier verschiedene NPK-Positionen tragen), und eine einzelne Position kann mehrere gleichartige Bauteile zusammenfassen.

Mechanismus 2 — Mengen am Bauteil. Jeder Bauteiltyp in IFC trägt seine Standardmengen in einem IfcElementQuantity mit standardisiertem Namen — Qto_WallBaseQuantities für IfcWall (mit NetVolume, GrossVolume, NetSideArea, GrossSideArea, Length, Height, Width), Qto_SlabBaseQuantities für IfcSlab (mit NetArea, GrossArea, NetVolume, GrossVolume), Qto_BeamBaseQuantities für IfcBeam. Diese standardisierten Quantity Sets sind im IFC-Schema definiert und tragen daher den Qto_-Präfix; im Gegensatz zu nutzerdefinierten Property Sets gelten für sie keine Namensrestriktionen, da sie Teil der buildingSMART-Spezifikation sind. Sie werden vom BIM-Autorenwerkzeug aus der Geometrie abgeleitet und über IfcRelDefinesByProperties an das Bauteil gehängt.

Mechanismus 3 — CostQuantities am CostItem. Das IfcCostItem führt selbst eine Liste CostQuantities mit IfcQuantity*-Instanzen, welche die für die Kostenberechnung relevanten Mengenangaben tragen. Im Mapping wird der Wert aus dem Qto_ *BaseQuantities des verknüpften Bauteils gelesen und in die CostQuantities des CostItem kopiert. Dieses Vorgehen — direkte Kopie statt dynamischer Referenz — ist robust und im PoC einfach umzusetzen; der Preis dafür ist die Notwendigkeit einer Re-Synchronisierung, wenn sich die Bauteilgeometrie ändert.

Mechanismus 4 — Konvention unit → IfcQuantity-Subtyp. Damit das Mapping-Programm weiss, welche Menge des Bauteils es ablesen muss, dient das unit-Attribut der NPKSubPosition als Steuerungsinformation. Die folgenden Korrespondenzen werden in dieser Arbeit konventionell festgelegt:

NPK unit	IFC IfcQuantity-Subtyp	Typische Bauteil-Quelle
m ²	IfcQuantityArea (NetArea / NetSideArea)	Wand-Sichtfläche, Bodenfläche
m ³	IfcQuantityVolume (NetVolume)	Beton-Volumen
m, lfm	IfcQuantityLength (Length)	Trägerlänge, Fugen
kg, t	IfcQuantityWeight (NetWeight)	Bewehrung, Stahl
Stk, Stück	IfcQuantityCount	Z��hlobjekte (Türen, Fenster, ...)
h, Std	IfcQuantityTime	Stundenbasierte Leistungen

Diese Zuordnung ist nicht fest im IFC-Schema verdrahtet, sondern wird über ein Mapping-Skript implementiert (IfcOpenShell-Skript im PoC, vgl. Kapitel 6). Analog zur ObjectType-Konvention liesse sich diese Zuordnung über eine IDS-Spezifikation formalisieren — was nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

Bewertung gegen K5 — Mengentransparenz. Die ABC-Klassifikation nach Picarel (2024, S. 13) lässt sich mit dieser Mechanik direkt operationalisieren:

- A — modellbasiert direkt** : Die Menge existiert nativ als `Qto_*BaseQuantities` am Bauteil und kann ohne Transformation übernommen werden;
- B — modellbasiert indirekt** : Die Menge muss aus Bauteilattributen berechnet werden (etwa Stossfugenl  nge als Summe von Bauteilkanten), wofür ein zusätzlicher Berechnungsschritt nötig ist;
- C — konventionell** : Die Menge entstammt einer externen Annahme (Stundenpauschalen, Logistikkosten) und ist nicht aus dem Modell ableitbar.

Die ABC-Klassifikation jeder Position lässt sich im PoC über das Attribut `CHCRB_NPK_Variables` oder über ein dediziertes cPset — etwa `CHCRB_QuantityProvenance` — dokumentieren. Damit wäre die Mengentransparenz nach K5 explizit erfüllt.

Schema 5.4-C — Element-Verknüpfung und Mengenermittlung: Mechanik generisch

Bauteil → `Qto_*BaseQuantities` → `CostQuantities` → `IfcCostItem`, mit Konvention unit → `IfcQuantity-Subtyp`

Konkretes Anwendungsbeispiel → Schema 5.4-D (Eichenparkett)

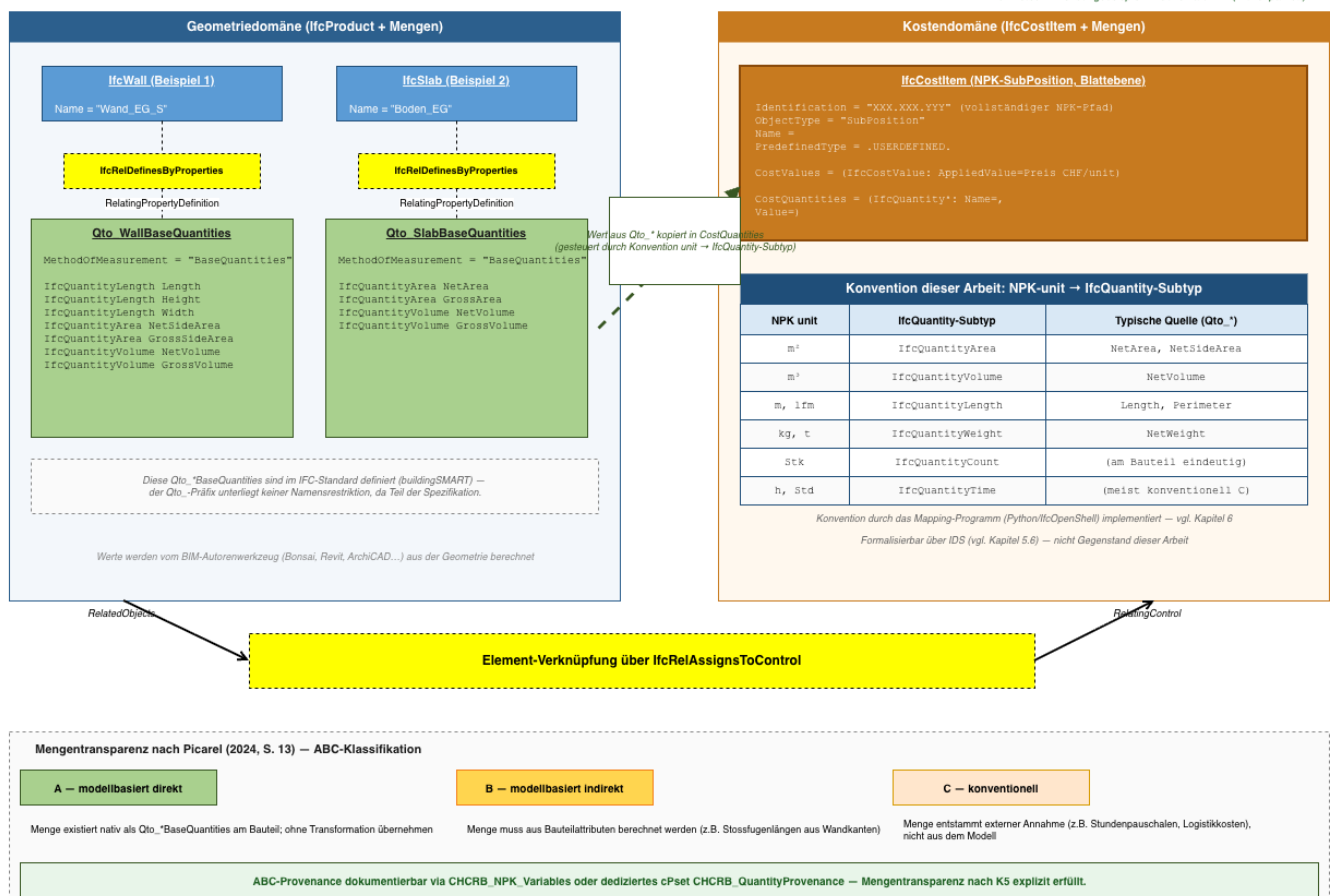
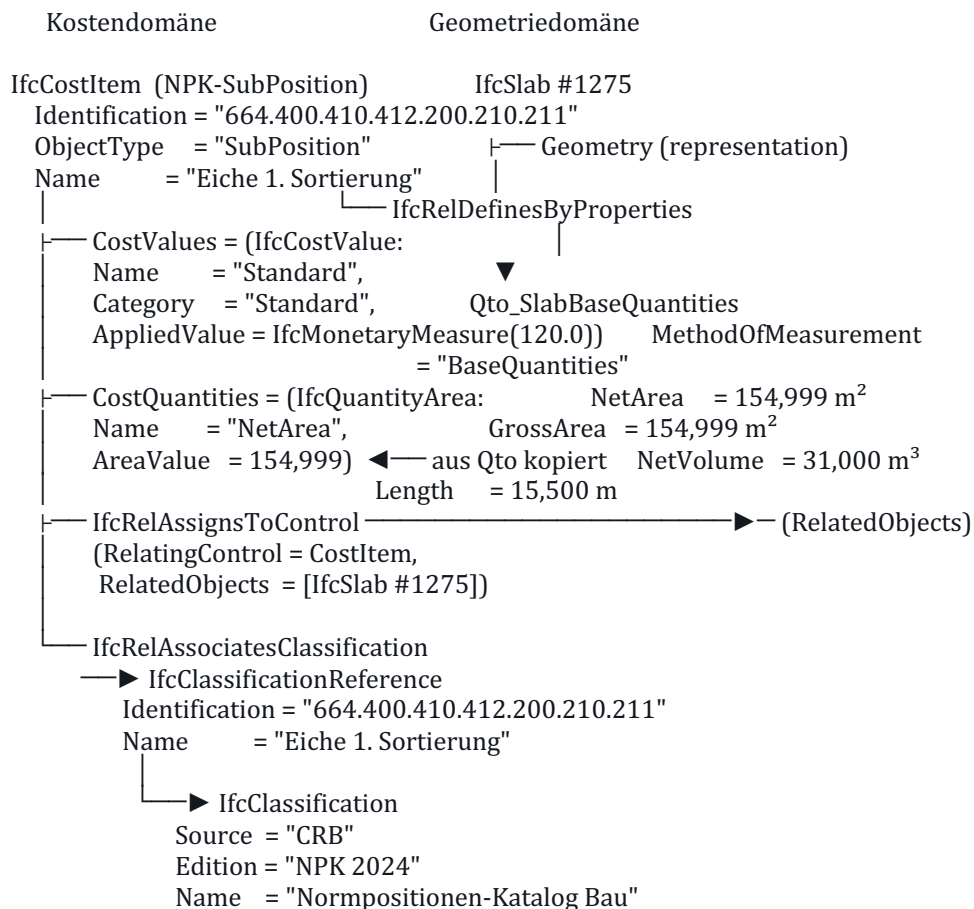


Abbildung 14: Element-Verknüpfung und Mengenermittlung: Mechanik generisch

5.4.5 Anwendungsbeispiel Eichenparkett

Die in 5.4.4 beschriebenen Mechanismen werden am Szenario Eichenparkett 155 m² konkretisiert (Datensatz `EicheParkett_offre_A_V3.ifc`, vgl. Kapitel 6); Abbildung 15 zeigt die vollständige Instanziierung dieses Beispiels.. Ein Bodenelement `IfcSlab #1275` trägt im Modell die Geometrie und die Mengenangabe `Qto_SlabBaseQuantities.NetArea = 154,999 m2`. Im Leistungsverzeichnis ist die Position NPK 412.211 „*Mehrschichtparkett, verlegen, verleimt, Klickprofil, auf Zementestrich kleben, versiegelt, d mm 13–15, Eiche 1. Sortierung*“ zu 120 CHF/m² ausgeschrieben. Die vollständige Verknüpfung sieht wie folgt aus:



Resultierender Betrag: $120,0 \text{ CHF/m}^2 \times 154,999 \text{ m}^2 = 18\,599,88 \text{ CHF}$

In einer konkreten Offerte ist **eine einzige NPK-Position pro Bauteil aktiv** (Variante α): Die Position 412.211 (Eiche 1. Sortierung, 120 CHF/m²) ist mit dem Slab verknüpft, während die alternativen Positionen 412.212 (Eiche 2. Sortierung, 95 CHF/m²) und 412.213 (Esche/Buche, 78 CHF/m²) zwar als IfcCostItem im Schedule "NPK" existieren und ihre eigenen IfcCostValue tragen, aber keine IfcRelAssignsToControl-Beziehung zum Slab haben. Sie bleiben Teil des Katalogs, ohne in der konkreten Ausschreibung wirksam zu werden.

Die IfcCostValue mit AppliedValue = 120 CHF sitzt ausschliesslich auf der Blattebene (ObjectType="SubPosition"). Die übergeordneten Knoten der Hierarchie (664 → 400 → 410 → 412 → .200 → .210) tragen keine CostValues und delegieren die Aggregation an die übergeordnete Endpreis-Struktur am ScheduleTotal-CostItem (vgl. 5.4.3). Die Einheit wird nicht am IfcCostValue selbst getragen, sondern durch den Subtyp der zugehörigen IfcQuantity ausgedrückt — hier IfcQuantityArea, gemäss der Konvention unit="m²" → IfcQuantityArea aus 5.4.4. Der Wert NetArea = 154,999 m² wurde aus dem Qto_SlabBaseQuantities des Slabs übernommen.

Dieser Aufbau erfüllt sämtliche Kernanforderungen aus 4.5:

K1 (Strukturelle Abbildbarkeit) — die NPK-Hierarchie 664 → 400 → 410 → 412 → .200 → .210 → .211 ist vollständig über IfcRelNests rekonstruierbar.

K2 (Round-Trip-Fähigkeit) — die Vollständigkeitsmatrix in 6.3.1 weist jede CRBX-Information eindeutig im IFC-Modell nach.

K3 (Semantische Eindeutigkeit) — die Bauteil-Position-Zuordnung ist via IfcRelAssignsToControl formal eindeutig; die Validierung erfolgt im Rahmen dieser Arbeit manuell.

K4 (Rechtssicherheit) — die schematische Konformität des Datensatzes ist durch den IfcValidation Service bestätigt (vgl. 6.3).

K5 (Mengentransparenz) — IfcQuantityArea mit expliziter Name-Annotation und expliziter Quelle (Qto_SlabBaseQuantities des Slabs) macht die Mengenherkunft sichtbar.

Schema 5.4-D — Anwendungsbeispiel Eichenparkett (NPK 412.211, Variante a)

Konkrete Ausprägung des V3-Mappings auf Basis des PoC-Datensatzes EicheParkett_offre_A_V3.If — eine aktive Position pro Bauteil, zwei latente Alternativen

Variante a: eine aktive Position pro Bauteil (eine IfcRelAssignsToControl-Beziehung pro Slab)

Strukturkontext → Schema 5.4-A

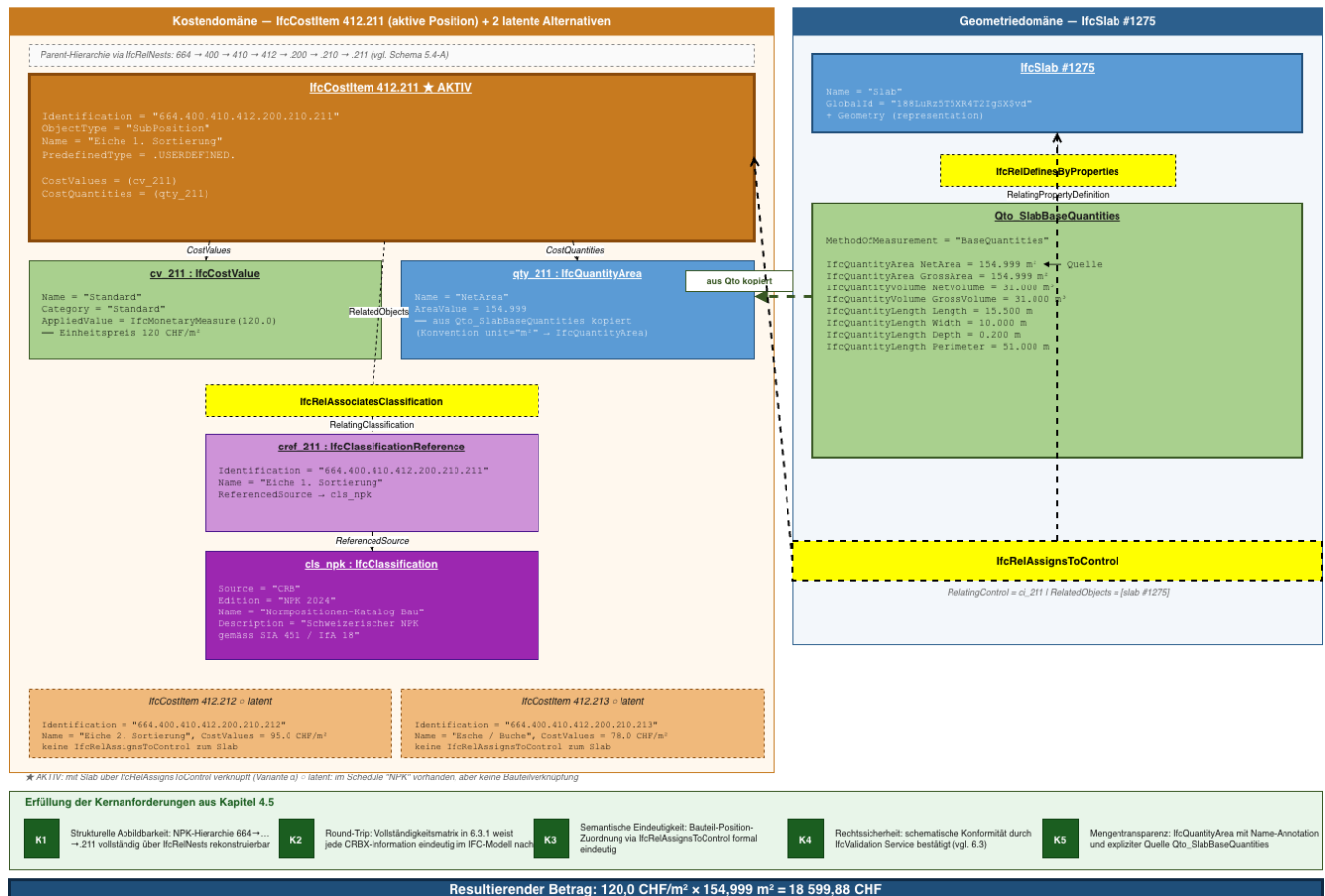


Abbildung 15: Anwendungsbeispiel Eichenparkett

5.5 Semantische und technische Grenzen

Auch wenn der Abdeckungsgrad hoch ist, verbleiben strukturelle Grenzen. Konkret lassen sich sechs solche Grenzen identifizieren. Diese Grenzen werden im PoC dokumentiert und in den Kapiteln 8 und 9 vertieft diskutiert.

Grenze 1 — Fehlender PredefinedType für Kostentypen. IfcCostItem kennt nur die Werte USER-DEFINED und NOTDEFINED. Die in dieser Arbeit eingeführte Konvention, ObjectType als Typtr  ger zu verwenden, ist eine pragmatische Lösung. Eine native Erweiterung des Schemas um einen IfcCostItemTypeEnum mit Werten wie CHAPTER, SECTION, POSITION, SUBPOSITION würde die Maschinenlesbarkeit erheblich verbessern. Eine entsprechende Empfehlung an buildingSMART wird in 9.2 formuliert.

Grenze 2 — NPKVariable ohne natives Pendant. Das Konzept einer benannten, konfigurierbaren Variablen innerhalb einer Kostenposition (Betonqualität, Sortierungsstufe, Dimensionsbereich) existiert in IFC nicht. Das nutzerdefinierte Property Set `CHCRB_NPK_Variables` ist eine funktionale Lösung für die Werte selbst, aber die Validierungsregeln (*requiredNodes*, *disallowedNodes*) lassen sich in einem Property Set nicht logisch erzwingen. Eine standardisierte Erweiterung — etwa über `IfcProperty-Enumeration` am `IfcCostItem` mit zusätzlichen Constraint-Definitionen — wäre wünschenswert.

Grenze 3 — Verschachtelung der Anwendungstexte. Die *NPKApplicationText*-Hierarchie ist im NPK rekursiv verschachtelt; ihre Abbildung in IFC erfordert eine Wahl zwischen zwei suboptimalen Lösungen. Die in 5.4.3 vorgeschlagene Variante mit `IfcCostItem` `ObjectType="ApplicationText"` plus `IfcRelNests` erhält die Verschachtelung, vermengt aber juristisch-deskriptive Inhalte mit tariflichen Knoten in derselben Hierarchie. Die alternative flache Variante mit `CHCRB_NPK_Application` isoliert die Texte sauber, geht aber der Verschachtelung verlustig. Eine native IFC-Klasse `IfcCostNote` oder ähnlich würde diese Spannung auflösen.

Grenze 4 — Tool-Unterstützung uneinheitlich. Die kommerzielle BIM-Autorensoftware unterstützt die Cost-Domäne kaum direkt; selbst Bonsai (BlenderBIM), das die `IfcCostItem`-Erzeugung über die API erlaubt, bietet keine native Bauteil-Kostenposition-Zuordnung im Benutzerinterface. Die Befüllung erfolgt im PoC programmatisch über `IfcOpenShell` — technisch beherrschbar, aber für die breite Praxis hinderlich. Dieses Defizit wurde im Interview I-1 (Sorba, Kap. 7.2) aus Anbietersicht explizit bestätigt.

Grenze 5 — Konvention statt Standard. Die hier verfolgte Kombination — `ObjectType`-Konvention für die NPK-Typen, `IfcClassification` für die Codes, `Category`-Konvention für Konditionen, `Convention unit` → `IfcQuantity-Subtyp` für die Mengenwahl, `CHCRB_`-Namensraum für nutzerdefinierte Property Sets — ist intern konsistent, aber nicht standardisiert. Ohne eine Branchenkonvention — die idealerweise vom CRB in Zusammenarbeit mit buildingSMART entwickelt würde — bleibt die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Softwareanbietern eine bilaterale Vereinbarung. Dieser Punkt deckt sich mit dem zentralen Adoptionshindernis, das im Interview I-1 (Sorba) formuliert wurde: *„Sämtliche relevanten Softwareanbieter müssten einen neuen Standard akzeptieren“*.

Grenze 6 — Externe Dokumente und juristische Inhalte. Zahlungsbedingungen, AGB-Verweise und externe technische Datenblätter lassen sich nicht in der Cost-Domäne modellieren. `IfcDocumentReference` ist die naheliegende Lösung, lässt aber offen, ob die referenzierten Dokumente im IFC-Container eingebettet oder extern verbleiben sollen. Diese Frage wurde in Interview I-1 (Sorba) als offen identifiziert und müsste in einer Branchenkonvention geklärt werden.

5.6 IDS als methodisches Hilfsmittel

Die in den Kapiteln 5.3 und 5.4 entwickelten Lösungen ruhen an mehreren Stellen auf Konventionen, die das IFC-Schema selbst nicht erzwingt. Dazu zählen die `ObjectType`-Werte (`Chapter`, `Section`, `SubPosition`, ...), das Schema des `CHCRB_NPK_Variables`, die `Category`-Strings für Rabatte und Mehrwertsteuer oder die Korrespondenz zwischen NPK-unit und `IfcQuantity-Subtyp`. Die methodisch saubere Lösung, um zwischen zwei Akteuren vereinbarte Konventionsinformationen zu prüfen, ist nach buildingSMART (vgl. Bauen digital Schweiz, 2024, S. 21) die Information Delivery Specification (IDS).

Eine IDS-Datei würde Regeln formalisieren wie *„Jedes `IfcCostItem` mit `ObjectType='SubPosition'` MUSS mindestens eine `IfcCostValue` mit nicht-`*`-`Category` enthalten“* oder *„Jedes `IfcCostItem` mit zugewiesenem `IfcSlab` MUSS eine `IfcClassificationReference` zu einer `IfcClassification` mit*

Source='CRB' haben" oder „Jedes IfcCostItem mit unit='m²' MUSS eine IfcQuantityArea in den Cost-Quantities führen". Solche Regeln liessen sich automatisiert gegen ein IFC-Modell prüfen.

Wie in Kapitel 1.5 abgegrenzt, ist die Entwicklung einer IDS-Spezifikation nicht Teil dieser Forschungsarbeit. Im Rahmen des PoC (Kapitel 6) erfolgt die Prüfung der Konsistenz der Konventionen manuell. Diese manuelle Kontrolle wird durch eine Validierung des IFC über den IfcValidation Service ergänzt; dieser Validierungsdienst überprüft die formale Korrektheit der IFC-Struktur. Die Konventionen dieser Arbeit kontrolliert das Validierungssystem allerdings nicht. IDS bleibt eine Empfehlung für künftige Standardisierungsschritte (vgl. Kapitel 9.2).

6 Realisierung des Proof of Concept (PoC)

Der PoC setzt das in Kapitel 5 entwickelte Mapping-Konzept V3 in einer Toolchain um. Ziel ist nicht die Entwicklung eines marktreifen Produkts, sondern ein empirischer Nachweis im Sinne der in Kapitel 4.5 formulierten Anforderungen. Der PoC fokussiert auf das in Kapitel 5.4.5 beschriebene Szenario — das Eichenparkett und die NPK-Position 412.211.

6.1 Szenariodefinition und Versuchsaufbau

Der Versuch besteht aus einer geometrischen Komponente, einer tariflichen Komponente und einer konsolidierten Ausgangsdatei.

Geometrie. Ein IfcSlab mit `Qto_SlabBaseQuantities.NetArea = 154,999 m²` wird als Bodenelement modelliert. Die Modellierung erfolgte in Bonsai (BlenderBIM), der Export im Format IFC4X3_ADD2.

Tarif. Drei NPK-Positionen werden geprüft: 664.400.410.412.200.210.211 „Eiche 1. Sortierung" zu 120 CHF/m² (aktive Position), 664.400.410.412.200.210.212 „Eiche 2. Sortierung" zu 95 CHF/m² und 664.400.410.412.200.210.213 „Esche/Buche" zu 78 CHF/m² (jeweils latente Alternativen gemäss Variante α aus Kapitel 5.4.5). Ergänzend werden ein Anbieter- und ein Planer-Akteur implementiert sowie eine Mehrwertsteuer von 8,1 %.

Toolchain. Die Toolchain besteht aus vier Komponenten, die zusammenspielen (vgl. Abb. 16). Bonsai für die Slab-Geometrie, ein Python-Skript auf Basis IfcOpenShell 0.8 für die Anreicherung der IFC-Datei mit der V3-Struktur, der IfcValidation Service von buildingSMART für eine schematische Kontrolle und schliesslich erneut Bonsai für die visuelle Überprüfung der Ergebnisse.

Die Toolchain ist zu 100 % OpenBIM-konform und entspricht damit Z4 (Werkzeugunterstützung).

6.2 Workflow der prototypischen Umsetzung

Das Skript `poc_eicheparkett_v3.py` durchläuft vier Schritte.

Schritt 1 — Initialisierung. Bonsai erzeugt einen IFC-Container mit der Slab-Geometrie, der räumlichen Struktur (IfcProject → IfcSite → IfcBuilding → IfcBuildingStorey) und den standardisierten Mengen (`Qto_SlabBaseQuantities`).

Schritt 2 — Aufbau der V3-Struktur. In definierter Reihenfolge werden erzeugt:

1. *Akteure* — IfcActor für Anbieter und Planer, je mit IfcOrganization und korrekt referenzierten IfcActorRole (.CONTRACTOR., .ARCHITECT.).
2. *Klassifikation* — eine IfcClassification mit Source="CRB", Edition="NPK 2024" als externer Klassifikationsmechanismus.

3. *CostSchedule* — ein einziger IfcCostSchedule mit Name="NPK", PredefinedType=.BUDGET. und Datumsangabe.
4. *MwSt-Aggregator* — ein IfcCostItem mit ObjectType="ScheduleTotal" trägt die Cassandra-Hierarchie aus IfcCostValue (Subtotal mit Wildcard, MwSt mit ArithmeticOperator=.MULTIPLY. und 8,1 %, Endpreis als Summe). Diese Konstruktion ist nötig, weil IfcCostSchedule in IFC4X3 keine CostValues mehr direkt trägt — ein Detail, das in 5.4.3 nicht explizit aufgeführt war und im PoC sichtbar wurde.
5. *Akteurszuordnung* — zwei IfcRelAssignsToActor verknüpfen Anbieter und Planer mit dem Schedule. Auch dieser Weg ersetzt die in IFC4 vorhandenen Attribute SubmittedBy / PreparedBy, die in IFC4X3 entfallen.

Schritt 3 — NPK-Hierarchie. Die Branche 664 → 400 → 410 → 412 → .200 → .210 → .211/.212/.213 wird rekursiv aufgebaut. Für jede Position entsteht ein IfcCostItem mit korrekt gesetztem ObjectType gemäss der in 5.2 definierten Konvention ("Chapter", "Section", "SubSection", "Position", "SubPositionGroup", "SubPositionSubGroup", "SubPosition") und einer IfcClassificationReference, die via IfcRelAssociatesClassification an das CostItem gebunden wird. Die hierarchische Verschachtelung erfolgt über IfcRelNests; das Wurzel-Kapitel 664 wird via IfcRelAssignsToControl an den Schedule gebunden.

Schritt 4 — Element-Verknüpfung und Mengenermittlung. Für die aktive Position 412.211 (Variante α) wird die in 5.4.4 beschriebene Mechanik instanziiert: Aus Qto_SlabBaseQuantities.NetArea des Slabs wird der Wert 154.999 m² gelesen und als IfcQuantityArea in die CostQuantities des CostItem kopiert; eine IfcCostValue mit AppliedValue=120 CHF und Category="Standard" wird angehängt; eine IfcRelAssignsToControl verbindet Slab und CostItem. Die Konvention unit="m²" → IfcQuantityArea NetArea wird durch ein Mapping-Wörterbuch in der Skript-Konfiguration gesteuert. Die latenten Alternativen 412.212 und 412.213 erhalten zwar eine IfcCostValue mit ihrem jeweiligen Preis, aber keine IfcRelAssignsToControl zum Slab — sie bleiben Teil des Katalogs ohne Wirkung auf die konkrete Ausschreibung.

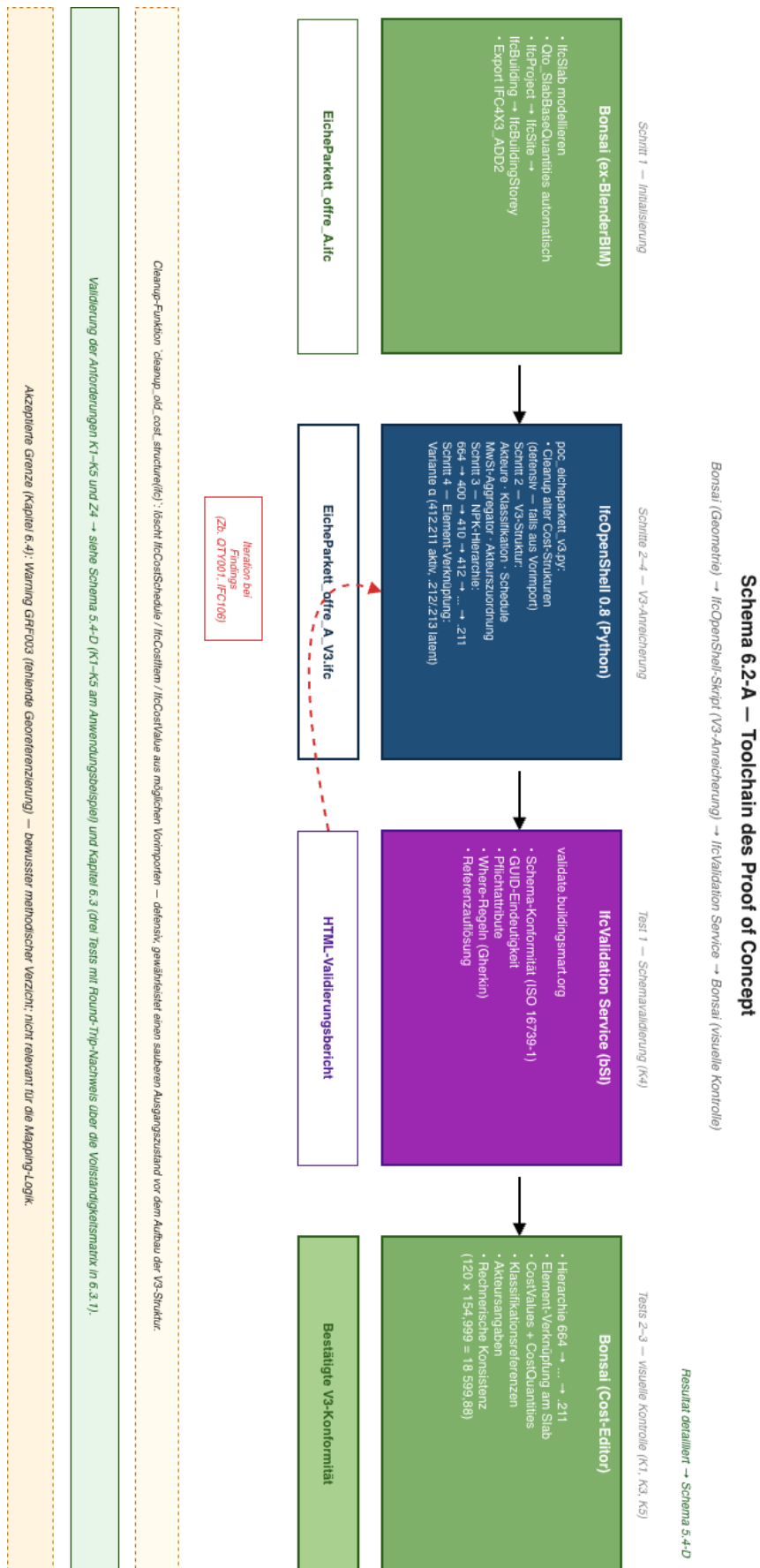


Abbildung 16: Toolchain des Proof of Concept

6.3 Validierung und Round-Trip-Tests

Am Datensatz EicheParkett_offre_A_V3.ifc werden drei Tests durchgeführt.

Test 1 — Schemakonformität (K4)

Die Datei wird über den IfcValidation Service von buildingSMART kontrolliert. Beim ersten Durchlauf hat der Validierungsdienst eine semantische Verletzung festgestellt: QTY001 — fehlendes MethodOfMeasurement am Qto_SlabBaseQuantities. Zusätzlich gab der Service zwei normative Warnungen aus: IFC106 — fehlende Rooted-Referenz auf IfcActorRole, und GRF003 — fehlendes IfcCoordinateReferenceSystem. Das Skript wurde in einer Iteration angepasst: MethodOfMeasurement="BaseQuantities" ergänzt und IfcActorRole über IfcOrganization.Roles referenziert. Der zweite Validierungsdurchlauf bestätigt die Schemakonformität. Einzig GRF003 bleibt als bewusster methodischer Verzicht bestehen (vgl. 6.4). Abbildung 18 dokumentiert die zwei Iterationen von der Erstprüfung bis zur Bestätigung der K4-Konformität.

Test 2 — Hierarchierekonstruktion (K1)

Ein Selektionsskript navigiert vom IfcCostSchedule „NPK“ und folgt der IfcRelNests-Kette bis zur Blattposition 412.211. Die Rekonstruktion der Pfadnotation entspricht exakt der NPK-Hierarchie und umfasst die elf erwarteten IfcCostItem-Instanzen (sieben Hierarchieknoten plus drei Alternativpositionen plus einen ScheduleTotal-Aggregator).

Test 3 — Konsistenz und Eindeutigkeit (K3, K5, manuell)

Die visuellen Kontrollen im Bonsai-Cost-Editor bestätigen, dass die IfcRelAssignsToControl zwischen Slab und CostItem 412.211 eindeutig ist (eine einzige Beziehung, keine verwaisten Verknüpfungen). Die CostQuantities der CostItems entsprechen exakt den Qto_SlabBaseQuantities.NetArea des Slabs (154,999 m  , im Blender-Viewer auf 155 gerundet). Die IfcClassificationReference von 412.211 zeigt korrekt auf eine IfcClassification mit Source="CRB". Die Berechnungskonsistenz ($120 \text{ CHF} \times 154,999 \text{ m}^2 = 18\,599,88 \text{ CHF}$) ist direkt im Cost-Editor von Bonsai ablesbar. Einziger Wermutstropfen sind die Rabatt-Prozentsätze, die in BlenderBIM nicht angezeigt werden.

Der Round-Trip CRBX → IFC → CRBX (K2) wird in dieser Arbeit als manueller Round-Trip auf Informationsebene nachgewiesen. Die in 6.3.1 vorgelegte Vollständigkeitsmatrix zeigt für jede der 39 CRBX-Informationen die eindeutige Verortung in der IFC4X3-Datei und belegt damit die verlustfreie Abbildbarkeit in beide Richtungen. Die programmatische Inverse — eine automatisierte Rückübersetzung IFC → CRBX als Skript — ist die mechanische Umkehrung der hier umgesetzten Erzeugung und in Kapitel 9.2 als Anschluss thema formuliert.

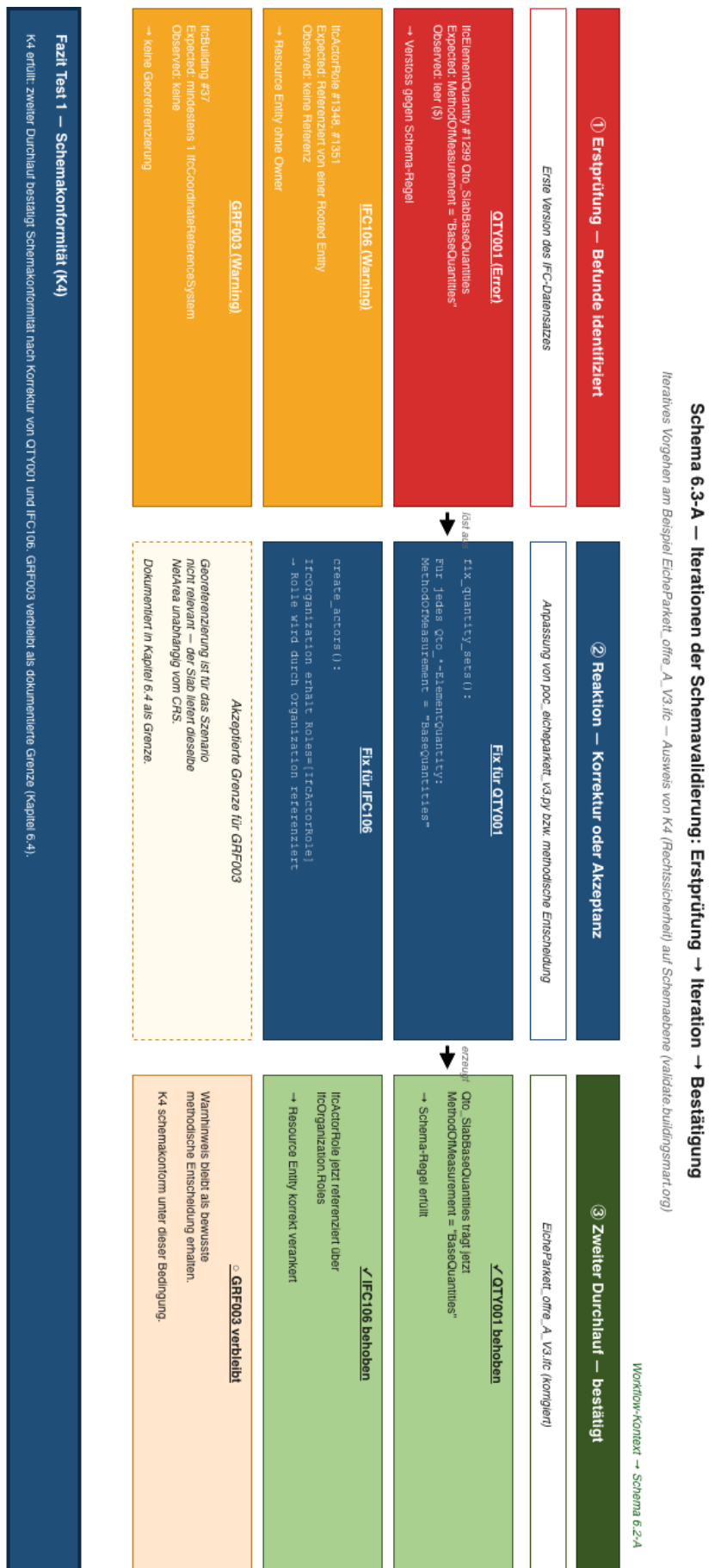


Abbildung 17: Iterationen der Schemavalidierung

6.3.1 Tabellarischer Nachweis der Informationsvollständigkeit (K2)

Da die programmatische Rückübersetzung IFC → CRBX nicht aktiv implementiert wird (vgl. 6.3 sowie 9.2), erfolgt der Nachweis der Round-Trip-Fähigkeit im engeren Sinn über eine Vollständigkeitsmatrix: Für jede im CRBX-Quellsatz vorhandene Information wird gezeigt, an welcher Stelle und in welchem Attribut der IFC4X3-Datei EicheParkett_offre_A_V3.ifc sie wiederzufinden ist. Eine Rückübersetzung ist genau dann verlustfrei möglich, wenn die Tabelle für jede Position eine eindeutige IFC-Quelle ausweist — was Abbildung 17 für das Szenario Eichenparkett demonstriert.

Schema 6.3-B — Vollständigkeitsmatrix CRBX ↔ IFC4X3

Tabellarischer Nachweis am Datensatz EicheParkett_offre_A_V3.ifc — 39 CRBX-Informationen mit ihrer Verortung im IFC-Datensatz, gegliedert in fünf Blöcke A bis E

Strukturkontext → Schema 5.4-A · Element-Verknüpfung → Schema 5.4-D · Validierung K4 → Schema 6.3-A

K2 — Round-Trip-Nachweis (Informationsvollständigkeit)

Für jede der 39 CRBX-Informationen existiert eine eindeutige IFC4X3-Verortung — verlustfreie Abbildbarkeit in beide Richtungen ist damit nachgewiesen.

CRBX-Information	Wert (Beispielfall)	IFC4X3-Entität	IFC-Attribut	IFC-Wert
Block A — Administrativer Teil (A- und C-Records)				
Dokumenttyp	Submission / Angebot	IfcCostSchedule	PredefinedType	.BUDGET.
LV-Name	NPK	IfcCostSchedule	Name	"NPK"
LV-Identifikator	NPK-LV-2024	IfcCostSchedule	Identification	"NPK-LV-2024"
Submissionsdatum	2026-05-21T12:38:41	IfcCostSchedule	SubmittedOn	"2026-05-21T12:38:41"
Aktualisierungsdatum	2026-05-21T12:38:41	IfcCostSchedule	UpdateDate	"2026-05-21T12:38:41"
Anbieter (Organisation)	Unternehmer XY AG	IfcOrganization	Name	"Unternehmer XY AG"
Anbieter-Rolle	Unternehmer	IfcActorRole (via Roles)	Role	.CONTRACTOR.
Anbieter ↔ Schedule	—	IfcRelAssignsToActor	Name, RelatingActor	"SubmittedBy", IfcActor Anbieter
Planer (Organisation)	Planer AG	IfcOrganization	Name	"Planer AG"
Planer-Rolle	Architekt	IfcActorRole	Role	.ARCHITECT.
Planer ↔ Schedule	—	IfcRelAssignsToActor	Name, RelatingActor	"PreparedBy", IfcActor Planer
Mehrwertsteuersatz	8.1 %	IfcCostValue MwSt	Category, ArithmeticOperator, AppliedValue	"VAT", .MULTIPLY., 0.081
MwSt-Aggregation	Endpreis = Subtotal + MwSt	IfcCostValue Endpreis	Category, ArithmeticOperator, Components	"TotalIncludingVAT", .ADD., [Subtotal, MwSt]
Subtotal-Platzhalter	Aggregation aller Positionen	IfcCostValue Subtotal	Category	"*" (Wildcard)
Block B — NPK-Katalog und Klassifikation (B-Klassifikation V3)				
NPK-Herausgeber	CRB	IfcClassification	Source	"CRB"
NPK-Ausgabe	NPK 2024	IfcClassification	Edition	"NPK 2024"
NPK-Vollname	Normpositionen-Katalog Bau	IfcClassification	Name	"Normpositionen-Katalog Bau"
NPK-Code pro Knoten	412.211	IfcClassificationReference	Identification	"664.400.410.412.200.210.211"
NPK-Titel pro Knoten	Eiche 1. Sortierung	IfcClassificationReference	Name	"Eiche 1. Sortierung"
Verknüpfung Code ↔ Position	—	IfcRelAssociatesClassification	RelatingClassification, RelatedObjects	Reference → CostItem (n=9)
Block C — Fachlicher Teil: NPK-Hierarchie (G-Records)				
Kapitel 664 — Bodenbeläge aus Holz	NPKChapter	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664", "Chapter", „Bodenbeläge aus Holz.“
Abschnitt 400 — Fertigparkettböden	NPKSection	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400", "Section", „Fertigparkettböden"
Unterabschnitt 410 — Mehrschichtparkett	NPKSubSection	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400.410", "SubSection", „Mehrschichtparkett"
Position 412 — Verlegen	NPKPosition	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400.410.412", "Position", „Mehrschichtparkett verlegen.“
Gruppe 200 — Auf Zementestrich kleben	NPKSubPositionGroup	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	".200", "SubPositionGroup", „Auf Zementestrich kleben"
Untergruppe 210 — Versiegelt, d 13–15 mm	NPKSubPositionSubGroup	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	".210", "SubPositionSubGroup", „Versiegelt.“
Unterposition 211 — Eiche 1. Sortierung (aktiv)	NPKSubPosition	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	".211", "SubPosition", „Eiche 1. Sortierung"
Unterposition 212 — Eiche 2. Sortierung (latent)	NPKSubPosition	IfcCostItem	ditto	".212", "SubPosition", „Eiche 2. Sortierung"
Unterposition 213 — Esche/Buche (latent)	NPKSubPosition	IfcCostItem	ditto	".213", "SubPosition", „Esche / Buche"
Hierarchische Beziehung Eltern ↔ Kinder	subNodes	IfcRelNests	RelatingObject, RelatedObjects	n=8 (eine pro Hierarchieebene)
Block D — Tarif: Preise und Mengen pro Unterposition				
Einheit Position 211	m ²	IfcCostValue (211) + IfcQuantityArea	Subtyp-Wahl + Name	IfcQuantityArea "NetArea"
Preis 1 (Angebots) Position 211	120 CHF/m ²	IfcCostValue (am 211)	AppliedValue, Category	IfcMonetaryMeasure (120.0), "Standard"
Preis 1 Position 212	95 CHF/m ²	IfcCostValue (am 212)	AppliedValue	IfcMonetaryMeasure (95.0)
Preis 1 Position 213	78 CHF/m ²	IfcCostValue (am 213)	AppliedValue	IfcMonetaryMeasure (78.0)
Vordersatz / Werkvertragsmenge Position 211	154,999 m ²	IfcQuantityArea in CostQuantities von 211	Name, AreaValue	"NetArea", 154.999980449677
Block E — Element-Verknüpfung (Variante a)				
Bauteilbezug Position 211 (aktiv)	NPK 412.211 ↔ Slab	IfcRelAssignsToControl	RelatingControl, RelatedObjects	IfcCostItem .211, IfcSlab #1275
Bauteilbezug Position 212 (latent)	keine	—	—	keine Beziehung im Modell — Variante a: latent
Bauteilbezug Position 213 (latent)	keine	—	—	keine Beziehung im Modell — Variante a: latent
Bauteilmenge (Quelle der Mengenangabe)	154,999 m ²	Oto_SlabBaseQuantities am IfcSlab	IfcQuantityArea.NetArea	154.999980449677 (MethodOfMeasurement="BaseQuantities")

Eine programmatische Rückübersetzung IFC → CRBX ist die mechanische Inverse dieser Matrix und in Kapitel 9.2 als Anschlussthema formuliert.

Abbildung 18: Vollständigkeitsmatrix CRBX- IFC4X3

6.4 Grenzen des PoC

Sekundärgliederungen (B-Records). Im vorliegenden Szenario nicht erforderlich. Konzeptionell wäre eine Modellierung über IfcGroup möglich (vgl. 5.4.3).

Mehrsprachigkeit (Z1). Strukturell vorbereitet. Das Attribut IfcClassificationReference.Name trägt vorerst einen deutschen Knotentitel, liesse sich aber problemlos um Referenzen in Französisch, Italienisch und Rätoromanisch erweitern.

Prozessuale Anbindung (Z2). IfcTask und IfcWorkSchedule werden in diesem Szenario nicht erzeugt und würden den Rahmen des PoC sprengen. Es ist keine zeitliche Komponente im PoC enthalten.

Programmatische Rückübersetzung IFC → CRBX. Im PoC wird die Richtung CRBX → IFC vollständig implementiert; der Round-Trip selbst ist auf Informationsebene über die Vollständigkeitsmatrix (6.3.1) nachgewiesen. Eine programmatische Rückübersetzung als automatisiertes Skript ist die mechanische Inverse und bleibt einer Anschlussarbeit vorbehalten.

6.5 Auswertung der Vollständigkeitsmatrix

Die Matrix umfasst 39 CRBX-Informationsobjekte und weist für jedes davon eine eindeutige Verortung in der IFC4X3-Datei aus.

- **30 Objekte** werden verlustfrei nativ abgebildet (administrative Felder, Hierarchie, Klassifikation, Preise, Mengen) — die Rückübersetzung kann direkt das entsprechende IFC-Attribut auslesen.
- **6 Objekte** werden über die ObjectType-Konvention abgebildet (Knotentypen Chapter, Section, ...) — die Rückübersetzung benötigt die in Kapitel 5.2 definierte Wertelisten-Konvention als Lookup-Tabelle.
- **2 Objekte** werden über die Category-Konvention abgebildet (MwSt = "VAT", Subtotal = "*") — analog zur ObjectType-Konvention.

Damit ist K2 für das PoC-Szenario nachgewiesen: Sämtliche im CRBX-Quellsatz vorhandenen Informationen sind in der IFC-Datei lokalisierbar; die programmatische Rückübersetzung wird zur mechanischen Inverse der in 6.2 beschriebenen Erzeugung.

7 Evaluation und Experteninterviews

7.1 Durchführung der Experteninterviews

Die qualitative Validierung des in dieser Arbeit vorgestellten Lösungskonzepts erfolgte über zwei halbstrukturierte Experteninterviews. Die Sparringpartner der Interviews bringen zwei komplementäre Perspektiven mit: zum einen die Anbietersicht eines etablierten Bauadministrations-Softwareherstellers, zum anderen die Normgebersicht des CRB als Herausgeber des NPK.

Interview I-1 (Anbietersicht).

Geführt mit Herrn Stähli, Sorba Bausoftware AG. Sorba ist einer der führenden Anbieter von Submissions- und Abrechnungssoftware in der Deutschschweiz; das Unternehmen hat in der Vergangenheit selbst Versuche unternommen, eine direkte Modell-Position-Verknüpfung über das proprietäre EIS-Format umzusetzen. Das Interview lieferte daher nicht nur eine Konzeptbewertung, sondern auch einen Erfahrungsvergleich mit einem alternativen Lösungsweg.

Interview I-2 (Normgebersicht). Geführt mit dem Praxispartner CRB. Das CRB ist Herausgeber des NPK und des CRBX-Formats und damit der zentrale Akteur für die Standardisierung des Schweizer LV-Wesens. Das Interview adressierte die normative Tragfähigkeit des Mapping-Konzepts und die

Integrierbarkeit in die Strategie der schweizerischen Eidgenossenschaft zur Bauwerks-Digitalisierung (Bauen digital Schweiz, 2024).

Inhaltliche Schwerpunkte.

Die beiden Interviews wurden anhand desselben halbstrukturierten Leitfadens (vgl. Abbildung 19) durchgeführt, welcher fünf Hauptthemen umfasste.

Leitfaden der Experteninterviews

Fünf Schwerpunkte nach Kuckartz (2014), gerahmt durch Einstieg und Abschluss

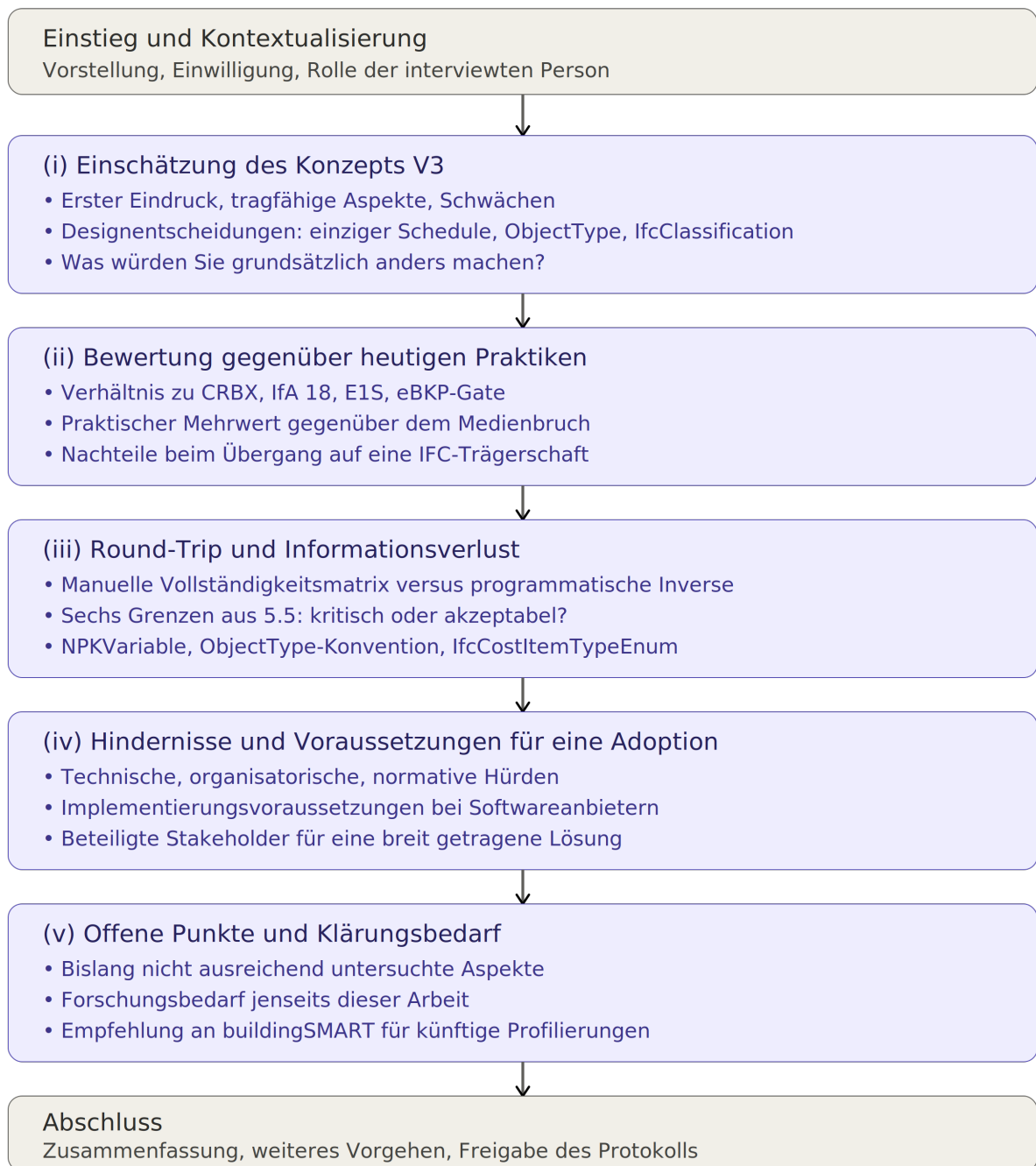


Abbildung 19: Leitfaden schwerpunkte

Die Auswertung folgte der strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2014); die Interviewprotokolle liegen im Anhang 9 und 10 vor.

Eine **Anwendersicht** (Bauherrenstimme oder Bau-/Planerstimme) konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht eingeholt werden. Diese Lücke wird in Kapitel 8.3 als Limitation der Validierung diskutiert.

7.2 Auswertung und Validierung der Ergebnisse

Die zentralen Befunde der beiden Interviews ordnen sich in vier inhaltliche Kategorien.

Konzeptionelle Tragfähigkeit. Beide Experten bewerten das Mapping-Konzept V3 als tragfähig. Das I-1-Interview charakterisiert es als „sehr gute Idee“ und „gut gelöst“; das I-2-Interview hebt insbesondere die „verständliche Darstellung der Rollen von IFC sowie NPK/CRBx in Bezug zu Klassifikationen und Spezifikation“ hervor und stuft den Ansatz, „die Stärken von IFC (Geometrie/Daten) und NPK (Semantik) zu kombinieren“, als „spannend und praxisnah“ ein. Damit ist die wissenschaftliche Anforderung K1 bis K5 nicht nur schemaseitig (Kap. 6), sondern auch normativ und operativ extern validiert.

Persistenz der Modell-Position-Verknüpfung. Der zentrale operative Mehrwert des Konzepts wurde im I-1-Interview präzise benannt: In der heutigen Sorba-Software können manuelle Mappings zwischen Bauteil und Position zwar erzeugt werden, gehen aber bei jedem Export verloren. Die im PoC nachgewiesene Persistenz dieser Verknüpfung im offenen IFC-Container über `IfcRelAssignsToControl` wird im Vergleich als „entscheidender Mehrwert“ eingestuft.

Lückenanalyse aus CRB-Sicht. Das I-2-Interview hat zwei konkrete Inhalte benannt, die im aktuellen PoC nicht enthalten sind: die **Objektgliederung** und die **Kostenart-Gliederung** aus dem CRBX-Format. Beide werden als „eher Nebenrolle“ eingestuft und „sollten gut integrierbar sein“. Sie gehören zur Kategorie der Sekundärgliederungen (B-Records) und sind über die in 5.4.3 vorgeschlagene `IfcGroup`-Modellierung additiv ergänzbar.

Belastungstest und Generalisierbarkeit. Das I-2-Interview hat den eingeschlagenen Weg ausdrücklich bestätigt — „grundsätzlich stimmt aus unserer Sicht der eingeschlagene Weg“ — gleichzeitig aber auf die Notwendigkeit eines Belastungstests hingewiesen: „Für das weitere Vorgehen muss dieser PoC an weiteren Beispielen einem Belastungstest unterzogen werden und an weiteren Gewerken ausgetestet werden“. Diese Empfehlung wird in 9.2 als Forschungsausblick formuliert.

7.3 Vergleich des Soll-Konzepts mit dem Ist-Zustand

Der Vergleich zwischen dem in dieser Arbeit entworfenen Soll-Konzept (Mapping V3 im IFC4X3-Container) und dem heutigen Ist-Zustand (CRBX neben IFC, manuelle Zuordnung in der Bauadministrationssoftware) lässt sich anhand von vier Dimensionen vornehmen, die im Verlauf der beiden Interviews als zentrale Unterscheidungsmerkmale herausgearbeitet wurden.

Trägerformate. Im Ist-Zustand führen Sender und Empfänger zwei separate Dateien parallel — eine CRBX-Datei für das LV und eine IFC-Datei für das Geometriemodell. Diese duale Dateiführung wurde im I-1-Interview als unmittelbares operatives Problem benannt: „Sender und Empfänger mussten weiterhin zwei separate Dateien parallel führen“. Das Soll-Konzept löst diesen Medienbruch durch Konsolidierung in einem einzigen IFC-Container.

Verlustfreiheit der Bauteil-Position-Verknüpfung. Im Ist-Zustand entstehen Modell-Position-Mappings in der Bauadministrationssoftware, werden beim Export aber nicht persistiert. Im Soll-Konzept ist die Verknüpfung Bestandteil der IFC-Datei und überlebt sämtliche Export- und Importvorgänge. Diese Verschiebung wurde als der zentrale Mehrwert des Konzepts identifiziert (vgl. 7.2).

Konditionen und Mehrwertsteuer. Das I-1-Interview hat die strukturellen Schwächen des heutigen E1S-Formats konkret benannt: „Die Zuordnung der Mehrwertsteuer zu einzelnen Positionen ist im E1S

nicht sauber abbildbar; Konditionen (Rabatte, Sonderzuschläge) lassen sich nur eingeschränkt strukturiert mitführen." Das Soll-Konzept adressiert beide Lücken über die in 5.4.3 entworfene IfcCostValue-Hierarchie nach Cassandra-Pattern. Die Werkzeug-Unterstützung dieser Mechanik in heutigen Cost-Editoren ist allerdings noch lückenhaft (vgl. Kap. 8.3).

Standardisierungsmöglichkeit. Der Ist-Zustand erfordert von jedem Softwarehersteller eine individuelle Schnittstellenanbindung; eine zentralisierte Aufbereitung des NPK-Volltexts durch das CRB für EIS-Anwendungen wäre nach I-1 „wünschenswert, ist aber heute nicht etabliert". Das Soll-Konzept bietet diese zentralisierte Grundlage nativ, weil die NPK-Semantik über IfcClassification werkzeugübergreifend interpretierbar wird — derselbe Mechanismus ist später ohne Anpassung auf eBKP-H oder BKP übertragbar.

Die vier Dimensionen zeichnen ein konsistentes Bild: das Soll-Konzept löst dokumentierte Schwächen des Ist-Zustands und schafft eine technisch fundierte Basis für eine systemneutrale LV-Übertragung. Die Voraussetzungen für die praktische Adoption liegen — wie in 8.3 diskutiert — nicht im Schema selbst, sondern in der Koordination der massgeblichen Branchenakteure.

8 Diskussion

8.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Machbarkeit

Die Untersuchung weist die schemaseitige Machbarkeit einer vollständigen Übertragung von Schweizer Leistungsverzeichnissen über das IFC4X3-Schema nach. Sämtliche im CRBX-Quellsatz vorhandenen Informationen — Hierarchie, Codes, Preise, Mengen, Akteure, Mehrwertsteuer — lassen sich in der IFC-Datei eindeutig verorten (Vollständigkeitsmatrix, Kap. 6.3.1). Die Kernanforderungen K1 bis K5 sind erfüllt, die Schemakonformität wurde durch den buildingSMART IfcValidation Service bestätigt (Kap. 6.3).

Drei Befunde verdienen eine ausdrückliche Hervorhebung. Erstens trägt der konsolidierte IFC-Container die Modell-Position-Verknüpfung **persistent**, während sie in heutigen Werkzeugen beim Export verloren geht — ein Punkt, der im Anbieter-Interview als zentraler operativer Mehrwert identifiziert wurde (Kap. 7.2). Zweitens deckt das Konzept Inhalte ab, die im heutigen EIS-Format strukturell unzulänglich behandelt sind, namentlich die Zuordnung von Mehrwertsteuer und Konditionen zu einzelnen Positionen. Drittens ist die externe Klassifikation über IfcClassification mit Source="CRB" derselbe Mechanismus, der ohne Anpassung auch auf eBKP-H, BKP oder internationale Klassifikationssysteme übertragbar wäre — die Lösung ist damit skalierbar über den NPK hinaus.

Die Bedingungen der Machbarkeit liegen ausserhalb des Schemas: in der Reife der Cost-Domänen-Werkzeuge, in der Erweiterung um Sekundärgliederungen (Objektgliederung, Kostenart-Gliederung gemäss I-2-Interview) und in der Koordination der massgeblichen Anbieter (vgl. 8.3).

8.2 Potenzial für 5D-BIM und Integrated Project Delivery

Mit der schemaseitig nachgewiesenen Modell-Position-Verknüpfung öffnet sich der Weg zu jenen Anwendungen, die in der Literatur unter den Begriffen 5D-BIM und Integrated Project Delivery diskutiert werden (Elghaish & Abrishami, 2020; Gholamzadehmehr et al., 2025). Die zentrale These ist: Sobald Kosten und Bauteile dauerhaft im selben Modell verankert sind, werden Auswertungen möglich, die heute manuelle Synchronisierung erfordern.

Der prozessuale Anschluss über IfcTask und IfcWorkSchedule ist strukturell identisch zur in 5.4.4 implementierten Mechanik: derselbe IfcRelAssignsToControl-Mechanismus, der im PoC das IfcSlab mit der NPK-Position 412.211 verbindet, kann einen IfcTask mit derselben Position verbinden. Eine 4D-Erweiterung — Bauteil ↔ Zeitplan — ist damit additiv zur hier umgesetzten Cost-Verknüpfung möglich, ohne schematische Neukonzeption.

Für Integrated Project Delivery, bei dem Bauherr, Planer und Anbieter ein einheitliches Modell teilen, ist die persistente Verknüpfung zwischen Kosten, Bauteilen und Akteuren ein operativer Hebel. Das I-

1-Interview bezeichnete diese Aussicht aus Anwendersicht als „Traum“ und stellte zugleich klar, dass auch die Softwareanbieter selbst eine solche Lösung für wünschenswert halten — die heutige duale Datenteilführung wird als „suboptimal“ empfunden.

Der Schritt von der schemaseitigen Machbarkeit zur produktiven Anwendung erfordert allerdings, dass die Cost-Domänen-Werkzeuge die in 8.3 dokumentierten Lücken schliessen — insbesondere die Visualisierung der MwSt-Aggregation und der Akteurszuordnung. Solange diese Lücken bestehen, bleibt das Potenzial latent.

8.3 Limitationen und Herausforderungen bei der Standardisierung

Drei Kategorien von Limitationen begrenzen die Reichweite der Ergebnisse und definieren die Herausforderungen einer breiten Standardisierung.

Werkzeug-Reife der Cost-Domäne. Mehrere Aspekte des Konzepts sind im PoC korrekt implementiert, aber im verwendeten Werkzeug Bonsai nicht visuell kontrollierbar. Die IfcCostValue-Hierarchie am ScheduleTotal-Item (MwSt-Multiplikator, Subtotal-Wildcard, Endpreis-Aggregation gemäss Cassandra-Pattern) wird vom Bonsai-Cost-Editor nicht interpretiert; eine Endsumme inklusive MwSt wird nicht berechnet. Die Akteurszuordnung über IfcRelAssignsToActor ist im Cost-Editor ebenfalls nicht sichtbar — nur die direkten Schedule-Attribute werden angezeigt, nicht die externen Beziehungen. Die IfcClassificationReference ist im FZK-Viewer sichtbar, aber im Bonsai-Cost-Editor nicht als Hierarchiefilter nutzbar. Die Korrektheit dieser Strukturen wurde stattdessen programmatisch über IfcOpenShell verifiziert und über die Vollständigkeitsmatrix rechnerisch nachgewiesen. Dieser Befund deckt sich mit Akanbi (2021): kommerzielle BIM-Werkzeuge unterstützen die Cost-Domänen-Klassen heute nicht durchgängig. Erst eine Erweiterung der Werkzeuge wird das Potenzial des Datensatzes für Endanwender sichtbar machen.

Inhaltliche Abdeckung. Der PoC adressiert das Szenario Eichenparkett (NPK 412.211) eines einzelnen Kapitels. Die Generalisierbarkeit auf strukturell komplexere NPK-Inhalte — insbesondere Positionen mit NPKVariable (konfigurierbare Varianten wie etwa Betonqualitäten in Kapitel 241) und mehrstufiger NPKApplicationText-Verschachtelung — ist konzeptionell vorbereitet, aber empirisch nicht belastet. Das I-2-Interview hat diesen Punkt direkt benannt; die Empfehlung eines Belastungstests an weiteren Gewerken wird in 9.2 aufgegriffen. Hinzu kommen die im PoC bewusst weggelassenen Sekundärgliederungen (Objektgliederung, Kostenart-Gliederung) und externen Dokumente (Pläne, technische Datenblätter), für die im Interview Klärungsbedarf festgehalten wurde. Diese Inhalte sind über die in 5.4.3 vorgeschlagenen Mechanismen additiv ergänzbar und ändern die Architektur des Konzepts nicht.

Methodische und organisatorische Standardisierungshürden. Die Validierung basiert auf zwei Expertenstimmen aus zwei komplementären Rollen. Eine Bauherren- und eine Planerperspektive fehlen — beide wären für ein vollständiges Bild der Branchen-Adoption nötig. Die methodische Sättigung nach Kuckartz (2014) ist für die untersuchten Perspektiven gegeben, nicht aber für die Gesamtbranche. Über diese Validierungslücke hinaus liegt die zentrale Herausforderung einer Standardisierung nicht im Schema selbst: sie ist explizit organisatorischer Natur. Das I-1-Interview formulierte die Diagnose unmissverständlich — die Adoptionschancen werden „realistisch als gering eingeschätzt, nicht aus technischen, sondern aus organisatorischen Gründen“. Sämtliche relevanten Softwareanbieter müssten einen neuen Standard akzeptieren und implementieren; solange einzelne Hauptakteure nicht mitziehen, bleibt der bidirektionale Austausch eine theoretische Möglichkeit. Diese Einschätzung deckt sich mit dem in Schöttl (2023) dokumentierten Adoptionsmuster im deutschsprachigen Bauwesen: technisch reife Standards verbreiten sich nur dann flächendeckend, wenn ein kritischer Anbieter-Pool sie koordiniert einführt.

Aus diesen drei Limitationen ergibt sich eine **zweistufige Adoptionslogik**: erst weitere Belastungstests an Schwergewerken zur Absicherung der Generalisierbarkeit, dann koordinierte Anbieter-Implementierung. Beide Schritte gehen über den Rahmen dieser Arbeit hinaus und werden in 9.2 und 9.3 als Empfehlung und Ausblick aufgegriffen.

9 Fazit und Ausblick

9.1 Fazit der Machbarkeitsanalyse

Die Forschungsfrage dieser Arbeit lautete, ob das IFC4X3-Schema einen verlustfreien Transport eines Schweizer Leistungsverzeichnisses ermöglicht und den Medienbruch zwischen CRBX und IFC auflösen kann. Der PoC liefert eine **schemaseitig positive** Antwort: das in Kapitel 5 retenierte Konzept V3 — IfcCostSchedule "NPK" als Wurzel, NPK-Hierarchie über IfcCostItem mit IfcRelNests, externe Klassifikation über IfcClassification, Element-Verknüpfung über IfcRelAssignsToControl — erfüllt sämtliche in 4.5 definierten Kernanforderungen und wurde durch die schemaschematische Validierung (IfcValidation Service) und die manuelle Round-Trip-Validation (Vollständigkeitsmatrix) abgesichert. Die beiden Experteninterviews bestätigen den Weg unabhängig voneinander: das Konzept wird sowohl aus Anbietersicht (I-1) als „guter Weg“ als auch aus Normgebersicht (I-2) als „grundsätzlich stimmig“ eingestuft.

Die Antwort ist allerdings **bedingt**: das Schema ist tragfähig, aber die heutigen Werkzeuge der Cost-Domäne nutzen seine Möglichkeiten nicht aus, einige CRBX-Inhalte sind in den aktuellen Schemas noch nicht ausgespielt, und die Branchenadoption hängt — wie in 8.3 diskutiert — an organisatorischer Koordination, nicht an technischen Voraussetzungen. Diese Befunde grenzen den Beitrag der Arbeit klar ab: sie schliesst die konzeptionelle und technische Lücke, sie liefert einen lauffähigen Referenzdatensatz, und sie macht die organisatorischen Voraussetzungen einer Adoption explizit. Was sie nicht leistet — und nicht leisten kann — ist die Adoption selbst.

9.2 Empfehlungen für zukünftige IFC-Profilierungen

Aus den Limitationen ergeben sich vier konkrete Anschluss Themen, in der Reihenfolge ihrer praktischen Priorität.

Belastungstest an weiteren Gewerken. Die im I-2-Interview explizit formulierte Empfehlung. Eine Erweiterung des PoC auf strukturell komplexere NPK-Kapitel — insbesondere Ort betonbau (NPK 241, mit NPKVariable für die Betonqualität und verschachtelten Bedingungen), Stahlbau (NPK 222) und Haustechnik — würde die Generalisierbarkeit empirisch absichern und Grenzfälle des Mapping-Konzepts identifizieren. Eine solche Erweiterung wäre als IFC-Profilierung gemäss ISO 16739-1 zu strukturieren und liesse sich mit einer formalen IDS-Spezifikation flankieren.

Programmatische Rückübersetzung IFC → CRBX. Die symmetrische Inverse der in 6.2 implementierten Erzeugung. Die Vollständigkeitsmatrix zeigt, dass die mechanische Operation gut definiert ist; ihre Implementierung würde den Round-Trip von einer manuellen Validierung zu einem automatisierten Test heben und die in K3 angesprochene IDS-Validierung methodisch absichern.

IFC-Profilierung für die Cost-Domäne und Werkzeug-Erweiterungen. Eine formale IFC-Profilierung mit IDS-Spezifikation würde die in 5.4 entwickelten Konventionen (ObjectType-Werte, Category-Strings, CHCRB_-Pset-Schema, unit→IfcQuantity-Subtyp) festschreiben und für eine flächendeckende Werkzeug-Implementierung verbindlich machen. Parallel wären Cost-Editor-Erweiterungen — etwa für Bonsai oder ein dediziertes Validierungswerkzeug — wünschenswert, die die IfcCostValue-Hierarchie am ScheduleTotal-Item, die Akteurszuordnung über IfcRelAssignsToActor und die IfcClassificationReference als Hierarchie-Filter korrekt visualisieren.

Erweiterung um Sekundärgliederungen, externe Dokumente und Georeferenzierung. Die im PoC bewusst weggelassenen Inhalte — Objektgliederung und Kostenart-Gliederung aus dem CRBX (vom I-2 als Lücke benannt), IfcDocumentReference versus URL-Referenz für Pläne und Datenblätter (vom I-1 als offene Frage benannt), sowie IfcCoordinateReferenceSystem mit Swiss-Grid-Bezug (LV95 / LN02) — sind konzeptionell vorbereitet und für eine produktive Implementierung zu spezifizieren.

9.3 Ausblick: Die Zukunft des systemneutralen LV-Austauschs

Der Befund dieser Arbeit lässt sich auf eine breitere Beobachtung zuspitzen. Die technische Grundlage für einen systemneutralen, modellbasierten LV-Austausch in der Schweiz ist mit IFC4X3 vorhanden; die Bestätigung beider Interviewpartner zeigt, dass die zentralen Akteure den eingeschlagenen Weg als richtig anerkennen. Was fehlt, ist nicht das Schema, sondern die koordinierte Implementierung über Anbietergrenzen hinweg.

Drei Akteure sind für die nächsten Schritte massgeblich. Das CRB als Normgeber kann eine IFC-Profilierung des NPK initiieren und eine IfcClassification-Identität mit Source="CRB" als offiziellen Standard festschreiben — ein Schritt, der die in dieser Arbeit verwendete Konvention von einer akademischen Setzung zu einer normativen Referenz heben würde. Die Bauadministrations-Softwareanbieter (Sorba, Messerli, Bauplus, ABBF) können in einem koordinierten Schritt die in 5.4 entwickelten Mechanismen in ihre Import- und Export-Routinen aufnehmen — der dazu nötige Konsens ist nach I-1 die kritische Hürde, nicht die technische Umsetzung. Bauen digital Schweiz als nationaler Verband kann den Dialog zwischen diesen Akteuren strukturieren und an die internationale buildingSMART-Strategie anschliessen.

Ob aus dem hier entworfenen Konzept ein produktiver Standard wird, ist damit weniger eine Forschungs- als eine Koordinationsfrage. Die methodische Grundlage und die empirische Plausibilität für die nötigen Entscheidungen liegen mit dieser Arbeit vor. Der Schritt vom akademisch validierten Konzept zur branchenweiten Praxis ist im Schweizer Bauwesen ein gangbarer, wenn auch organisatorisch anspruchsvoller Weg — und es spricht aus den hier geführten Gesprächen vieles dafür, dass er gegangen werden sollte.

Literaturverzeichnis

- Akanbi, T., 2021. IFC-based systems and methods to support construction cost estimation (Doctoral dissertation). Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- Al-Sadoon, N.N., Scherer, R., Menzal, K., 2023. From static to dynamic information containers, in: Proceedings of the 2023 European Conference on Computing in Construction and the 40th International CIB W78 Conference. Presented at the 2023 European Conference on Computing in Construction, Heraklion, Greece. <https://doi.org/10.35490/EC3.2023.243>
- Bauen digital Schweiz, 2024. Schweizer Strategie zur Bauwerks-Digitalisierung. Bauen digital Schweiz / buildingSMART Switzerland, Zürich.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Eds.), 2024. Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, 3rd ed, VDI-Buch. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4>
- buildingSMART International, 2024. Industry Foundation Classes (IFC) Specification IFC4X3_ADD2 [WWW Document]. URL <https://standards.buildingsmart.org/IFC/> (accessed 15.5.26).
- Cassandro, J., Mirarchi, C., Pavan, A., 2024a. IFC-based cost estimation: Application to a structural model, in: Proceedings of the 2024 European Conference on Computing in Construction. Presented at the 2024 European Conference on Computing in Construction, Chania, Greece. <https://doi.org/10.35490/EC3.2024.255>
- Cassandro, J., Mirarchi, C., Zanchetta, C., Pavan, A., 2024b. Enhancing accuracy in cost estimation: Structured cost data integration and model validation. *J. Inf. Technol. Constr.* 29, 1293–1325. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.058>
- CRB, 2025. NPK-Wegleitung für Anwender 2025. Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich.
- Creswell, J.W., Creswell, J.D., 2017. Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches, 5th ed. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.
- Elghaish, F., Abrishami, S., 2020. A centralised cost management system: Exploiting EVM and ABC within IPD. *Eng. Constr. Archit. Manag.* 28, 549–569. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0623>
- Gholamzadehm, M., Cassandro, J., Mirarchi, C., Pavan, A., 2025. Advancing cost estimation through BIM development: Focus on energy-related data associated with IFC elements. *Appl. Sci.* 15, 7814. <https://doi.org/10.3390/app15147814>
- Hagedorn, B., 2018. BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400: Integration von Bauwerksmodell und Leistungsverzeichnis. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Hamledari, H., McCabe, B., Davari, S., Shahi, A., 2017. Automated schedule and progress updating of IFC-based 4D BIMs. *J. Comput. Civ. Eng.* 31, 04017012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000660](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000660)
- Institut Digitales Bauen, 2024. MSc VDC ISE Datenmodelle – IFC Prozessmodell v1.00 [Lehrunterlagen]. Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz.

- Isatto, E.L., 2021. An IFC representation for process-based cost modeling, in: Toledo Santos, E., Scheer, S. (Eds.), *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer International Publishing, Cham, pp. 519–528. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_37
- ISO, 2024. ISO 16739-1:2024 — Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema. International Organization for Standardization, Geneva.
- Kuckartz, U., 2014. *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung*, 2nd ed. Beltz Juventa, Weinheim.
- Picarel, J., 2024. Anwendungsfall 090.1 — Modellbasierte Unternehmer-ausschreibung mit NPK-Leistungsverzeichnis. Tiefbauamt Kanton Zürich, Zürich.
- Scherer, R.J., Schapke, S.-E. (Eds.), 2014. *Informationssysteme im Bauwesen 2: Anwendungen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44760-4>
- Schöttl, J., 2023. The trends, advantages, and challenges of using linked building data to enrich BIM and benefit management processes (Doctoral dissertation). Universität Innsbruck, Innsbruck.
- SIA, 1992. SIA 451:1992 — Datenstrukturen für den Datenaustausch. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Anhang

Anhang 1:	Protokoll der Nutzung von KI-Assistenz (siehe Anhangdatei).....	56
Anhang 2:	Proposal_MTH_MScVDC_HS25_Rodriguez_Jérémy_signiert	57
Anhang 3:	EicheParkett_offre_A (siehe Anhangdatei)	58
Anhang 4:	EicheParkett_offre_A_V3_2 (siehe Anhangdatei)	59
Anhang 5:	Schemakatalog	60
Anhang 6:	CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.crbx (siehe Anhangdatei).....	61
Anhang 7:	A7_CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.e1s (siehe Anhangdatei)	62
Anhang 8:	A8_CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.pdf (siehe Anhangdatei)	63
Anhang 9:	Interview 1 Zusammenfassung	64
Anhang 10:	Interview 2 Zusammenfassung	66
Anhang 11:	Einverständnis erklärung.....	67

Anhang 1: Protokoll der Nutzung von KI-Assistenz (siehe Anhangdatei)

Im beigefügten Anhang befinden sich die französischen Rohtexte, welche als Grundlage für die durch ChatGPT (22.05.2026) erstellten Übersetzungen dieser Arbeit dienten. Der verwendete Prompt lautete wie folgt: «Du musst den Text in ein akademisches Deutsch übersetzen und dabei meinen Schreibstil beibehalten.».

Einleitung

Ausgangslage: Digitalisierung im Ausschreibungswesen

Le domaine de la construction en suisse verfügt über un cadre standardisé pour ce qui est de la digitalisation. SN EN ISO 19650 regle le management de l'information (Bauen digital Schweiz, 2024, S. 11: „Building Information Modelling [...] Nutzung einer untereinander zur Verfügung gestellten digitalen Repräsentation eines Assets zur Unterstützung von Planungs-, Bau- und Betriebsprozessen als zuverlässige Entscheidungsgrundlage“), le NPK de CRB structure la description des Bauleistungen, et avec SIA 451 et le Anwenderdokument IfA 18 il existe un format de données pour l'échange électronique de leistungsverzeichnis (SIA, 1992, Deckblatt: „Diese Empfehlung bildet zusammen mit dem Merkblatt SIA 2005 und der CRB-Broschüre 'NPK-Informationen für Anwender', Ausgabe 1992, eine Einheit“). Trotz dieses Rahmens verläuft die Phase der Ausschreibung in der Praxis weitgehend dokumentenzentriert.

Dans les projets de tout les jours, en partant du principe que les projets se developpe environnement digitalisé et BIM, deux monde de donné evolue en parallele : le DBM echangé à travers le format ouvert IFC et le leistungsverzeichnis qui lui est echangé au format CRBX régi par la SIA 451 et l'IfA 18. Les deux formats sont ausgereift mais il ne communique pas entre eux. Une connection semantique ou structurel entre les deux standards n'est pas prevu, et si elle est mise en œuvre pour certain projet à travers un travail manuel d'implementation des NPK dans l'ifc. Schöttl decrit ce resultat comme typique pour les pratiques a l'international : dokumentenzentrierte Ansätze führten unweigerlich zu Ineffizienzen und Fehlern, unabhängig davon, wie viele Dateiformate standardisiert seien (Schöttl, 2023, S. 1–2: „However, document-centric approaches inevitably lead to inefficiencies and errors in the process, no matter how many file formats and data exchanges are standardised“). Bemerkenswert ist, dass das IFC-Schema die für eine Integration nötigen Domänen selbst bereitstellt. Les entités IfcCostItem, IfcCostSchedule, IfcTask et IfcProcess permettent la modelisation des coûts et des process information et rapport avec les geometrischen Bauteilen. (Cassandro et al., 2024b, S. 1298: „Within IFC some entities allow to represent the information of the construction management. Among these are: IfcWorkPlan [...], IfcTask [...], IfcCostSchedule that collects cost planning, IfcCostItem that allows you to describe the unit item to be used in cost estimation“).

Dans un context de recherche international ces classes tende à être utilisé pour les Kostenschätzung et pour une utilisations dans la 5D, im deutschsprachigen Raum existieren mit dem BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400 zudem containerbasierte Lösungswege (Hagedorn, 2018, S. 13: „The BLC is a specialization of the Multi-Model-Container and is standardized in the DIN SPEC 91400. It contains building models and BOQs according to ISO 16739 and PAS 1067 GAEB Data exchange and structure of Bill of Quantities (GAEB DA) XML“) meme si il n'utilise pas directement les entités directement mis en place par BSi l'idée primaire va dans la direction d'une integration

des couts au model digitaux. In der Schweizer Ausschreibungspraxis bleiben beide Ansätze bislang weitgehend ungenutzt; eine systematische Untersuchung, ob sie den NPK-Anforderungen genügen, liegt nicht vor.

Damit zeichnet sich folgende Lage ab: un LV-Monde mûre existe en parallele d'un monde de model digitaux tout aussi mûre, La question de savoir si le schema IFC peut etre utilisé comme seul datenträger des LV-Informationen reste ouverte. und bildet den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

Problemstellung: Medienbruch zwischen DBM und Leistungsverzeichnis (SIA 451/CRBX)

Le fonctionnement parallel des deux mondes de donnés crée un Medien et Methodenbruch, qui se retrouve dans les phase de Ausschreibung aujourd'hui. Die Folgen lassen sich auf drei Ebenen beschreiben.

(Datenebene)

Sur un plan des données des redondances sont crée : Bauteilbezeichnungen, Mengen et Beschreibungen doivent etre gepflegt parallelement dans des formats variés, les changements dans les model digitaux ne sont pas automatisé par rapport au LV et des inconsistence se crée schleichend. Les interviews d'expert de Schöttels confirme ce résultat (Schöttl, 2023, Anhang S. 132, Interview I10, Pos. 70: „Also ich habe noch keine einzige IFC Datei gekriegt, die fehlerfrei war"; Interview I2, Pos. 49: „Modelle wo Sachen fehlen, Modelle wo Parameter fehlen").

Sur le plan des process la arbeitsweise d'aujourd'hui met en place une traductions manuelle des Leistungen entre le modell et les LV, ce qui prend beaucoup de temps, augmente le risque de faute (facteur humain) et und nicht vollständig rückverfolgbar bleibt.

Auf der semantischen Ebene schliesslich besteht keine standardisierte Möglichkeit, eine NPK-Position eindeutig auf ein Bauteil im IFC-Modell zu beziehen. Les Kostenklassen generiqueu de IFC ne sont pas abgestimmt sur un system de classification National. Cassandro et al. zeigen am lombardischen Beispiel zwar die grundsätzliche Machbarkeit einer strukturierten Verknüpfung (Cassandro et al., 2024b, S. 1293: „The results demonstrate the feasibility of defining structured cost elements in IFC and verifying their association with geometric data to ensure coherence and uniqueness in cost estimation"), verweisen aber zugleich auf die Notwendigkeit IDS-basierter Validierungsregeln, da das IFC-Schema allein keine semantische Eindeutigkeit garantiert (ebd., S. 1318: „this research aims to verify the accuracy and correctness of information between two different domains, the geometric domain, and the cost domain").

C'est ainsi que se crée le doppelte Problemlage, Praktisch entsteht durch den Medienbruch ein wiederkehrender Effizienz- und Qualitätsverlust in einer wirtschaftlich gewichtigen Projektphase. Wissenschaftlich bleibt offen, ob IFC als Träger schweizerischer LV-

Strukturen tragfähig ist und welche semantischen Lücken bei einer solchen Abbildung verbleiben. Aus diesem doppelten Defizit leitet sich die Forschungsfrage ab.

Forschungsfrage und Teilfragestellungen

Le lage decrit dans le chapitre 1.2 nous mène à la question übergeordneten question de recherche :

Inwieweit kann der offene IFC-Standard die Grundlage für einen konsistenten und bidirektionalen Informationsaustausch von Digitalen Bauwerksmodellen (DBM) und Leistungsverzeichnissen (LV) bilden und damit die modellbasierte Ausschreibung in der Schweizer Baupraxis unterstützen?

La Hauptfragestellung est structuré en quatre question partielles : Tf1 (Teilfragestellung) controle si une abbildung est possible, Tf2 mesure le degré de abdeckung de la abbildung, Tf3 pose la question des conditions d'utilisation et Tf4 quantifie et recherche les limites de l'implementation du schema IFC pour l'echange des LV. Die methodische Zuordnung der Teilfragen zu den Phasen der Arbeit erfolgt in Kapitel 2.

Zielsetzung und Machbarkeitsanalyse

Le travaille a pour but de s'approprier et d'utiliser le format IFC comme format d'echange pour les NPK-basierte Leistungsverzeichnisse. Le but , 'est pas de developper un produit pour le marché mais d'examiner la faisabilité et de demontrer sous quelle condition est ce que le Informationsfluss technisch und semantisch tragfähig ist. A travers l'objectif principal en decoule les 4 Objectifs partiel : la validation du taux de couverture entre le schema NPK (SIA 451 / IfA18) en format .els et le schema IFC, le developpement d'un mapping concept bi-directionnel CRBX-IFC, l'identification des lacunes semantique et structurelle du format IFC ainsi que des Vorschlägen für IFC-Profilierungen. Ainsi que la realisation d'un POC pour la validation du prototype du concept de Mapping. Le travail apporte trois resultat, un premier sur le plan analytique (abdeckungsgrad), un sur le plan conceptionnel (Mapping-Schema) ainsi qu'un prototype fonctionnel. Die Auswertung dieser Ergebnisse durch Experteninterviews (Praxis Partner CRB) dient der Einschätzung ihrer Praxistauglichkeit.

Abgrenzung der Arbeit

Le travaille a en focus l'analyse technique et semantique des echanges LV à travers le format IFC dans un context Suisse. Au centre du travaille se foccuse l'analse du modelle d'information definit par SIA 451 et IfA18, le mapping de ca structure au Concept IFC, la conception d'un austauschmodells bi-direktionnel, le developpement d'un POC pour ce dernier ainsi que l'evaluations du Prototype par un interviews d'expert.

Ne fait pas parti du travail la developpement de solution pour des produits de software natif, l'evaluation sur le plan economique, juridique et organisationnel des processus d'appel d'offres.

L'approfondissement des formats BCF et Cobies ne font egalemeant pas

parti du travail. Eine methodische Präzisierung betrifft den Standard Information Delivery Specification (IDS): IDS ist nicht Untersuchungsobjekt der Arbeit, wird jedoch als methodisches Hilfsmittel zur Spezifikation von Informationsanforderungen eingesetzt (vgl. Kapitel 5.5).

Géographiquement l'étude de cas est limitée à la Suisse. Les différentes approches internationales sont utilisées comme référence mais ne sont pas utilisées ou considérées comme des modèles transposables à la Suisse. Méthodiquement la validation empirique se limite à 1 à 2 halbstrukturierte Interviews d'expert.

Forschungsdesign und Methodik

Wissenschaftliches Vorgehen (Mixed-Methods)

Les questions de recherche allient deux dimensions, qui sont traitées méthodiquement différemment : l'aspect de représentabilité du schéma CRBX sur le schéma IFC est conceptuellement-technique et est clarifié à travers une phase de prototypage ainsi qu'à travers l'analyse de documents. Les implications procédurales n'ont été comprises que par l'estimation des acteurs de la pratique.

A cause de cette double nature s'en suit une approche appelée Mixed-Methods-Ansatz, donc la combinaison de procédures qualitatives et quantitatives au sein du projet de recherche (Kuckartz, 2014, S. 33: „Mixed Methods bezeichnet die Kombination und Integration von qualitativen und quantitativen Methoden im Rahmen desselben Forschungsprojektes“).

Concrètement vient l'utilisation du concept de design séquentiel approfondi, un explanatory sequential design selon Creswell (2017): tout d'abord une première phase conceptuelle-structurelle apporte des résultats, qui seront approfondis et contextualisés dans une deuxième phase dite qualitative. Traduit sur ce travail, le mapping CRBX-IFC est fait analytiquement et élaboré sur la base d'un prototype, puis évalué à travers des interviews. Le processus est créé itérativement, les résultats du prototype ont un effet sur le mapping et les résultats des interviews (discussion constructive) avec les experts ont un effet autant sur le mapping que sur le prototype.

Phasen der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in drei aufeinanderfolgende Phasen, die jeweils einer der vier in Abschnitt 1.3 formulierten Teilfragen schwerpunktmässig zugeordnet sind.

Phase 1: Analyse und Mapping-Konzeption

La phase 1 répond principalement à la Tf1 (représentabilité) et la Tf2 (degré de couverture). On recueille d'abord le statut de SIA 451, IfA18, NPK, CRBX et l'utilisation de l'IFC pour la modélisation des processus. Par la suite les objets d'information de SIA451 / IfA18 (structure LV, les quantités, les prix, les identifiants) et sont mappés avec leurs équivalents IFC potentiels. Les résultats de cette phase est une matrice de couverture ou la structure CRBX est classifiée en représentable, partiellement représentable ou non représentable. Cette matrice de couverture est la base du concept de mapping bidirectionnel.

Methodisch knüpft das Vorgehen an Arbeiten an, die das IFC-Schema systematisch auf seine Eignung für strukturierte Kostendaten prüfen (Cassandro et al., 2024b, S. 1297: „The first step focuses on the analysis of the IFC standard and the existing entities for the representation of construction management information“); spezifisch ist hier der Bezug auf den NPK statt auf einen generischen Preiskatalog.

Phase 2: Prototyping (PoC) und Round-Trip-Tests

La phase 2 s'attelle a repondre a la Tf2 (sustitutionspotenzzial). Au centre de la phase deux se trouve le « roud-Trip-Test » : un NPK-LV au format crbx traduit, au travers le mapping, en format IFC. Le model IFC créé est ensuite retransformé structurelement et semantiquement au format CRBX.

La comparaison des resultats bnous permetts une appreciations quantitatives des resultats et de la perte d'informations et nous permetts d'identifié les manquements du mapping, Kriterium der Verlustfreiheit im Sinne eines „loss-free export“ (Hagedorn, 2018, Abstract).

Phase 3: Experteninterviews und Evaluierung

La phase 3 repond principalement la Tf3 (Prozess und Werkzeugimplikationen). Pour ce faire 1 a 2 halstrukturierte interview seront utilisé, les Halstrukturierte interview sont un forme d'interviews die thematisch eingegrenzte Inhalte mit Spielraum für unerwartete Aspekte verbindet (Kuckartz, 2014, S. 81–82: „Beim Leitfadeninterview gibt der Interviewende lediglich einen relativ groben Themenrahmen vor, die Reihenfolge der Themen und auch die genaue Formulierung der Fragen sind nicht festgelegt“). Les echantillons test sont gezielt zusammengesetzt et ont npour but de controller les aspects des trois groupe d'acrteur les plus importants, CRB en tant que normgebende Institution, les software anbieter dans le doamine de l'ausschreibung et pour finir les utilisateurs aus bauleitung et kostenmanagement. Le but n'est pas de faire une statistique representative mais de controller qualitativement des points critique relevé pendans les differentes conversations constructive.

Die Auswertung folgt der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2014, S. 77–78): Aufzeichnung, Transkription, kategoriegeleitete Codierung. Der Vergleich mit dem Soll-Konzept aus Phase 1 erfolgt in Kapitel 7.3.

Aufbau der Arbeit

Après la Einleitung (chapitre 1) et la methodique au chapitre 2 le chapitre 3 s'attque au principe fondamentaux theorique, Schweizer Ausschreibungswesen und die für den LV-Austausch relevanten IFC-Bereiche. Le chapitre 4 place le travail de recherche im stand der forschung. Les resultats, conceptionnel d'analyse et de mapping, des recherches se retrouvent au chapitre 5. Le PoC ainsi que le round

trip test sont couvert par le chapitre 6, les interviews d'expert se retrouvent au chapitre 7. Le chapitre 8 lie les connaissances dans les discussions, le chapitre 9 termine avec le Fazit et le Ausblick. Cette structure linéaire permet une lecture depuis la formulation du problème jusqu'au recommander ainsi qu'une lecture sélective des parties essentielles (concept-prototyp-validation pratique).

Theoretische Grundlagen
NB – Recherche

Das Schweizer Ausschreibungswesen heute (SIA 451, IfA18, NPK) (1–2 pages)

La procédure d'appel d'offre suisse se repose sur trois piliers, un cadre normatif, un contenu technique ainsi qu'un format technique. Le NPK de CRB s'occupe du contenu dans le sens où il structure hiérarchiquement les Bauleistungen, SIA 451 définit le format des données pour l'échange de données (Leistungsverzeichnis) électroniquement, pour terminer l'IfA18 est aujourd'hui le document d'utilisateur qui règle la mise en œuvre (Umsetzung) opérationnelle dans la pratique. Ces trois composants forment le Datenverbund, qui depuis la fin des années 80 forme la colonne vertébrale des appels d'offres en Suisse.

Le but initial du Datenverbunds peut se formuler ainsi: les données émanant des Leistungsverzeichnissen, offres, contrats et factures doivent pouvoir être échangées entre les différents acteurs et les différents logiciels/matériel d'un projet sans qu'il y ait de redondance ou que l'on doive saisir les mêmes informations plusieurs fois. (SIA, 1992, S. 1: „Der Austausch der Daten aus Leistungsverzeichnissen, Angeboten, Verträgen und Rechnungen zwischen verschiedenen Partnern und verschiedenen EDV-Systemen (Hard- und Software) soll effizient erfolgen, ohne mehrfache Erfassung der gleichen Daten durch die am Projekt beteiligten Partner“).

\$\$\$Die Entstehungsgeschichte ist in dasselbe Dokument eingeschrieben: Pilotprojekte an der SWISSDATA '85 für den Hochbau und 1986/87 in Basel, Zürich und Genf für den Tiefbau führten zur Empfehlung SIA 451 von 1989, die 1992 überarbeitet vorlag und seither – gemeinsam mit dem Merkblatt SIA 2005 – die normative Grundlage des Datenverbunds bildet (SIA, 1992, S. 1).\$\$\$

Structurellement la SIA 451 se repose sur une logique de Recordart clairement articulé (structuré). La norme fait une différence entre les Header-records (A) et les Schluss-records (Z) Structurellement repose SIA 451 sur une logique de Recordart-Logik. La Norme distingue entre Header- und Schluss-Records (A und Z), Sekundärgliederungen (B), Konditionen (C) und dem zentralen Standardrecord für Leistungsverzeichnisse nach NPK Bau, der mit „G“ gekennzeichnet ist (SIA, 1992, S. 5: „G = Standardrecord für Leistungsverzeichnisse nach NPK Bau“). Chaque G-Record contient une

ligne de champs de données, qui identifie clairement les LV-positions: Katalog (Kapitel, Sprache, Ausgabejahr), Leistungsposition, Variablennummer, Zeilennummer, Objektgliederung, Positionslage, Variantengruppe und weitere Felder, die sich auf das Merkblatt SIA 2005 beziehen (SIA, 1992, S. 5–6).

cette structure de champs (feldstruktur) se différencie de la logique du format de données BIM d'aujourd'hui qui tend à s'orienter vers l'objet. La structure décrite ci-dessus est linéaire, Satzbasierend und auf den seinerzeit verfügbaren Datenträgern (DOS-Diskette 3,5") und dem Zeichensatz ISO-Norm 8859/1 verankert (SIA, 1992, S. 1).

Sur le plan technique le contenu est livré par la NPK. Il est structuré hiérarchiquement et s'articule autour du Kapitelgruppe über das Kapitel und den Abschnitt bis zur Unterposition. –\$\$\$\$\$
\$Eine konkrete Leistung – etwa „Einsteinmauerwerk aus Backstein, vollfugig vermauert, Wandstärke 140–160 mm, Wandhöhe 1,51–3,00 m" – wird nicht in Worten beschrieben, sondern über eine Kette von Codes präzise lokalisiert: Kapitelgruppe 300 (Rohbauarbeiten) ? Kapitel 314 (Maurerarbeiten) ? Abschnitt 314.100 (Mauerwerk aus künstlichen Steinen) ? Hauptposition 314.111 ? Unterposition 314.111.132. \$\$\$
\$faire avec bois\$\$\$\$\$. Cette hiérarchie permet la description unique de prestation (Leistung) équivalente par différents acteurs et devient ainsi la base pour la comparaison entre les différentes offres pendant la phase de soumissions (submissionsphase).

Il n'y a pas de lien standardisé entre les NPK et les bauwerksmodelle et pose dans la pratique un problème central. Le fait que la structure NPK s'est aggrandie pendant plus de décennies, a comme conséquence que la structure entre les différents chapitres n'est pas continue ou unique. \$\$\$die Reihenfolge der Sortierkriterien etwa (zuerst Dicke, dann Höhe oder umgekehrt) variiert von Kapitel zu Kapitel. \$\$\$ a Controller de ou j'ai ca!\$\$\$\$
cette structure non hétérogène rend un mappage systématique entre NPK et les modélisés workflows difficile.

Mehrere normgebende Akteure haben in den vergangenen Jahren Vorschläge für eine modellbasierte Anwendung des NPK formuliert. Das Tiefbauamt des Kantons Zürich beispielsweise hat 2024 mit dem Anwendungsfall 090.1 einen formalisierten Workflow für die modellbasierte Unternehmerschreibung mit NPK-Leistungsverzeichnis publiziert. Der Anwendungsfall ist der SIA-Phase 41 (Schreibung) zugeordnet (Picarel, 2024, S. 7) und definiert drei Bearbeitungsstufen: die Bereitstellung des Modells mit den für die Angebotserstellung erforderlichen Inhalten, die Ergänzung um das Mengengerüst gemäss NPK-Positionen sowie die Bereitstellung des Ausschreibungsmodells auf einem BIM-gestützten Viewer (Picarel, 2024, S. 7: „Stufe 1: Bereitstellung (Erstellung) des Leistungsverzeichnis und des Modells mit den für die Angebotserstellung erforderlichen Modellinhalten [...] Stufe 2: zusätzlich mit den zur Angebotsbearbeitung erforderlichen

Mengengerüsts (Einheit und Menge) gemäss NPK-Positionen [...] Stufe 3: Durch das TBA bereitgestelltes Ausschreibungsmodell auf einem BIM gestützten Viewer").

Methodisch greift dieser Anwendungsfall auf eine ABC-Analyse zurück, mit der die NPK-Positionen nach ihrer Berechenbarkeit aus dem Modell klassifiziert werden: A-Positionen werden modellbasiert direkt, B-Positionen modellbasiert indirekt (etwa Planien oder Anstrichflächen), C-Positionen konventionell, also ausserhalb des Modells, ermittelt (Picarel, 2024, S. 13: „Welche Mengen welcher NPK-Positionen werden modellbasiert direkt aus den BIM-Objekten berechnet (A-Positionen) [...] modellbasiert indirekt [...] (B-Positionen) [...] konventionell, also nicht über die BIM-Objekte, berechnet (C-Positionen)"). Diese Differenzierung ist insofern bemerkenswert, als sie implizit anerkennt, dass nicht alle NPK-Inhalte aus einem DBM ableitbar sind – eine Beobachtung, die für die spätere Mapping-Analyse in Kapitel 5 relevant bleibt.

En résumé l'image decrit ci dessus mets en evidence les atout et les limites du Systeme d'appel d'offre suisse actuel. Les atouts sont entre autre la maturité du Datenverbunds et l'acceptation général des acteurs du Systeme NPK. Les limites sont dnas la Recordstruktur qui n'est pas orienté objet, l'heterogenité de la structure interne du NPK a travers les chapitres et le fait qu'il n'y ai pas de standardanbindung au mBauwerksmodell digitale.

Informationsaustausch

IFC-Kosten- und Prozessdomänen (IfcCostItem, IfcCostSchedule, IfcTask)

Le standard IFC contient dans son core layer deux Erweiterung, le process extension ainsi que le Control extension. ces deux extensions (\$\$principe\$\$) sont des element centraux pour la modelisation de Prozess et de couts. La representation qui se limite au entité elementaire pour la representation de LV-Information : IfcCostitem, IfcCostSchedule et IfcTask ergänzend werden die für ihre Verknüpfung notwendigen Beziehungsentitäten erläutert.

IfcCostItem ist die zentrale Entität zur Modellierung von Kostenelementen. Sie ist eine nicht-geometrische Klasse und Subklasse von IfcControl. Das aktuelle IFC-Schema beschreibt sie als abstrakte Entität, die einen Kostenbetrag oder Finanzwert mit beschreibenden Kontextinformationen kapselt und zur Verwendung in einem Kostenplan vorgesehen ist (Cassandra et al., 2024b, S. 1298: „IfcCostItem is the entity that represents the cost of assets and services, the execution of works by a process, lifecycle cost, cost estimates, budgets, and more in the IFC standard. It is a non-geometric entity, a subclass of IfcControl“).

Strukturellement l'entité IfcCostItem a trois Attribut propre:

PredefinedType, CostValues, CostQuantities et les attribut hérité comme GlobalID, Nom, Description et Identification. Les CostValues contiennent les prix unitaires sous forme de une ou plusieurs instances de IfcCostValue, qui ont chaque fois un wert (prix unitaire matériel ou Lohnsatz) et une catégorie (Cassandro et al., 2024b, S. 1299: „An IfcCostItem can link one or many IfcCostValue instances, which can represent a unit cost, total cost, or a unit cost along with one or multiple quantities utilized for generating the total cost"). Les quantités sont contenues sous la forme de IfcPhysicalQuantity dans l'attribut CostQuantities, les quantités donc en rapport avec l'attribut costValues. Die Logik dieses Aufbaus ist also: Ein Kostenelement ist ein Tripel aus Identifikator, einer oder mehreren Wertkomponenten und einer Mengenangabe.

Kostenelement et Bauteil sont liées entre eux à travers une Beziehungsentität et non pas par un attribut. L'élément clé entre Kostenelement et Bauteil est IfcRelAssignsToControl, c'est grâce à cette Beziehungsentität que une instance d'un IfcProduct est attribué (Cassandro et al., 2024b, S. 1299: „it can be linked to an IfcProduct via the IfcRelAssignsToControl relation"). C'est à travers ce mécanisme que un lien opératif entre kostendaten et Geometrie est créé. L'entité IfcRelNests est le deuxième élément centrale de Beziehung, ifcrelnest permet une structuration hiérarchique en Baumstruktur de plusieurs Kostenelement et ainsi la création d'un kostenstrukturplan dans le sens d'un Cost Breakdown Structure (Institut Digitales Bauen, 2024, Folie 13: „Hierarchische Strukturierung von Kosten (Nesting) ? Kostenstrukturplan (Cost Breakdown Structure CBS)").

L'IfcCostSchedule est utilisé pour consolider

IfcCostItem dient sert de structure consolidante globale regrouper pour regrouper un ensemble de IfcCostItem et correspond fonctionnellement à un Kostenplan ou Kostenvoranschlag. L'entité rassemble les différents Kostenelement dans une forme explicite et prédefini, pour par exemple une kostenschätzung pour un projet de construction concret. (Cassandro et al., 2024a, S. 2: „An IfcCostSchedule is used to consolidate instances of IfcCostItem, for explicit identification of cost information, for example in cost estimation of construction projects"). Comme pour IfcCostItem, le IfcCostSchedule est défini par un nom une description ainsi que un predefinedType et Statuscharakterisiert \$a ccontroller la source\$. Le lien entre IfcCostSchedule et ses IfcCostItem-Instanzen attribué se fait, comme déjà exprimer plus haut, par le IfcRelNest. Avec comme racine du Kostenbaum le IfcCostItem le plus haut hiérarchiquement, le (Summary-CostItem, ce "summary-CostItem" est lié à son IfcCostSchedule par un IfcRelAssignsToControl.

L'IfcTask s'occupe de la modélisation du côté des procédés. L'entité IfcTask fait parti du Schema IFC depuis Ifc1.0. Son Objectif ou utilisation a évolué au cours des versions et est passé de verbienden le BIM-Modell avec le Bauablaufplanung dans un text de

4D dans l'ifc1.0 (Isatto, 2021, S. 524: „The IfcTask class is part of the IFC schema since version 1.0, with the main purpose of combining BIM model and project schedules (also know as BIM 4D modeling)“) à un prozessdomäne beaucoup plus elargi depuis l'ifc4. Une des Erweiterung est l'existence aujourd'hui de IfcTaskType qui peut definir les différent aufgabenart independamment de leur konkreten Vorkommen, Dauern oder Abhängigkeiten et les classé dans une bibliotheque d'element.(Isatto, 2021, S. 525).Diese Trennung von Typ und Instanz folgt einer in IFC durchgehend angewandten Logik, die die Wiederverwendung typisierter Definitionen erlaubt.

La propriété Temps d'un devoirs (aufgab), debut(dauer), temps, avancement sont encapsulé dans l'entité IfcTaskTime (jusqu'a IFC4 IfcScheduleTimeControl). Le lien entre IfcTask et IfcTaskTime se fait par IfcRelAssignsTasks et le lien entre un Aufgab avec un element geometrique se fait par IfcRelAssignsToProcess (Hamledari et al., 2017, S. 4: „new instances of IfcTask, IfcScheduleTimeControl, IfcRelAssignsTasks, IfcRelAssignsToProcess, and IfcRelNests are generated for each object [...] used, respectively, to define a task for each object, define its scheduling information, assign the defined task to its scheduling information, assign the corresponding 3D object to the defined task, and hierarchically define the new task as a subtask of the parent task“). Comme pour le kostenelemente, la structure hierarchique de plusieurs IfcTask (Work Breakdown Structure) par IfcRelNests. (Institut Digitales Bauen, 2024, Folie 11).

En resultat on peut en degageer un reseau de relations tridimensionnel, l'ifcProduct donc le Bauteil est porteur des données geometrique, des couts (IfcCostItem) attribué via IfcRelAssignToControl et des prozess (IfcTask) attribué par IfcRelAssignToProcess. Le tableau XY resume les entités et relations centrales pour ce travail.

Deux choses ressorte de l'aperçu ci- dessus.

Le schema IFC offre les ressource de Klassen necessaire a la modellbasierte Abbildung des Leistungsverzeichnis.

Conceptionnelement une Leistungsverzeichnissposition se laisse modelisé en tant que IfcCostItem avec ses zugewiesenen Mengen, Preisen und Bauteilbezügen modellieren.

Deuxiemenet l'utilisation des Klassen dans une sicht operationnel est exigeante . l'utilisation des concepts demande die korrekte Instanziierung mehrerer Beziehungsentitäten et est impossible ou presque impossible a faire dans les BIM-Autorensoftware d'aujourd'hui. Pour la suite des recherches et du travaille nous devons nous tourner vers des bibliotheque comme IfcOpenshell afin de créer/programmé ses structures.

quelle de ces classes et sur quelle etendue nous avons besoin de ces classes afin de pouvoir représenter la structure spécifique NPK fait partie du chapitre 5, Mapping analyse.

Stand der Forschung und Herausforderungen Defizite im heutigen Datenaustausch (SIA 451 vs. IFC)

En plus dzu Medienbruch decrit au chapitre 1.2 les recherches mettent en evidence trois lacune plus profonde extremement relevant pour le mapping analyse du chapitre 5. Premierement le schweizer LV welt evolue sans Modellbezug, les dernieres directive de crb documentent le passage de la norme sia 4551 a la norme IfA18 sans abordé la question de l'interopérabilité (CRB, 2025, S. 4: „Verweis auf Schnittstelle SIA 451 wurde entfernt, da aktuell die Datenaustauschrichtlinie IfA18 gültig ist"). C'est-à-dire que les Lv-Standard sont approfondie sans pour autant remplir le gap avec le Modellwelt.

Deuxiement le format ifc est dans la pratique souvent utiliser comme un dokumentationsformat, une sorte de snapshot a la fin d'une phase, et non pas comme un kontinuierlich fortgeschriebener Träger. Les normes (ISO 16739-1:2024), defininnissent pourtant l'ifc comme un datenaustauschformat mais les anwenderwahrnehmung est difförente comme documenté par les interview de Schötts (Schöttl, 2023, Anhang S. 133, Interview I5, Pos. 122: „Es ist ja nicht ein Austausch Format auch laut Norm, es ist ein Dokumentationsformat [...] Ich glaube, das ist das grundsätzliche Missverständnis dahinter, wenn ich da unterwegs bin"). Für ein bidirektional fortzuschreibendes LV (Angebot, Werkvertrag, Rechnung) cette discrepance entre la norme et les pratiques est extremement relevant. Sans mettre le poids de la missverständnis chez le standard ou chez le anwender.

Troisiement la recherche international sur le Cost-Estimation confirme des lacunes a un niveau systemique. Le lien entre les kostendaten et les modellobjekten est effectué presque sans exception manuellement (Cassandro et al., 2024b, S. 1293: „The association between cost data and geometric model objects is currently done manually, leading to time losses and inaccuracies in cost estimates").

Schweizer Lösungsansätze

Deux grands axe sont mis en avant en suisse, Sur le plan des nores CRB a introduit L'eBKP-Gate. L'ebkp-Gate introduit deux zusatliche Ebene, les Teilelement et les Komponente. Ces deux ebene se retrouve entre les elementbasierten Baukostenplan et les position NPK (CRB, 2025, S. 7: „eBKP-Gate Teilelement ... CRB-Standard") la publication 1026 documente la zuordnung ebkp-NPK. Malheureuement un lien ou pont vers l'ifc n'est present dans aucun des deux vorgaben.

Du coté pratique le tiefbauamt du canton de zurich en 2024 a publiö le anwendungsfall 090.1. l'analyse ABC presente dans ce anwendungsfall est déjà dargestellt au chapitre 3.1 (Picarel, 2024).. Important pour les anforderungsdefinitons est que on voit que pas toute les NPK-inhalte ne peuvent etre abgeleitet depuis un DBM.

Les deux approches on poour bute d'appronffondir le LV-Welt, sans pour autant utilisé l'ifc comme datenträger. Les verknèpfung se font

soit par des zusätzliche Norm-Ebenen ou alors par des propertysets dans les modell.

La Question de savoir si oui ou non l'ifc peut contenir les leistungsverzeichnis reste ouverte.

Internationale Lösungsansätze

Containerbasierte Verknüpfung (Deutschland, Niederlande)

Comme déjà cité au chapitre 1.1 les BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400 (Hagedorn, 2018, S. 13) fait parti d'une famille de Container elargie. Cet famille de de container s'étend depuis les multi model container qui sont statique faisant parti du projet Mefisto (Scherer & Schapke, 2014, S. 196) jusqu'au Information Container for Linked Document Delivery nach ISO 21597 qui sont semantisch annotiert (Al-Sadoon et al., 2023, S. 1). Le principe reste le meme, les formats original des difförent document reste le meme et sont lié entre eux à travers des layers séparé. Par rapport a context suisse ca reste la meme chose et ces idées de verknüpfung a travers des layers externe n'est pas vorgesehen est n'est decrit dans aucun document ou norme.

Parallelement en Allemagne (AVA-Welt) les DBM sont Charger deans des Software specialisé et les bauttaile sont manuelllement ou semi automatiquement ergàanzt avec des position StLB-Bau de GAEB (Borrmann et al., 2024, Teil II, S. 192: „Das STL-Bau fungiert als umfassende Datenbank für standardisierte Bauleistungsbeschreibungen ... Die Zusammenstellung und Pflege von STL-Bau erfolgt durch die Arbeitskreise des GAEB"). Methodiquement ca ressemble au vorgehen decrit au 4.2 pour le schweizer markt. Meme si les standardisierungstand ne sont pas tout a fait les meme les solutions se ressemble.

Native IFC-Modellierung der Kostendomäne (Italien, Brasilien)

La forschungslinie léa plus ambitionné, mais aussi la plus recente, se passe de container extern et se concentre et se tend à utiliser le IFC-Kostendoomäne (vgl. Kapitel 3.2.1). Cassandro et Al.(2024b) on developpé un umfassende ansatz pour le Preiskatalog de la region Lombarde. Le catalogue developpé sur une architecture de IfcCostItem decrit les ressources ainsi que les procedé. Les element de ressource elementaire, les aktivität, et werke jusqu'au Bauleistungen mit gemeinkosten et gewinn sont decrit (Cassandro et al., 2024b, S. 1308: „These entities break down the construction work into time-based activities (e.g., pump casting) and physical entities (e.g., concrete wall layer)").

Le model developpé a été validé a traers un strukturmodell contenant 82 Bauteil, Gholamzadehmir et al. (2025) a elargi le travail en y integrant un scenario de sanierung en 5d. Le pretravail conceptionnel a été fait par Isatto (2021, S.519) en livrant les premiers kostenbasierten Kostenmodellierung en IFC4.

La methode est basé sur un preiskatalogue qui est structuré par rapport au prozess et ressource ce qui en fait la plus grande

limitaiton pour ce travail. Le Npk est lui leistungsbeschrieb organisiert, ce qui en fait un strukturunterschied, der in Kapitel 5 die Mapping-Logik bestimmt.

Algorithmische Anreicherung (USA, Kanada)
Logik bestimmt.

Une troisieme lignme de recherche a pour but la befülnug automatisé des IfcCosten et prozessdomäne par la programmation. Le framework developé par Akanbis (2021) relie les 2D-zu-3D-Modellierung, IFC-basierte Mengenermittlung, NLP-gestützte Extraktion aus Bauspezifikationen und automatisierte Kostenzuordnung. Le tableau présenté par Akanbi (Akanbi, 2021, S. 131, Tabelle 7.1) nous demontre une baisse du temps de de bearbeitung de 7.1%. En complementaire Hamledari et al. (2017, S. 4) actualise automatiquement les 4D-Modelle avec des Fortschrittdaten. Ces deux travaux nous demontre que le remplissage par programmation des kostdomäne sont techniquement faisable. Dans un meme temps les travaux nous demontre aussi que les bim software ne unterstützen pas les classe necessaire au IFC Cost domäne (Cassandro et al., 2024b, S. 1305: „Since this entity is not supported by current BIM software, it is necessary to define this entity through the code“).

Integrative Cost-Management-Frameworks (Vereinigtes Königreich)

En Angeltter Elghaish & Abrishami (2020, S. 1) projete le probleme sur le plan deu projekt management. Leur système de Costenmanagement centralisé a pour but de de mettre en lien Activity based Costing et Earned Value Management avec BIM. Dans le but de pouvoir offrir une repartition juste entre les risque et gain entre les different acteur d'un projet IPD. Pour les questions qui nous occupe cette approche ne nous offre pas de Mapping vorbil mais peut etre plus un Anwendungskontext. Ce context peut etre utilisé pour mettre en lumiere la pertinence strategique des Structures des Leistungsverzeichnis basé sur la structure de l'IFC.

Querschnitt: Wiederkehrende Limitationen

Trois tendance ou observation peuvent etre faite des travaux et ce unabhängig des nations. Que ca soit en Italie au bresil en suisse au canada ou au etats uni : tout d'abord il n'y a pas de standartisations dans les verknüpfung entre les model digitaux et les Leistungsverzeichnis, deuxiemement les different native software ne unterstützen pas ni la lisibilité ni la création des IFC-Kostenklasse troisiemement la eindeutigkeit semantique des Bauteilverknüpfung avec l'ifcshema ne peut opas etre determinö a partir du seul fichier IFC.
Strukturierte Kosten-Ontologien

La comparaison des format faite au chapite 4.3 nous menes a un autre axe de recherche portant sur la structuration du contenu : les

données en langage naturelle. Plus précisément la structuration et la conversion des sprachlicher Leistungsbeschreibungen afin de rendre ces données machinenlesbare. Cassandro et al. (2024b, S. 1322) décrit les conditions méthodologiques requises „Structure cost items in a currently natural language to define machine-readable data. Define information requirements that the model must contain (Level of Information Need) for correct cost estimation. Define a semi-automated control procedure for these information requirements to avoid errors and save time. This is achievable through a standardized document (IDS) for verifying information in IFC models. Verify the correctness and uniqueness of cost elements related to geometric objects to ensure greater accuracy in cost estimation." Ces quatre points : Maschinenlesbarkeit, Informationsanforderungen, semi-automatisierte Validierung, eindeutige Bauteilverknüpfung, seront repris au chapitre 4.5 pour les définitions de ce travail de recherche.

La différence conceptuelle des ontologies mentionnées ci-dessus avec le but d'un mappage entre l'Ifc et la structure NPK est extrêmement pertinente. À l'international la structure ressource et processus basée (material/Arbeit/Geräte – Aktivität – Werk – Bauleistung) domine alors qu'au niveau national suisse le NPK est leistungsbeschreiben organisé (Position – Bauteil – Bauleistung). La transposition des références ou des lignes directrices internationales ne demande donc pas seulement une traduction mais une restructuration de la logique. Cette restructuration sera traitée au chapitre 5.

Anforderungsanalyse: Kern- und Zusatzanforderungen

Les Chapitres 4.1 à 4.4 nous dessinent les exigences que le modèle d'échange basé sur l'Ifc à remplir pour le LV-Monde Suisse. Exigences de base (K1-K5)

K1 Strukturelle Abbildbarkeit

Il doit être possible de reconstruire la hiérarchie NPK depuis le modèle. C'est-à-dire que la hiérarchie depuis le groupe de chapitre jusqu'à la sous-position doit être représentée dans le schéma IFC.

K2 Round-trip-Test

Il ne doit pas y avoir de perte d'informations après une transformation des informations contenues dans le CRBX en IFC puis de nouveau en CRBX. La sémantique doit être identique depuis le début jusqu'à la traduction.

K3 Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung

La validation automatique d'une association d'une position/élément NPK doit pouvoir être validée automatiquement. Le schéma ne suffisant

pas pour cette operation une validation grace a un IDS devrait avoir lieu (Cassandro et al., 2024b, S. 1318). Comme decrit au chapitre 1.5 l'ids ne fait pas parti de ce travail et K3 sera valide dans le cadre du POC (chapitre 6) manuellement.

K4 Rechtsicherheit

Les resultats du LV doivent etre conforme au IfA18 et pouvoir etre retourner au format CRBX, cest a dire rechtsicher et submissionsfähig donc surtout etre conforme au schema IFC.

K5 Mengentransparenz

L'ABC-Klassifikation de Picarel (2024, S. 13) nous un offre un cadre afin de pouvoir beurteilen l'herkunft des Mengen. L'origine des mengen (modellbasiert direkt, indirekt ou conventionnel) doit etre explizit ausgewiesen.

Zusatzanforderungen (Z1-Z4)

Z1 Mehrsprachigkeit

Les attributs des beschreibungstext devrait pouvoir etre enregistre localement et pouvoir etre abgerufen a travers leur NPK-Code dans une bibliothek en plusieurs langue.

Z2 Prozessuale Anbindung

Les positions devrait pouvoir etre lie a des IfcTask / ifcWorkschedule pour une implementation complete dans un Model 4D/5D (vgl. Elghaish & Abrishami, 2020).

Z3 Versionierung

Plusieurs LV versions (par ex. Angebot A et Angebot B pour les meme position) dans un meme modell.

Z4 Werkzeugunterstützung

Devlopement et validation avec des OpenBIM-Werkzeug, en focus surtout IfcOpenShell.

Bewertungslogik

La structure NPK est entierement representable si les Kernanforderungen 1 à 5 sont rempli. Si les kernanforderung 4 et 5 ne sont pas rempli alors la structure n'est que partiellemetn abbildbar. Si une des Keranforderung 1 à 3 n'est pas rempli alors la structure NPK n'est pas Abbildbar. Cette Logik est la bewertungsbasis pour le chapitre 5 (Mapping) et le chapitre 6 (PoC).

Konzeptionelle Analyse: Mapping CRBX zu IFC

Ce chapitre transfere les anforderung defini au chapitre 4.5 dans un konzept de mapping concret. La strucutre est developpé de manière iterative comme decrit au chapitre 2.2, : tout d'abord l'analyse de la structure CRBX (5.1) Strukturanalyse der CRBX-Quelle (5.1), Abdeckungsmatrix gegenüber IFC4X3 (5.2), iterative Variantenentwicklung mit drei retenierten Lösungspfaden (5.3), detailliertes Mapping-Schema der gewählten Variante (5.4), semantische und technische Grenzen (5.5) sowie die Verortung von IDS als methodisches Hilfsmittel (5.6).

5.1 Strukturanalyse CRBX (SIA 451 / IfA18)

Un Crbx-Datensatz complet comprend deux parties distinctes, une partie entête administrative avec le projet, les acteurs, les conditions et une partie la fachliche Hauptteil avec les structures des positions NPK. La SIA 451 différencie ces deux parties grâce aux records de différents types (SIA, 1992, S. 5: „A = Header Record (logischer Beginn) mit Dokumenteninformation ... B = Sekundärgliederungen ... C = Konditionen ... G = Standardrecord für Leistungsverzeichnisse nach NPK Bau“).

5.1.1 Administrativer Teil (A-, B-, C-Records)

Projektbezeichnung, Sprache, Ausgabejahr des NPK-Katalogs, Ersteller, Datum und Versionsnummer sind in der A-Record. Der A-Record ist das Pendant zu einer «front matter» eines Dokumentes im klassischen Sinne.

Die B-Records halten projektspezifische Sekundärgliederungen vor. Der B-Record kann die Struktur des Projektes nach Objekt (Gebäude A, B, ...), nach Etage (z.B. OG, ...), nach Phase oder auch nach anderen internen Kriterien der Bauherren.

Die C-Records tragen die Bedingungen der Wirtschaft, die Mehrwertsteuer, die Rabatte, die Zahlungsbedingungen der allgemeinen Vertragsklausel (z.B. SIA 118 oder SIA 102) oder der Vertragsklauseln. Die C-Records sind sehr wichtig für die Schlussrechnung der Werkverträge oder der Verhandelten Angebote, da die Positionen des NPK die Tarife, aber nicht die kommerziellen Modifikatoren.

Dieser administrative Teil ist natürlich wichtig, da die Hierarchie des NPK für ein modellbasiertes Austausch. Ohne diesen Teil fehlen die Informationen, die angehen, wer, was, wann, wo, wie, zu welchem Zweck, unter welcher Bedingung und mit welchem Rabatt. Informationen, die für die Rechtssicherheit (K4) konstitutiv sind.

5.1.2 Fachlicher Teil (G-Records, NPK-Hierarchie)

Der fachliche Teil ist in den G-Records. Die Struktur des NPK befindet sich in diesem Teil. Für das Mapping ist es notwendig, eine formale objektorientierte Sicht zu haben. Das UML-Klassendiagramm des NPK-Bau-Datenmodells zeigt die Klassen, die dem CRBX-Format zugrunde liegen.

Die zentrale Klasse (Wurzelklasse) trägt die Kapitelnummer (241 für Ort betonbau, 412 für Mehrschichtparkett, 664 für Bodenbeläge aus Holz), Titel, Ausgabejahr, Version und Sprache. Die NPKNode ist eine abstrakte Klasse und ist die Elternklasse (Vaterklasse) (UML-Konv. kursiv markiert) aus der konkreten Untertypen hervorgehen:

Die zentrale Wurzelklasse NPKChapter trägt die Kapitelnummer (241 für Ort betonbau, 412 für Mehrschichtparkett, 664 für Bodenbeläge aus Holz), Titel, Ausgabejahr, Version und Sprache. Unterhalb des Kapitels stehen NPKNode-Instanzen, wobei NPKNode eine abstrakte Elternklasse ist (in UML-Konvention durch Kursivschrift markiert), aus der konkreten Untertypen hervorgehen:

NPKSection – Abschnitt, dreistelliger Code (200, 300) innerhalb des Kapitels,

NPKSubSection – Unterabschnitt, sechsstelliger Code (210.000),

NPKPosition – Hauptposition (211.000),

NPKSubPositionGroup und NPKSubPositionSubGroup – Hundertergruppe und Zehnergruppe (212.100) in der Terminologie der CRB-Wegleitung (CRB, 2025, S. 7),

NPKSubPosition – die Blattklasse. Sie ist einzig tariflich relevant und trägt die Attribute unit (Einheit der Verrechnung: m?, m?, kg, Stk) sowie price1, price2 und price3 – drei Preisspalten für die drei Phasen Angebot, Werkvertrag und Schlussrechnung.

NPKVariable es tunc classe existante en parallel avec sa propre Logik. NPKVariable (Attribut number, description, group, requiredNodes, disallowedNodes) modélise les variantes nommées, validées Paramètres à l'intérieur d'une Position. Elle permet la configuration de la définition de la seule position avec plusieurs variantes (par exemple la variable 01 de qualité de béton B25,B30,... pour la position Béton). Les attributs requiredNodes et disallowedNodes portent les règles de cohérence entre variables, qui définissent, lesquelles combinaisons d'une position sont mutuellement admissibles.

NPKApplicationTitle et NPKApplicationText portent les textes orientés utilisateur. On y retrouve des conditions sous forme de texte. Ses conditions contiennent à leur tour des sous-textes en tant que sous-nœuds. L'attribut boolean contractRelevant différencie si les textes sont des textes juridiquement contraignants.

En faisant une instantiation concrète du modèle pour le chapitre NPK 241 (Ortbetonbau) on y reconnaît deux propriétés structurelles.

Premièrement la relation des sous-nœuds est typée. C'est à dire que la classe des nœuds enfants se différencie des nœuds parents (chapitre-section-subsection-position-subpositiongroup-Subposition). En second plan on remarque que la hiérarchie des NPKApplicationText-nœuds est unique : Les conditions peuvent être imbriquées n'importe où dans la hiérarchie NPK-Position.

5.1.3 Vordersatz und Mengenangaben im Projektkontext

Dans l'uml du NPK-Katalogs les mentions de quantité (anciennement Vordersatz), les mentions de quantité sont de première importance pour une modélisation basée sur le modèle. Pour chaque NPKSubPosition dans la modélisation le planer remplit ces positions avec les quantités dans une unité prévue.

Trois phases avec quantité associée forment le cycle de vie commercial d'une Position – analog à la logique des trois price-Spalten:

Vordersatz Angebot – par le Planer indiquée, quantité prévue

Werkvertragsmenge – contractuellement fixée quantité;

Aufmass / Schlussrechnung – réellement exécutée quantité.

Ces mentions de quantité sont la liaison opérationnelle entre les LV et le bâtiment. C'est avec ces mentions et les prix que le montant de chaque position est calculé. Dans un monde basé sur le modèle (Kapitel 5.4) c'est le point de décision crucial. C'est exactement ces informations de quantité que nous devrions dériver automatiquement des IFCbauteilmengen. A la place de comme aujourd'hui manuellement par chaque acteur impliqué dans un projet.

5.2 Abdeckungsmatrix CRBX ? IFC4X3

Les éléments structurels identifiés au chapitre 5.1 sont transposables dans l'entité du costdomaine de IFC4x3 (vgl Kapitel 3.2.1). nous avons pris 2 décisions centrales pour le mapping design. Ces décisions sont justifiées au chapitre 5.3.

La premiere Decision est d'avoir ObjectType als Datenträger. Da IfcCostItem.PredefinedType nur die Werte USERDEFINED und NOTDEFINED kennt (Cassandra et al., 2024b, S. 1306: „the enumeration of the PredefinedType attribute is always set to USERDEFINED. For this reason, the ObjectType attribute is enhanced"), sera dans vorliegende travail, l'attribut ObjektType comme typeträger umfunktioniert. Cette decision a été prise en accord avec la betreuung de ce travail.

Die in 5.1 identifizierten Strukturelemente lassen sich nun den Entitäten der IFC4X3-Cost-Domäne (vgl. Kapitel 3.2.1) gegenüberstellen. Das Mapping nimmt zwei zentrale Designentscheidungen vorweg, die in 5.3 begründet werden. Es trägt Werte wie "Chapter", "Section", "SubSection", "Position", "SubPositionGroup", "SubPositionSubGroup", "SubPosition", "ApplicationTitle". Cette convention est en adéquation avec la vorgehenweise de Cassandra et al. (2024b) pour le preiskatalogue lombarde. La convention bleibt schema conforme, sie standardisiert lediglich die Belegung eines bereits existierenden Attributs. La deuxieme decision a ete d'utiliser Ifccostschedule = NPK comme einzige Wurzel. D'autre schema utilise ifcschedule au niveau du chapitre. En utilisant ifccostschedule avec le nom NPK ca nous permet de par exemple verankern l'administrative teil (Arecords) au ifcschedule au lieu de le faire pour chaque chapitre. Die NPK-Kapitel werden zu Root-IfcCostItem-Instanzen unterhalb dieses Schedules.

C'est ces vorgabens qui donne la Abdeckungmatrix suivante. Elle est sectionné en trois, une section A avec la partie Structurelle (NPK-Hierarchie und Mengen), la partie B Classification (NPK-Codes als externe Klassifikation) et une partie C avec la section Administrative (Akteure und Konditionen).

Trois consequences structurelle sont a tirer de cette matrix. Le mapping propose une disziplinierte convention par rapport a la befüllung de ObjektType et Category. Cette convention devrait etre controller a l'aide d'ids dans la pratique car se sont des donné a rentré manuellement et non des predefinedtype (vgl. 5.6). Dans le cadre de ce travail et par rapport a ces abgrenzung la consistance de ces donné sera controllé manuellement (vgl. K3 au chapitre 4.5).

La deuxieme consequence est que ce mapping force la creation de deux Custom pset. Le CHCRB_NPK_Variables pour NPKVariable et CHRB_NPK_Application pour NPKApplicationText. Les deux cPset sont necessaire car le shema IFC n'offre pas de pendant natif. La convention de nommage de buildingsmart dit que seul les Property set faisant parti des IFC standard officiel de BsI peuvent avoir le prefix Pset au debut du nom (buildingSMART International, 2024, IfcPropertySet §5.1.3.14.1: „Property sets that are not declared as part of the IFC specification shall have a Name value not including the 'Pset_' prefix"). Le nommage des Custom Pset : CHCRB_NPK(...) est ainsi conforme au richtlinie de BsI.

Une troisieme consequence est que il y a un informationsverlust dans les NPKVariables (requiredNodes et disallowedNodes) on peut les

mettre dans un pset mais on arrive pas faire une validation logique des composant.

5.3 Iterative Konzeptentwicklung – Variantenraum

La abdeckung matrix au chapitre 5.2 montre plusieurs point Clé au quelle il faut prendre des decision de mapping. Le developpementn iterative de ce travaille a aligné sa lösungsraum entlang deux Axe. L'axe A, avec la mapping strategie et l'axe B avec les IFC–Typmodellierung.

5.3.1 Variantenraum: zwei Achsen, neun Kandidaten

L'axe A decrit la strategie de mapping entre CRBX et IFC :

A1 = direct entre CRBX et IFC

A2 = indirect avec eBKP–H entre CRBX et IFC

A3 = hybrid avec les deux système coexistant

L'axe B decrit l' IFC–Typmodellierung du NPK–Knoten :

B1 = ObjektType : UserDefined–werten

B2 = nutzerdefiniertes Property Set

B3 = ifcclassificatio et ifcclassificationReference comme

Ifc–Mechanism pour des classification extern.

Le croisement entre ces differente variante donne 9 solutions potentiel. 6 de 9 solutions peuvent etre delaissé dans un premier temps. Toute les variante croissé avec A2 peuvent etre verworfen. La raison que le chemin A2 n'est pas continué est que en utilisant eBKP–H entre CRBX et IFC ca cré une double verlustkette. Cette double verluschkette est crée par le fait que NPK et eBKP–H nicht eindeutig aufeinander abbildbar sind (vgl. Kapitel 4.2 und CRB–Publikation 1026). La variante A3 crée une complexitl de mapping exponentiel et n'ajoute aucune valeur clair par rapport a A1.

Il ne reste donc que trois variante impliqué a la strategie A1, mit zunehmender semantischer Tiefe entlang B1 ? B2 ? B3:

V1 = A1·B1 – direkt + ObjectType USERDEFINED,

V2 = A1·B2 – direkt + nutzerdefiniertes Property Set CHCRB_NPK_Type,

V3 = A1·B3 – direkt + IfcClassification und IfcClassificationReference.

5.3.2 Variante V1 – ObjectType USERDEFINED

V1 est la version la plus light. Le NPK–Knotentyp est porté par ObjectType ("Chapter", "Section", "Position",...) et les knoten–nummer se trouve dans l'attribut Identification. Il n'y a pas de reference a une classification externe et il n'y a pas de Propertyset pour le Typinformation.

Cette variante es tune variante minimal et peut etre mis en place plus au moins facilement grace a IFCOpenshell et peut etre visualiser dans un modell viewer comme BlenderBIM. Cette variante erföhlt K1 (Strukturelle Abbildbarkeit) et K5 (Mengentransparenz) und ermöglicht über IfcRelAssignsToControl die Element–Verknüpfung. Cette variante garde un point par rapport au K3 (semantische Eindeutigkeit der NPK–Codierung): USERDEFINED. Sans classification de reference extern le empfangen et é'envoyeur donc les deux doivent avoir exactement les memes TRING–Konventionen, eine implizite Branchenkonvention, die nicht ausserhalb des unmittelbaren Austausches sichtbar wird.

5.3.3 Variante V2 – CHCRB_NPK_Type

La variante 2 est une complementaire de la variante 1, elle

strucutre les NPK-Typinformation (Typname, Hierarchieebene, Npk-Code-framente) grace a un nutzerdefiniertes Property set (CHCRB_NPK_Type). Le (c)Pset est gehängt à chaque IfcCostItem a travers IfcRelDefinesByProperties.

La variante V2 augmente la maschinenlesbarkeit par rapport a la variante V1 car le Typinformation n'est plus un frei String dans les Attributs. En aggregant V2 à V1 on cree une redondance, les informationsse. Trouve dans l'objekttype et dans le cPset. La Variante 2 est plus faible que la variante 3 par rapport au Werkzeugunterstützung. En effet les cPset sont visualisable dans les IFCviewer mais ne sont pas semantiquement interpreté alors que les IfcClassification sont un mechanism natif.

5.3.4 Variante V3 – IfcClassification + Reference

La variante 3 utilise le mechanism du IFC-schema pour les classifications Extern. Une instance IfcClassification declart NPK comme systeme de classification extern (Source="CRB", Edition="NPK 2024", Name="Normpositionen-Katalog Bau). Eine IfcClassificationReference-Instanz pro genutztem NPK-Code verweist auf den entsprechenden Knoten und wird über IfcRelAssociatesClassification mit dem jeweiligen IfcCostItem verbunden.

Trois avantages se degagent clairement de cette variante, tout d'abord cette solution est conforme par rapport au mechanism Ifc en utilisant ce que le schema nous offre. IfcClassification est exactement prevu a cet effet dans le schema. Les BIM-autorensoftware sont plus aptes a pouvoir interpreter le mechanism. Pour terminer ce mechanism est skalierbar, pourrait etre utilise pour eBKP-H, BKP etc sans nouvelle convention necessaire. Le knotentyp reste de plus dans ObjectType weil IfcClassification die NPK-Codierung trägt, aber nicht die typologische Rolle (Section vs. Position vs. SubPosition) des Knotens innerhalb der Hierarchie.

5.3.5 Variantenvergleich und Auswahl

Les trois variantes retenues vont etre bewertées par rapport a la anforderungsmatrix defini au chapitre 4.5. Les kernanforderungen ainsi que les zusatz anforderungen sont cites dans l'ordre ci-dessous, deux bewertungskriterien se sont rajouter par rapport la anforderungsliste, Standardisierungspotenzial und implementierungspotenzial.

V3 dominiert in Fünf von Neun Kriterien. Der höhere Implementierungsaufwand wird durch die Standardkonformität und die Skalierbarkeit kompensiert. V3 wird als Lösungskonzept retenu.

5.4 Bidirektionales Mapping-Schema (V3)

Ci-dessous le mapping-schema est defini en 5 couches, la Structure des Leistungsverzeichnisses (5.4.1), la externe Klassifikation über IfcClassification (5.4.2), le part administratif avec Acteurs et Conditions (5.4.3), la Mechanik der Element-Verknüpfung und Mengenermittlung generisch (5.4.4) et l'exemple d'application Eichenparkett (5.4.5).

5.4.1 Struktur des Leistungsverzeichnisses

Die Wurzel des Mappings ist ein einziger IfcCostSchedule mit Name="NPK" und PredefinedType=.BUDGET. für ein Submissionsmodell beziehungsweise .PRICEDBILLOFQUANTITIES. für ein Angebot. Les NPK chapitre sont placé sous les schedules comme instance root-IfcCostItem verknüpft über IfcRelAssignsToControl (RelatingControl = Schedule, RelatedObjects = Kapitel-CostItems).

A l'intérieur de chaque Chapitre IfcRelNests recrée la NPK-Hierarchie. Eine Instanz dieser Struktur am Beispiel des NPK-Kapitels 241 (Ortbetonbau) sieht in groben Zügen wie folgt aus: Deux propriété peuvent être remarqué dans la structure ci dessus. Erstens trägt nur die Blattebene (ObjectType="SubPosition") tatsächliche IfcCostValue-Instanzen mit konkretem AppliedValue. Tout les innereknuten n'on soit pas de costvalues ou alors porte pour la category une «*» comme aggregation platzhalter. C'est une convention du IFC-CostDomaine die Aggregation entlang der Hierarchie an IFC-Viewer und Cost-Engines delegiert..

Deuxiement on voit que le NPKVariable est gebunden a la leaf-Cost-Item a travers le cPset CHCRB_NPK_Variables a travers IfcRelDefinesBy Properties.

Konvention der Positionsnummerierung. Der Identifikator-Attribut Identification des IfcCostItem trägt im PoC den vollständigen NPK-Pfad – beispielsweise "664.400.410.412.200.210.211" für die Position Eiche 1. Sortierung – um Eindeutigkeit zu sichern (eine Unterposition .211 ohne Kontext käme im NPK-Katalog mehrfach vor). Im laufenden Text wird zur Lesbarkeit die NPK-Kurzform verwendet, etwa „Position 412.211" oder „Unterposition .211"; gemeint ist stets der vollständige Pfad innerhalb der jeweiligen Branche. Die Schemavorschläge und die direkten Auszüge aus dem PoC-Datensatz nutzen die vollständige Form.

5.4.2 NPK-Codes via IfcClassification

IfcRelAssociatesClassification s'occupe de la relation avec le costitem (RelatingClassification = Reference, RelatedObjects = CostItem). Damit liegt die NPK-Codierung an drei orthogonalen Stellen vor: im Identification-Attribut des CostItem (Kurzform), im ObjectType (Typeebene) und in der Classification Reference (vollständige, klassifizierungsfähige Form). La redondance est la bienvenue il aide au model pour une navigation hierarchique et aussi lisible pour les classificationsbasierte abfrag.

5.4.3 Akteure und kommerzielle Konditionen

La partie administrative, A et C records lässt sich mit Standard-IFC-Mechanik abbilden, sans devoir rajouter de structure defini par l'utilisateur.

Akteure. Bauherr, Planer und Anbieter werden als IfcActor-Instanzen modelliert, die jeweils eine IfcOrganization oder IfcPerson mit einer IfcActorRole (.CONTRACTOR., .ARCHITECT., .OWNER.) referenzieren. Le IfcCostSchedule a nativement les Attribut necessaire afin de verweisen l'instance IfcActor (Preparedby et SubmittedBy). Die Eigentumshistorie der Datei wird im Standard-IFC-Header über IfcOwnerHistory getragen.

Mehrwertsteuer und Rabatte. Hier kommt die IfcCostValue-Hierarchie zum Tragen, die Cassandro et al. (2024b, S. 1308) für die Modellierung von Gemeinkosten und Gewinn im lombardischen

Preiskatalog entwickelt haben: „the cost value of construction work is calculated by adding the cost values of the work and activity (referred to as 'A'), plus overheads (15 % of A ...), and the profit (10 % of A+B). The final cost is the sum of 'A', 'B', and 'C'". le meme mechanism est utilisé pour implémenté les rabais et les Mehrwertsteuer. C'est abgebildet comme Zusatz IfcCostValue component et est verknüpft avec un arithmetic operator :
 Cette hierarchie est ancré direct au IfcCostSchedule (attribut CostValue) et gilt ainsi pour tout le LV. Die Mechanik ist nativ im Schema vorgesehen, verlangt aber Konvention bei der Benennung der Category – analog zur ObjectType-Konvention für die NPK-Typen.

Zahlungsbedingungen, AGB und externe Dokumente. Juristische Texte und externe Pläne lassen sich nicht sinnvoll in der Cost-Domäne modellieren. Im Rahmen dieser Arbeit werden sie als IfcDocumentReference auf externe PDF-Dateien angehängt. Die genaue Verortung – eingebetteter IfcDocumentReference im selben IFC-Container oder externe URL – bleibt eine offene Frage, die in Interview I-1 (Sorba, Kap. 7.2.2) explizit angesprochen, aber nicht abschliessend geklärt wurde.

Sekundärgliederungen (B-Records). Die projektspezifischen Gliederungen nach Objekt, Etappe oder Bauteilgruppe – orthogonal zur NPK-Hierarchie – lassen sich über IfcGroup mit IfcRelAssignsToGroup abbilden, alternativ über die native IFC-Spatial-Structure (IfcBuildingStorey, IfcSpace) wenn die Sekundärgliederung mit realer Geometrie korrespondiert. Sie sind im PoC dieser Arbeit nicht aktiv umgesetzt, weil das Szenario Eichenparkett keine Sekundärgliederung benötigt, bleiben aber konzeptionell vorgesehen.

5.4.4 Element-Verknüpfung und Mengenermittlung – Mechanik

Le pont entre LV et Bauwerksmodell est fait par deux IFC mécanique qui jouent ensemble. Tout d'abord d'une relation quel est le Bauteil concerne une position et ensuite d'une quantification combien de Bauteils entrent dans cette position.

NPK unit

IFC IfcQuantity-Subtyp

Typische Bauteil-Quelle

m?

IfcQuantityArea (NetArea / NetSideArea)

Wand-Sichtfläche, Bodenfläche

m?

IfcQuantityVolume (NetVolume)

Beton-Volumen

m, lfm

IfcQuantityLength (Length)

Trägerlänge, Fugen

kg, t

IfcQuantityWeight (NetWeight)

Bewehrung, Stahl

Stk, Stück

IfcQuantityCount

Zählobjekte (Türen, Fenster, ...)

h, Std

IfcQuantityTime

Stundenbasierte Leistungen

Cette affectation n'est pas fest verdrahtet dans l'IFC-Schema mais est implémenté a travers un mapping Skript (IfcOpenShell-Skript im PoC, vgl. Kapitel 6). Analog zur ObjectType-Konvention könnte eine IDS-Spezifikation diese Zuordnung formalisieren – was nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

Bewertung gegen K5 – Mengentransparenz. Die ABC-Klassifikation nach Picarel (2024, S. 13) lässt sich mit dieser Mechanik direkt operationalisieren:

A – modellbasiert direkt : Die Menge existiert nativ als Qto_*BaseQuantities am Bauteil und kann ohne Transformation übernommen werden;

B – modellbasiert indirekt : Die Menge muss aus Bauteilattributen berechnet werden (etwa Stossfugenlänge als Summe von Bauteilkanten), wofür ein zusätzlicher Berechnungsschritt nötig ist;

C – konventionell : Die Menge entstammt einer externen Annahme (Stundenpauschalen, Logistikkosten) und ist nicht aus dem Modell ableitbar.

La ABC-Classification de chaque position peut etre documente dans le poc grace a l'attribut CHCRB_NPK_Variables ou un cPset, par exemple CHCRB_QuantityProvenance. Ce qui rendrait la mengentransparenz de K5 explicitement rempli.

5.4.5 Anwendungsbeispiel Eichenparkett

Die in 5.4.4 beschriebenen Mechanismen werden am Szenario

Eichenparkett 155 m² konkretisiert (Datensatz

EicheParkett_offre_A_V3.ifc, vgl. Kapitel 6). Ein Bodenelement

IfcSlab #1275 trägt im Modell die Geometrie und die Mengenangabe

Qto_SlabBaseQuantities.NetArea = 154,999 m². Im Leistungsverzeichnis

ist die Position NPK 412.211 „Mehrschichtparkett, verlegen,

verleimt, Klickprofil, auf Zementestrich kleben, versiegelt, d mm

13–15, Eiche 1. Sortierung" zu 120 CHF/m² ausgeschrieben.

Die vollständige Verknüpfung sieht wie folgt aus:

In einer konkreten Offerte ist eine einzige NPK-Position pro Bauteil aktiv (Variante ?): Die Position 412.211 (Eiche 1. Sortierung, 120 CHF/m²) ist mit dem Slab verknüpft, während die alternativen Positionen 412.212 (Eiche 2. Sortierung, 95 CHF/m²) und 412.213 (Esche/Buche, 78 CHF/m²) zwar als IfcCostItem im Schedule "NPK" existieren und ihre eigenen IfcCostValue tragen, aber keine IfcRelAssignsToControl-Beziehung zum Slab haben. Sie bleiben Teil des Katalogs, ohne in der konkreten Ausschreibung wirksam zu werden. Die IfcCostValue mit AppliedValue = 120 CHF sitzt ausschliesslich auf der Blattebene (ObjectType="SubPosition"). Die übergeordneten Knoten der Hierarchie (664 ? 400 ? 410 ? 412 ? .200 ? .210) tragen keine CostValues und delegieren die Aggregation an die übergeordnete Endpreis-Struktur am ScheduleTotal-CostItem (vgl. 5.4.3). Die Einheit wird nicht am IfcCostValue selbst getragen, sondern durch den Subtyp der zugehörigen IfcQuantity ausgedrückt – hier IfcQuantityArea, gemäss der Konvention unit="m²" ? IfcQuantityArea aus 5.4.4. Der Wert NetArea = 154,999 m² wurde aus dem Qto_SlabBaseQuantities des Slabs übernommen.

Dieser Aufbau erfüllt sämtliche Kernanforderungen aus 4.5:

K1 (Strukturelle Abbildbarkeit) – die NPK-Hierarchie 664 ? 400 ?

410 ? 412 ? .200 ? .210 ? .211 ist vollständig über IfcRelNests

rekonstruierbar.

K2 (Round-Trip-Fähigkeit) – die Vollständigkeitsmatrix in 6.3.4 weist jede CRBX-Information eindeutig im IFC-Modell nach.

K3 (Semantische Eindeutigkeit) – die Bauteil-Position-Zuordnung ist via IfcRelAssignsToControl formal eindeutig; die Validierung erfolgt im Rahmen dieser Arbeit manuell.

K4 (Rechtssicherheit) – die schematische Konformität des Datensatzes ist durch den IfcValidation Service bestätigt (vgl. 6.3).

K5 (Mengentransparenz) – IfcQuantityArea mit expliziter Name-Annotation und expliziter Quelle (Qto_SlabBaseQuantities des Slabs) macht die Mengenherkunft sichtbar.

5.5 Semantische und technische Grenzen

Meme si la abdeckung est élevé il reste des frontiere structurelle. Lpus precisement il reste 6 frontiere strucuturelle. Ces frontiere sont documenté dans le POC et sont discuté plus profondement au chapitre 8 et 9.

5.6 IDS als methodisches Hilfsmittel

Les solutions developpé dans les chapitres 5.3 et 5.4 repose sur plsuieurs point sur des conventions non erzwingt par le schema IFC. Par exemple le objekt type-werte ("Chapter", "Section", "SubPosition", ...), le schema des CHCRB_NPK_Variables, die Category-Strings pour les rabais la TVA ou encore la correspondance entre les NPK-unit et IfcQuantity sub typ. La solution methodique propre afin de controller les informations convenue par convention entre deux acteurs est, selon buildingSMART (vgl. Bauen digital Schweiz, 2024, S. 21), l'information delivery system (IDS).

Eine IDS-Datei würde Regeln formalisieren wie „Jedes IfcCostItem mit ObjectType='SubPosition' MUSS mindestens eine IfcCostValue mit nicht-*Category enthalten" oder „Jedes IfcCostItem mit zugewiesenem IfcSlab MUSS eine IfcClassificationReference zu einer IfcClassification mit Source='CRB' haben" oder „Jedes IfcCostItem mit unit='m?' MUSS eine IfcQuantityArea in den CostQuantities führen". Solche Regeln liessen sich automatisiert gegen ein IFC-Modell prüfen.

Comme déclaré au chapitre 1.5 le developpement d'ids specification ne fait pas parti de ce travaille de recherche. Dans le Cadre du poc au chapitre 6 le controle de la consistance des conventions est faite manuellement. Ce controle manuelle est encore complementé par une validation de l'IFC a travers le IfcValidationservice, ce systeme de validitation s'occupe de controoller la formale korektheit de la strucutre IFC. Le systeme de validation ne controle pas le sconventions de ce travaille. L'IDS es tune recoomandation pour des standartisierungs Schritte futur (vgl. chapirte 9.2).

Realisierung des Proof of Concept (PoC)

Le POC met en pratique dans une toolchain le concept V3 de mapping developpé au chapitre 5. Le but n'étant pas de faire un produit reif pour le marché mais un empirisch nachweis comme formulé au chapitre

4.5. Le POC se focalise sur le scenario decrit au chapitre 5.4.5, le Eichenparkett et le NPK 412.211.

Szenariodefinition und Versuchsaufbau

Der Versuch besteht aus einer geometrischen Komponente, einer tariflichen Komponente und einer konsolidierten Ausgangsdatei.

Geometrie. Un IfcSlab avec un Qto_SlabBaseQuantities.NetArea = 154.999 m² modélisé comme Bodenelement. La modelisation a ete faite dans Bonsai (BlenderBIM) et l'export en IFCax3_ADD2.

Tarif. Trois NPK-Position vont etre controller :
664.400.410.412.200.210.211 „Eiche 1. Sortierung" zu 120 CHF/m² (aktive Position), 412.200.210.212 „Eiche 2. Sortierung" zu 95 CHF/m² und 412.200.210.213 „Esche/Buche" zu 78 CHF/m² (jeweils latente Alternativen gemäss Variante ? aus 5.4.5).
Ensuite sont implementé les Anbieter- und Planer-Akteure sowie eine Mehrwertsteuer von 8,1 %.

Toolchain. Le toolchain est composé de 4 element fonctionnent ensemble. Bonsai pour la SlabGeometrie, un skript python basé sur IfcOpenShell 0.8.5 pour la Anreicherung du fichier IFC avec la structure V3. Pour terminer vient le IfcValidationService de BuildingSMART afin de faire un controle schematische et enfin denouveau bonsai pour un controle visuel des resultat.
Le toolchain est 100/100 openBim conforme et entspricht Z4 (Werkzeugunterstützung).

Validierung und Round-Trip-Tests

Trois test vont etre fait au fichier/ensemble de donné EicheParkett_offre_A_V3.ifc.

Test 1 – Schemakonformität (K4).

Le fichier est controller a travers le ifcvalidation service de BuildindSMART. Au premier check le service de validation a trouvé une semantische verletzung : QTY001: fehlendes MethodOfMeasurement am Qto_SlabBaseQuantities. Le service de validation a aussi emis deux normative Warnings : IFC106: fehlende Rooted-Referenz auf IfcActorRole et GRF003: fehlendes IfcCoordinateReferenceSystem. Le script a été adapté dans une iteration, MethodOfMeasurement="BaseQuantities" ergänzt et IfcActorRole über IfcOrganization.Roles referenziert. Le deuxieme Validierungsdurchlauf confirme la conformité du schema, einzig GRF003 bleibt als bewusster methodischer Verzicht bestehen (vgl. 6.4).

Test 2 – Hierarchierekonstruktion (K1).

Un script de «selection» navigue depuis IfcCostSchedule « NPK » et suis la chaîne IfcRelNests jusqu'à la Blatt position 412.211. La reconstruction de la Pfad notation correspond exactement à la NPK Hierarchie et contient les 10 IfcCostItem attendue (sieben Hierarchieknoten plus drei Alternativpositionen plus ein ScheduleTotal-Aggregator).

Test 3 – Konsistenz und Eindeutigkeit (K3, K5, manuell).

Les contrôles visuels dans Bonsai-Cost-Editor confirment que Die IfcRelAssignsToControl zwischen Slab und CostItem 412.211 ist eindeutig (eine einzige Beziehung, keine Verwaisten). Les CostQuantities des CostItems correspondent exactement aux Qto_SlabBaseQuantities.NetArea des Slabs (154.999 m², arrondi à 155 dans le viewer Blender). La IfcClassificationReference de 412.211 zeigt korrekt auf ein IfcClassification avec la source= « CRB ». la consistance de calcul (120 CHF ? 154.999 m² = 18 599,88 CHF) est lisible directement dans le cost editor de Bonsai, seul bémole sont les pourcentage de rabais qui ne s'affiche pas dans blenderBIM.

6.4 Grenzen des PoC

Sekundärgliederungen (B-Records). Dans ce scénario pas nécessaire, pourrait être conceptionnelement modellable à travers IfcGroup (vgl. 5.4.3)

Mehrsprachigkeit (Z1). Structurelement prêt, IfcClassificationReference.Name contient pour l'instant un nom allemand mais pourrait être élargi avec des références en français en italien sans oublier la romanche.

Prozessuale Anbindung (Z2). IfcTask ou IfcWorkSchedule ne sont pas créés dans ce scénario et exploserait le cadre du PoC, aucun composant de temps n'est contenu dans le PoC.

Rückübersetzung CRBX ? IFC ? CRBX. Im PoC wird ausschliesslich die Richtung CRBX ? IFC umgesetzt; die symmetrische Inverse wird beschrieben, aber nicht implementiert. Diese Auslassungen folgen der Abgrenzung aus Kapitel 1.5 und werden in 9.2 als anschliessende Forschungsthemen formuliert.

6.3.4 Tabellarischer Nachweis der Informationsvollständigkeit (K2)

Da die programmatische Rückübersetzung IFC ? CRBX nicht aktiv implementiert wird (vgl. 6.3 sowie 9.2), erfolgt der Nachweis der Round-Trip-Fähigkeit im engeren Sinn über eine Vollständigkeitsmatrix: Für jede im CRBX-Quellsatz vorhandene

Information wird gezeigt, an welcher Stelle und in welchem Attribut der IFC4X3-Datei EicheParkett_offre_A_V3.ifc sie wiederzufinden ist. Eine Rückübersetzung ist genau dann verlustfrei möglich, wenn die Tabelle für jede Position eine eindeutige IFC-Quelle ausweist – was die folgende Matrix für das Szenario Eichenparkett demonstriert.

Auswertung der Matrix

La matrice contient 38 CRBX informationsobjekte et indique pour chacun une eindeutige verortung dans le fichier IFC4X3.
30 Objekte verlustfrei nativ abgebildet (administrative Felder, Hierarchie, Klassifikation, Preise, Mengen) – die Rückübersetzung kann direkt das entsprechende IFC-Attribut auslesen.
6 Objekte über die Konvention ObjectType abgebildet (Knotentypen Chapter, Section, ...) – die Rückübersetzung benötigt die in 5.2 definierte Wertelisten-Konvention als Lookup-Tabelle.
2 Objekte über die Konvention Category abgebildet (MwSt = "VAT", Subtotal = "*") – analog zur ObjectType-Konvention.

Damit ist K2 für das PoC-Szenario nachgewiesen: Sämtliche im CRBX-Quellsatz vorhandenen Informationen sind in der IFC-Datei lokalisierbar; die programmatische Rückübersetzung wird zur mechanischen Inverse der in 6.2 beschriebenen Erzeugung.

Evaluation und Experteninterviews

Durchführung der Experteninterviews

La validation qualitative du lösugskonzept presentö dans ce travaille a été faite a travers deux Halbstrukturierte Experteninterviews. Les sparringpartner pour les interview ont deux perspective complementaire, pour l'un le Anbietersicht eines etablierten Bauadministrations-Softwareherstellers et pour l'autre la norm geber sicht de CRB qui sont les herausgeber de NPK.

Masterthesis

Rodriguez, Jérémy

Anhang 2: Proposal_MTH_MScVDC_HS25_Rodriguez_Jérémy_signiert

Proposal Master-Thesis
Master of Science FHNW in Virtual Design and Construction (MSc FHNW VDC)

Deckblatt

Angaben Verfasser

Vorname: Jérémy
Nachname: Rodriguez Cordova
E-Mail: jeremy.rodriguezcordova@students.fhnw.ch

Angaben Hochschule

Hochschule: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik FHNW
Institut: Institut Digitales Bauen, Hofackerstrasse 30, 4132 Muttenz
Studiengang: Master of Science FHNW in Virtual Design and Construction (VDC)
Studiengangleiterin: Prof. Nora Dainton

Angaben Master-Thesis

Titel der Arbeit: Nutzung von IFC für den Informationsaustausch bei Ausschreibungen -
Machbarkeitsanalyse
gewählter Typus: A - Projekt: Fragestellung und Entwurf mit effektiver Umsetzung, begleitet von
einer schriftlichen, wissenschaftlichen Auseinandersetzung.
Thesis Begleiter: Prof. Lukas Schildknecht, Professor für Digitales Bauen, FHNW
Thesis Experte: Marcel Chour, CRB
Externer Partnerin: CRB, Steinstrasse 21, 8003 Zürich

Datum: 21 Oktober 2025

Unterschriften: Studierender Thesis-Begleiter

Jérémy Rodriguez

Prof. Lukas Schildknecht

1 Einleitung



1.1 Ausgangslage

Die bauwerksmodellbasierte Ausschreibung stellt einen der zentralen und zukunftsweisenden Anwendungsfälle des Building Information Modeling (BIM) dar. In der Praxis werden Digitale Bauwerksmodelle (DBM) zwischen verschiedenen Projektbeteiligten – Planern, Unternehmen und Bauherren – über unterschiedliche Systeme und Formate ausgetauscht, typischerweise über den offenen IFC-Standard.

Aktuelle Erkenntnisse zeigen, dass dabei neben dem DBM zunehmend auch ein Leistungsverzeichnis (LV) mitgeführt wird, das ergänzend Leistungen, Mengen und Positionen beschreibt und einen engen Bezug zum Modell aufweist, jedoch nicht Teil des DBM selbst ist. Die Leistungsverzeichnisse werden häufig über getrennte Systeme und Datenformate ausgetauscht, siehe Abbildung 1: Ist-Zustand des Informationsaustauschs. Während das Modell typischerweise über den offenen IFC-Standard (Industry Foundation Classes) übermittelt wird, erfolgt der Austausch der Leistungsverzeichnisse nach dem Schweizer Standard SIA 451 / IfA18 im CRBX-Format.

Dies führt zu Medien- und Methodenbrüchen, die sich insbesondere in der Kommunikation zwischen Planern, Unternehmen und Bauherren bemerkbar machen. Während das Modell geometrische und mengenrelevante (QTO) Informationen enthält, werden Leistungsbeschreibungen, Preise und Positionen separat über andere Kanäle ausgetauscht. Dadurch entstehen Redundanzen, Informationsverluste und Inkonsistenzen.

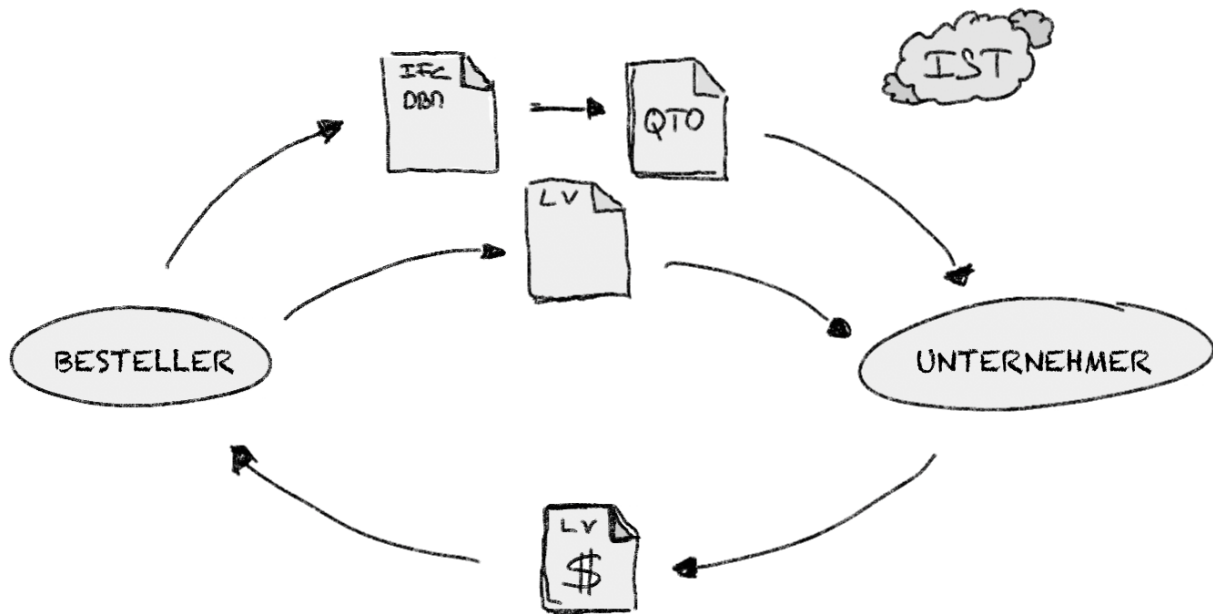


Abbildung 1: Ist-Zustand des Informationsaustauschs

Eine mögliche Lösung liegt in der Nutzung des offenen IFC-Standards nicht nur als Modellträger, sondern auch als Austauschmedium für Leistungsverzeichnisse, siehe Abbildung 2: Systemneutral LV-Informationen. IFC verfügt über Konzepte zur Abbildung von Prozessen, Leistungen und Kosten (IfcProcess, IfcTask, IfcCostItem und IfcCostSchedule), die bislang in der Praxis kaum zur Modellierung von Ausschreibungsdaten verwendet werden.

Ein derartiger Ansatz würde es erlauben, LV-Informationen strukturiert, systemneutral und bidirektional über IFC-Dateien auszutauschen und zugleich die Konsistenz zwischen dem Digitalen Bauwerksmodell (DBM) und dem Leistungsverzeichnis (LV) sicherzustellen. Dadurch könnten die Vorteile beider Welten – der offenen Modellstruktur von IFC und der normierten LV-Struktur nach SIA 451 / IfA18 / NPK – wirkungsvoll zusammengeführt werden.

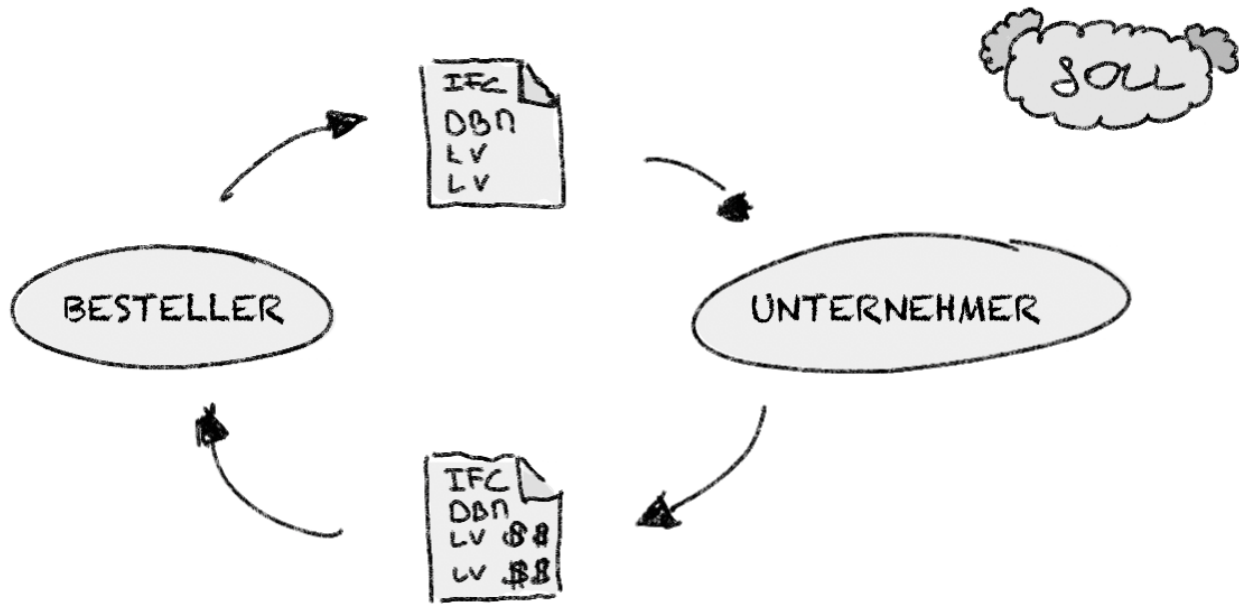


Abbildung 2: Systemneutral LV-Informationen Austausch

1.2 Problemstellung

Trotz der Etablierung von SIA 451 und IfA18 in der Schweizer Baupraxis bestehen weiterhin erhebliche Lücken im durchgängigen Informationsaustausch zwischen Ausschreibungssystemen, Planungssoftware und Bauwerksmodellen. Der Austausch von Leistungsverzeichnissen erfolgt zwar standardisiert über das CRBX-Format, dieses ist jedoch nicht direkt in modellbasierte Workflows integriert. Dadurch bleibt die Verbindung zwischen Modell, Mengen und Leistungspositionen schwach (Isatto, 2021).

Auf der anderen Seite bietet der IFC-Standard zwar umfangreiche Möglichkeiten zur semantischen Modellierung von Prozessen, Leistungen und Kosten, diese werden in der Praxis jedoch bisher kaum genutzt. Die offenen Fragen lauten daher: Kann IFC die LV-Strukturen nach SIA 451 / IfA18 adäquat abbilden? Wo liegen die semantischen und technischen Grenzen? Und wie kann ein bidirektionaler Austausch zwischen IFC und CRBX realisiert werden?

Diese Problemstellung wird in der Arbeit sowohl technisch als auch konzeptionell analysiert und mittels eines Proof of Concept (PoC) validiert. Besonderes Augenmerk liegt auf den Grenzen des IFC-Schemas, auf der Abbildung von NPK-Positionen sowie auf der Frage, wie Bauteile und Leistungen systemneutral verknüpft werden können, um den Medienbruch zwischen Modell und Leistungsverzeichnis zu vermeiden.

1.3 Forschungsfrage

1.3.1 Hauptfragestellung

Inwieweit kann der offene IFC-Standard die Grundlage für einen konsistenten und bidirektionalen Informationsaustausch von Digitalen Bauwerksmodellen (DBM) und Leistungsverzeichnissen (LV) bilden und damit die modellbasierte Ausschreibung in der Schweizer Baupraxis unterstützen?

1.3.2 Teilfragestellungen

- Wie können Leistungsverzeichnisse nach NPK innerhalb der Datenstruktur von IFC abgebildet werden?

- Inwieweit kann der Standard IfA18 durch den IFC-Standard ersetzt werden?
- Welche Anpassungen an den Ausschreibungsprozessen oder an den verwendeten Werkzeugen sind erforderlich, und welche Herausforderungen ergeben sich daraus?
- In welchem Umfang können die in SIA 451 und IfA18 definierten Informationsstrukturen und Inhalte im bestehenden IFC-Schema vollständig abgebildet werden, und wo bestehen semantische oder strukturelle Lücken, die durch Erweiterungen oder Profilierungen ergänzt werden müssten?

1.4 Abgrenzung

Die Arbeit konzentriert sich auf den Austausch von Leistungsverzeichnissen über den IFC-Standard und nicht auf die allgemeine, prinzipielle Diskussion der modellbasierten Ausschreibung. Im Vordergrund steht die technische und semantische Analyse, wie die nach SIA 451 / IfA18 strukturierten LV-Daten in den IFC-Standard integriert und über diesen zwischen verschiedenen Akteuren ausgetauscht werden können.

Untersuchungsrahmen und Fokuspunkte:

- Analyse der Informationsmodelle von SIA 451 / IfA18 (CRBX) und deren Mapping auf IFC-Konzepte (z. B. IfcCostItem, IfcCostSchedule, IfcProcess, ...).
- Konzeption eines bidirektionalen Austauschmodells CRBX vers IFC.
- Validierung anhand von Prototypen und Beispieldaten.

Nicht Bestandteil der Arbeit sind:

- Entwicklung vollständiger (Native)Softwarelösungen.
- ökonomische oder organisatorische Betrachtungen der Ausschreibungsprozesse.
- detaillierte Betrachtungen anderer Formate (z. B. COBie, BCF, IDS).

1.5 Zielsetzung

Die Arbeit verfolgt das Ziel, die Eignung des IFC-Standards als Austauschmedium für Leistungsverzeichnisse im Schweizer Kontext zu prüfen (NPK). Dabei soll aufgezeigt werden, ob IFC in der Lage ist, die Informationsanforderungen der SIA 451 vollständig abzubilden, und wie eine bidirektionale Verbindung zwischen CRBX und IFC gestaltet werden kann.

Darüber hinaus sollen Lücken und Erweiterungspotenziale des IFC-Schemas identifiziert und konzeptionell adressiert werden. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, den Informationsfluss zwischen den verschiedenen Akteuren der Ausschreibungspraxis zu vereinfachen und die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen zu verbessern.

1.6 Konkrete Ziele

- Validierung des Abdeckungsgrades: Systematische Analyse, ob IFC die Strukturen und Inhalte der SIA 451 / IfA18 vollständig oder teilweise abbilden kann.
- Mapping-Konzept CRBX - IFC: Entwicklung eines bidirektionalen Austauschschemas mit strukturellem und semantischem Mapping.
- Analyse der Grenzen: Identifikation jener LV-Elemente (insbesondere NPK-Positionen), die IFC nicht oder nur teilweise abbilden kann, inklusive Vorschlägen für Profilierungen oder Erweiterungen.
- Proof Of Concept (POC): Erstellung eines Beispielszenarios für den LV-Austausch über IFC, um den Informationsfluss und mögliche Integritätsverluste zu evaluieren.

1.7 Relevanz und Motivation

Die zunehmende Digitalisierung der Bauprozesse erfordert durchgängige, standardisierte und interoperable Datenflüsse zwischen den Beteiligten. Der heutige Medienbruch zwischen Modell,

Ausschreibung und Vergabe führt zu Informationsverlusten, doppelter Dateneingabe und geringer Transparenz.

Ein offener, IFC-basierter Austausch von Leistungsverzeichnissen könnte diese Brüche überwinden und zu einem systemneutralen, konsistenten und nachvollziehbaren Informationsaustausch beitragen. Dies würde nicht nur die Effizienz der Ausschreibungsprozesse erhöhen, sondern auch die Grundlage für zukünftige IPD- (Integrated Project Delivery) und 5D-BIM-Ansätze stärken, bei denen Kosten- und Leistungsdaten eng mit dem Modell verknüpft sind.

1.8 Methodik

Die Methodik kombiniert qualitative und technische Ansätze und gliedert sich in vier Hauptschritte:

- Literatur- und Grundlagenrecherche:

Erhebung des aktuellen Forschungs- und Standardisierungsstands zu SIA 451, IfA18, NPK, CRBX sowie zur Nutzung von IFC für Kosten- und Prozessmodellierung (IfcCostItem, IfcProcess, IfcTask, IfcCostSchedule). Suchbegriffe: IFC cost modelling, SIA 451, IfA18, BIM Ausschreibung, openBIM cost exchange.

- Anforderungsanalyse & Schema-Mapping:

Identifikation der relevanten Informationsobjekte aus SIA 451 und IfA18 (z. B. LV-Struktur, Mengen, Preise, IDs) und systematischer Abgleich mit den entsprechenden IFC-Entitäten. Ziel ist die Entwicklung eines bidirektionalen Mappings zwischen CRBX und IFC.

- Proof of Concept (PoC):

Iterative Umsetzung eines prototypischen Beispiels zur Übertragung eines NPK-basierten Leistungsverzeichnisses in IFC-Struktur (Round-Trip-Test, siehe Abbildung 3: Round-Trip-Test). Nutzung von OpenBIM-Tools (z. B. BlenderBIM / IfcOpenShell) zur technischen Validierung von Abbildbarkeit und Datenkonsistenz.

Eine grobe Entwurfsplanung des Terminplans ist in Anhang 1 zu finden.

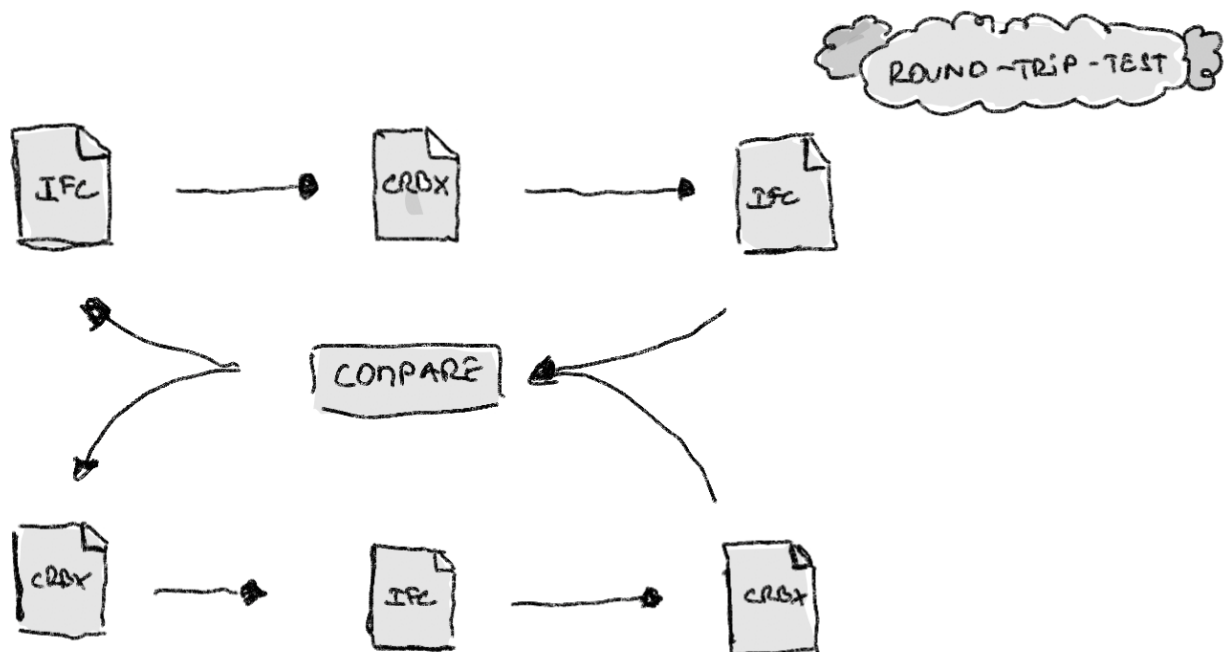


Abbildung 3: Round-Trip-Test

- Evaluation & Interviews:

Validierung der Ergebnisse durch 2–4 halbstrukturierte Experteninterviews (CRB, Softwareanbieter, Bauleitung/Kostenmanagement). Erstellung einer Abdeckungsgrad-Matrix, siehe Abbildung 4: Abdeckungsgrad-Matrix, und Reflexion der technischen und organisatorischen Herausforderungen.

Die Arbeit folgt einem iterativen Vorgehen, bei dem Konzept, PoC und Evaluation schrittweise aufeinander aufbauen.

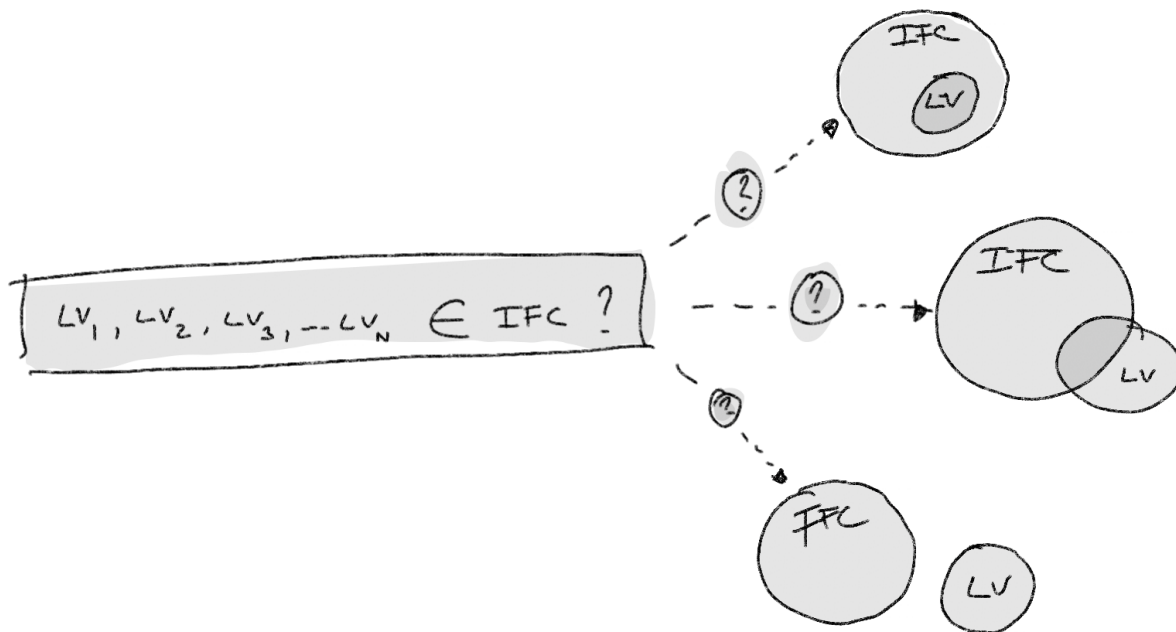


Abbildung 4: Abdeckungsgrad-Matrix

2 Erwartete Ergebnisse

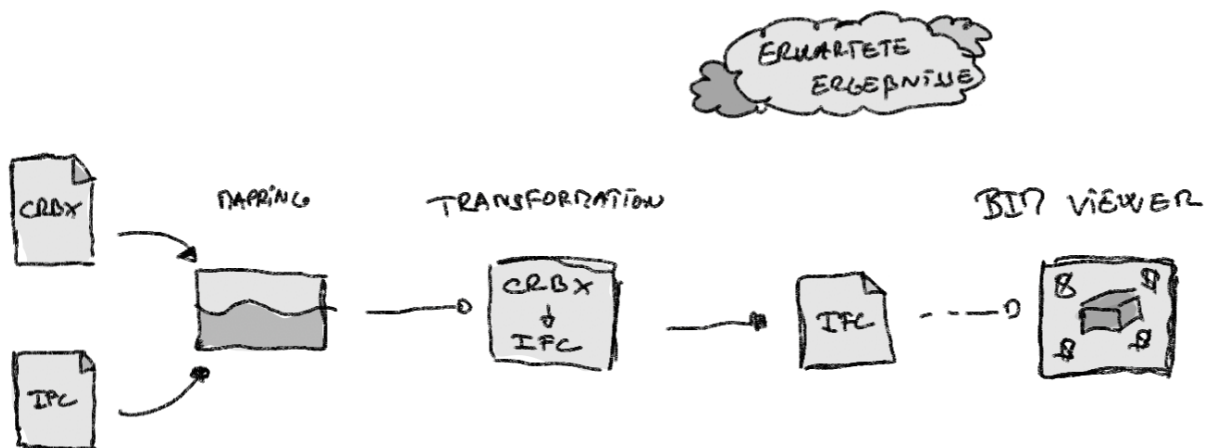


Abbildung 5: Erwartete Ergebnisse

Erwartet wird, dass Leistungsverzeichnisse nach SIA 451 / IfA18 / NPK strukturell über den IFC-Standard abgebildet und ausgetauscht werden können, siehe Abbildung 5: Erwartete Ergebnisse, auch ohne direkte Kopplung an geometrische Modellobjekte.

Darüber hinaus wird ein zweiter Ergebnisschwerpunkt darin bestehen, das Potenzial einer Kopplung von LV-Informationen mit Objekten aufzuzeigen, um die Möglichkeiten einer bidirektionalen Integration zwischen Modell und Leistungsverzeichnis zu bewerten.

Zusätzlich werden Grenzen und Erweiterungsbedarf des IFC-Schemas dokumentiert sowie Empfehlungen für Profilierungen und Anpassungen formuliert, die den modellbasierten Ausschreibungsprozess im Schweizer Kontext unterstützen.

- Nachweis umfange IFC informationsanforderungen aus SIA Abbilden kann.
- Mapping zwischen CRBX und IFC zur bidirektional übertragung von LV-Daten.
- Dokumentation der grenzen der IFC-Schemas im kontext LV(NPK).
- Entwicklung von empfehlungen für Profilierungen oder Erweiterungen des IFC-Schema oder IFC-Standards.
- POC Konzeptionellespropotyp der CRBX – IFC Mapping.

3 Relevante Literatur (aus der Vorrecherche)

Akanbi, T., n.d. *IFC-BASED SYSTEMS AND METHODS TO SUPPORT CONSTRUCTION COST ESTIMATION*.

Al-Sadoon, N.N., Scherer, R., Menzal, K., 2023. *From static to dynamic information containers*. Presented at the 2023 European Conference on Computing in Construction and the 40th International CIB W78 Conference. <https://doi.org/10.35490/EC3.2023.243>

Cassandro, J., Mirarchi, C., Pavan, A., 2024a. *IFC-based Cost Estimation: Application to A Structural Model*. Presented at the 2024 European Conference on Computing in Construction. <https://doi.org/10.35490/EC3.2024.255>

Cassandro, J., Mirarchi, C., Zanchetta, C., Pavan, A., 2024b. *Enhancing accuracy in cost estimation: structured cost data integration and model validation*. J. Inf. Technol. Constr. 29, 1293–1325. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.058>

Elghaish, F., Abrishami, S., 2020. *A centralised cost management system: exploiting EVM and ABC within IPD*. Eng. Constr. Archit. Manag. 28, 549–569. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0623>

Gholamzadehmir, M., Cassandro, J., Mirarchi, C., Pavan, A., 2025. *Advancing Cost Estimation Through BIM Development: Focus on Energy-Related Data Associated with IFC Elements*. Appl. Sci. 15, 7814. <https://doi.org/10.3390/app15147814>

Hamledari, H., McCabe, B., Davari, S., Shahi, A., 2017. *Automated Schedule and Progress Updating of IFC-Based 4D BIMs*. J. Comput. Civ. Eng. 31, 04017012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000660](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000660)

Isatto, E.L., 2021. *An IFC Representation for Process-Based Cost Modeling*, Springer International Publishing, in: Toledo Santos, E., Scheer, S. (Eds.), Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Lecture Notes in Civil Engineering. Springer International Publishing, Cham, pp. 519–528. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_37

Krzysztof Zima, Agnieszka Leśniak, 2013. *Limitations of Cost Estimation Using Building Information Modeling in Poland*. J. Civ. Eng. Archit. 7. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.05.004>

Mohamed Ghareeb, B.A., Abdel-Hamid, M., Arandah, W.M., 2025. *Assessment of Construction Cost Control Techniques Using BIM Tools*. Eng. Res. J. Shoubra 0, 0–0.
<https://doi.org/10.21608/erjsh.2025.338934.1379>

Picarel, J., n.d. *Anwendungsfall 090.1 Modellbasierte Unternehmerausschreibung mit NPK-Leistungsverzeichnis*.

Scherer, R.J., Schapke, S.-E. (Eds.), 2014. *Informationssysteme im Bauwesen 2: Anwendungen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44760-4>

Schöttl, J., 2023. The trends, advantages, and challenges of using linked building data to enrich BIM and benefit management processes. Universität Innsbruck, Innsbruck.

Wyrsh, L., 2023. *Bauwerksmodellbasierte Ausschreibung im Hochbau mit Fokus auf die Devisierung einer Wand (Master)*. Hochschule Architektur, Bau und Geomatik FHNW.

Rodriguez Jérémy

[illegible]

Rodriguez Jérémy

Project Start Date		9/2/2025 (Tuesday)		Display Week		12		Week 12					Week 13					Week 14					Week 15					Week 16					Week 17					Week 18					Week 19																				
		17 Nov 2025						24 Nov 2025					1 Dec 2025					8 Dec 2025					15 Dec 2025					22 Dec 2025					29 Dec 2025					5 Jan 2026																									
WBS	TASK	LEAD	START	END	DAYS	% DONE	WORK DAYS	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
								M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S							
1	Kickoff		Mon 9/02/24	Mon 10/07/24			26																																																								
1.1	Start Masterthesis	[Name]			8		-																																																								
1.2	Themenfindung				5		-																																																								
1.3	Abgrenzung				4		-																																																								
1.4	(vor)Recherche				4		-																																																								
1.4.1	Literatur(vor)recherche				2		-																																																								
1.4.2	Praxis Partner(vor)recherche				3		-																																																								
1.5	Entw. Interview Terminplan				5		-																																																								
1.6	Entw. Interview Terminplan				6		-																																																								
1.7	Proposal				4	0%	-																																																								
1.8	Abg. Proposal		Wed 10/22/25	Wed 10/22/25	7	100%	1																																																								
2	Analyse		Mon 10/07/24	Fri 11/29/24			40																																																								
2.1	Datenerhebung		Tue 10/07/25	Mon 11/10/25	4	0%	25																																																								
2.1.1	Theoretisch		Tue 10/07/25	Mon 10/27/25		0%	15																																																								
2.1.2	Praktisch		Tue 10/21/25	Mon 11/10/25		0%	15																																																								
2.2	Interviewslots		Tue 11/04/25	Mon 11/17/25	6	0%	10																																																								
2.3	Auswertung		Tue 11/18/25	Sat 11/29/25	3	0%	9																																																								
3	Synthese		Tue 11/25/25	Mon 1/05/26			30																																																								
3.1	Prozess 1		Tue 11/25/25	Mon 12/08/25	4	0%	10																																																								
3.2	Prozess 2		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.3	Prozess X		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.4	Evaluation		Tue 12/16/25	Tue 12/23/25	6	0%	6																																																								
3.5	Prototype richtung		Tue 12/23/25	Mon 1/05/26	3	0%	10																																																								
4	Evaluation		Tue 1/06/26	Mon 3/09/26			45																																																								
4.1	Machbarkeit		Tue 1/06/26	Mon 1/26/26	1	0%	15																																																								
4.2	Validierung		Tue 1/20/26	Mon 2/02/26	1	0%	10																																																								
4.3	Entwurf Prototype		Mon 1/26/26	Mon 3/09/26	1	0%	31																																																								
4.4	POC		Tue 3/03/26	Mon 3/16/26	1	0%	10																																																								
5	Dokumentation		Tue 3/10/26	Sat 5/23/26			54																																																								
5.1	Abg. Abstract		Sat 1/10/26	Sat 1/10/26	1	0%	0																																																								
5.2	Dokumentation		Tue 3/10/26	Tue 5/05/26	1	0%	41																																																								
5.3	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.4	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.5	Finalisierung / Korrekturen		Mon 5/11/26	Sat 5/23/26	1	0%	10																																																								
5.6	Abg. Thesis		Fri 5/22/26	Fri 5/22/26	1	0%	1																																																								
6	Presentation		Fri 5/23/25	Wed 6/25/25			24																																																								
6.1	Entw. Presentation		Sat 5/23/26	Mon 6/08/26	1	0%	11																																																								
6.2	Probe Presentation FHNW		Thu 6/12/25	Thu 6/12/25	4	0%	1																																																								
6.3	Abg. Presentation		Thu 6/19/25	Thu 6/19/25	5	0%	1																																																								

Rodriguez Jérémy

Project Start Date		9/2/2025 (Tuesday)		Display Week		20		Week 20					Week 21					Week 22					Week 23					Week 24					Week 25					Week 26					Week 27																				
		12 Jan 2026						19 Jan 2026					26 Jan 2026					2 Feb 2026					9 Feb 2026					16 Feb 2026					23 Feb 2026					2 Mar 2026																									
WBS	TASK	LEAD	START	END	DAYS	% DONE	WORK DAYS	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5	6	7	8
								M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S
1	Kickoff		Mon 9/02/24	Mon 10/07/24			26																																																								
1.1	Start Masterthesis	[Name]			8		-																																																								
1.2	Themenfindung				5		-																																																								
1.3	Abgrenzung				4		-																																																								
1.4	(vor)Recherche				4		-																																																								
1.4.1	Literatur(vor)recherche				2		-																																																								
1.4.2	Praxis Partner(vor)recherche				3		-																																																								
1.5	Entw. Interview Terminplan				5		-																																																								
1.6	Entw. Interview Terminplan				6		-																																																								
1.7	Proposal				4	0%	-																																																								
1.8	Abg. Proposal		Wed 10/22/25	Wed 10/22/25	7	100%	1																																																								
2	Analyse		Mon 10/07/24	Fri 11/29/24			40																																																								
2.1	Datenerhebung		Tue 10/07/25	Mon 11/10/25	4	0%	25																																																								
2.1.1	Theoretisch		Tue 10/07/25	Mon 10/27/25		0%	15																																																								
2.1.2	Praktisch		Tue 10/21/25	Mon 11/10/25		0%	15																																																								
2.2	Interviewslots		Tue 11/04/25	Mon 11/17/25	6	0%	10																																																								
2.3	Auswertung		Tue 11/18/25	Sat 11/29/25	3	0%	9																																																								
3	Synthese		Tue 11/25/25	Mon 1/05/26			30																																																								
3.1	Prozess 1		Tue 11/25/25	Mon 12/08/25	4	0%	10																																																								
3.2	Prozess 2		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.3	Prozess X		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.4	Evaluation		Tue 12/16/25	Tue 12/23/25	6	0%	6																																																								
3.5	Prototype richtung		Tue 12/23/25	Mon 1/05/26	3	0%	10																																																								
4	Evaluation		Tue 1/06/26	Mon 3/09/26			45																																																								
4.1	Machbarkeit		Tue 1/06/26	Mon 1/26/26	1	0%	15																																																								
4.2	Validierung		Tue 1/20/26	Mon 2/02/26	1	0%	10																																																								
4.3	Entwurf Prototype		Mon 1/26/26	Mon 3/09/26	1	0%	31																																																								
4.4	POC		Tue 3/03/26	Mon 3/16/26	1	0%	10																																																								
5	Dokumentation		Tue 3/10/26	Sat 5/23/26			54																																																								
5.1	Abg. Abstract		Sat 1/10/26	Sat 1/10/26	1	0%	0																																																								
5.2	Dokumentation		Tue 3/10/26	Tue 5/05/26	1	0%	41																																																								
5.3	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.4	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.5	Finalisierung / Korrekturen		Mon 5/11/26	Sat 5/23/26	1	0%	10																																																								
5.6	Abg. Thesis		Fri 5/22/26	Fri 5/22/26	1	0%	1																																																								
6	Presentation		Fri 5/23/25	Wed 6/25/25			24																																																								
6.1	Entw. Presentation		Sat 5/23/26	Mon 6/08/26	1	0%	11																																																								
6.2	Probe Presentation FHNW		Thu 6/12/25	Thu 6/12/25	4	0%	1																																																								
6.3	Abg. Presentation		Thu 6/19/25	Thu 6/19/25	5	0%	1																																																								

Rodriguez Jérémy

Project Start Date		9/2/2025 (Tuesday)		Display Week		28		Week 28							Week 29							Week 30							Week 31							Week 32							Week 33							Week 34							Week 35						
		9 Mar 2026							16 Mar 2026							23 Mar 2026							30 Mar 2026							6 Apr 2026							13 Apr 2026							20 Apr 2026							27 Apr 2026												
WBS	TASK	LEAD	START	END	DAYS	% DONE	WORK DAYS	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3
								M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S
1	Kickoff		Mon 9/02/24	Mon 10/07/24			26																																																								
1.1	Start Masterthesis	[Name]			8		-																																																								
1.2	Themenfindung				5		-																																																								
1.3	Abgrenzung				4		-																																																								
1.4	(vor)Recherche				4		-																																																								
1.4.1	Literatur(vor)recherche				2		-																																																								
1.4.2	Praxis Partner(vor)recherche				3		-																																																								
1.5	Entw. Interview Terminplan				5		-																																																								
1.6	Entw. Interview Terminplan				6		-																																																								
1.7	Proposal				4	0%	-																																																								
1.8	Abg. Proposal		Wed 10/22/25	Wed 10/22/25	7	100%	1																																																								
2	Analyse		Mon 10/07/24	Fri 11/29/24			40																																																								
2.1	Datenerhebung		Tue 10/07/25	Mon 11/10/25	4	0%	25																																																								
2.1.1	Theoretisch		Tue 10/07/25	Mon 10/27/25		0%	15																																																								
2.1.2	Praktisch		Tue 10/21/25	Mon 11/10/25		0%	15																																																								
2.2	Interviewslots		Tue 11/04/25	Mon 11/17/25	6	0%	10																																																								
2.3	Auswertung		Tue 11/18/25	Sat 11/29/25	3	0%	9																																																								
3	Synthese		Tue 11/25/25	Mon 1/05/26			30																																																								
3.1	Prozess 1		Tue 11/25/25	Mon 12/08/25	4	0%	10																																																								
3.2	Prozess 2		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.3	Prozess X		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.4	Evaluation		Tue 12/16/25	Tue 12/23/25	6	0%	6																																																								
3.5	Prototype richtung		Tue 12/23/25	Mon 1/05/26	3	0%	10																																																								
4	Evaluation		Tue 1/06/26	Mon 3/09/26			45																																																								
4.1	Machbarkeit		Tue 1/06/26	Mon 1/26/26	1	0%	15																																																								
4.2	Validierung		Tue 1/20/26	Mon 2/02/26	1	0%	10																																																								
4.3	Entwurf Prototype		Mon 1/26/26	Mon 3/09/26	1	0%	31																																																								
4.4	POC		Tue 3/03/26	Mon 3/16/26	1	0%	10																																																								
5	Dokumentation		Tue 3/10/26	Sat 5/23/26			54																																																								
5.1	Abg. Abstract		Sat 1/10/26	Sat 1/10/26	1	0%	0																																																								
5.2	Dokumentation		Tue 3/10/26	Tue 5/05/26	1	0%	41																																																								
5.3	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.4	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.5	Finalisierung / Korrekturen		Mon 5/11/26	Sat 5/23/26	1	0%	10																																																								
5.6	Abg. Thesis		Fri 5/22/26	Fri 5/22/26	1	0%	1																																																								
6	Presentation		Fri 5/23/25	Wed 6/25/25			24																																																								
6.1	Entw. Presentation		Sat 5/23/26	Mon 6/08/26	1	0%	11																																																								
6.2	Probe Presentation FHNW		Thu 6/12/25	Thu 6/12/25	4	0%	1																																																								
6.3	Abg. Presentation		Thu 6/19/25	Thu 6/19/25	5	0%	1																																																								

Rodriguez Jérémy

Project Start Date		9/2/2025 (Tuesday)		Display Week		36		Week 36					Week 37					Week 38					Week 39					Week 40					Week 41					Week 42					Week 43																				
						4 May 2026					11 May 2026					18 May 2026					25 May 2026					1 Jun 2026					8 Jun 2026					15 Jun 2026					22 Jun 2026																						
WBS	TASK	LEAD	START	END	DAYS	% DONE	WORK DAYS	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
								M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S
1	Kickoff		Mon 9/02/24	Mon 10/07/24			26																																																								
1.1	Start Masterthesis	[Name]			8		-																																																								
1.2	Themenfindung				5		-																																																								
1.3	Abgrenzung				4		-																																																								
1.4	(vor)Recherche				4		-																																																								
1.4.1	Literatur(vor)recherche				2		-																																																								
1.4.2	Praxis Partner(vor)recherche				3		-																																																								
1.5	Entw. Interview Terminplan				5		-																																																								
1.6	Entw. Interview Terminplan				6		-																																																								
1.7	Proposal				4	0%	-																																																								
1.8	Abg. Proposal		Wed 10/22/25	Wed 10/22/25	7	100%	1																																																								
2	Analyse		Mon 10/07/24	Fri 11/29/24			40																																																								
2.1	Datenerhebung		Tue 10/07/25	Mon 11/10/25	4	0%	25																																																								
2.1.1	Theoretisch		Tue 10/07/25	Mon 10/27/25		0%	15																																																								
2.1.2	Praktisch		Tue 10/21/25	Mon 11/10/25		0%	15																																																								
2.2	Interviewslots		Tue 11/04/25	Mon 11/17/25	6	0%	10																																																								
2.3	Auswertung		Tue 11/18/25	Sat 11/29/25	3	0%	9																																																								
3	Synthese		Tue 11/25/25	Mon 1/05/26			30																																																								
3.1	Prozess 1		Tue 11/25/25	Mon 12/08/25	4	0%	10																																																								
3.2	Prozess 2		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.3	Prozess X		Tue 12/02/25	Mon 12/15/25	3	0%	10																																																								
3.4	Evaluation		Tue 12/16/25	Tue 12/23/25	6	0%	6																																																								
3.5	Prototype richtung		Tue 12/23/25	Mon 1/05/26	3	0%	10																																																								
4	Evaluation		Tue 1/06/26	Mon 3/09/26			45																																																								
4.1	Machbarkeit		Tue 1/06/26	Mon 1/26/26	1	0%	15																																																								
4.2	Validierung		Tue 1/20/26	Mon 2/02/26	1	0%	10																																																								
4.3	Entwurf Prototype		Mon 1/26/26	Mon 3/09/26	1	0%	31																																																								
4.4	POC		Tue 3/03/26	Mon 3/16/26	1	0%	10																																																								
5	Dokumentation		Tue 3/10/26	Sat 5/23/26			54																																																								
5.1	Abg. Abstract		Sat 1/10/26	Sat 1/10/26	1	0%	0																																																								
5.2	Dokumentation		Tue 3/10/26	Tue 5/05/26	1	0%	41																																																								
5.3	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.4	Korrekturen Ext.		Tue 5/05/26	Mon 5/11/26	1	0%	5																																																								
5.5	Finalisierung / Korrekturen		Mon 5/11/26	Sat 5/23/26	1	0%	10																																																								
5.6	Abg. Thesis		Fri 5/22/26	Fri 5/22/26	1	0%	1																																																								
6	Presentation		Fri 5/23/25	Wed 6/25/25			24																																																								
6.1	Entw. Presentation		Sat 5/23/26	Mon 6/08/26	1	0%	11																																																								
6.2	Probe Presentation FHNW		Fri 6/12/26	Fri 6/12/26	4	0%	1																																																								
6.3	Abg. Presentation		Fri 6/19/26	Fri 6/19/26	5	0%	1																																																								

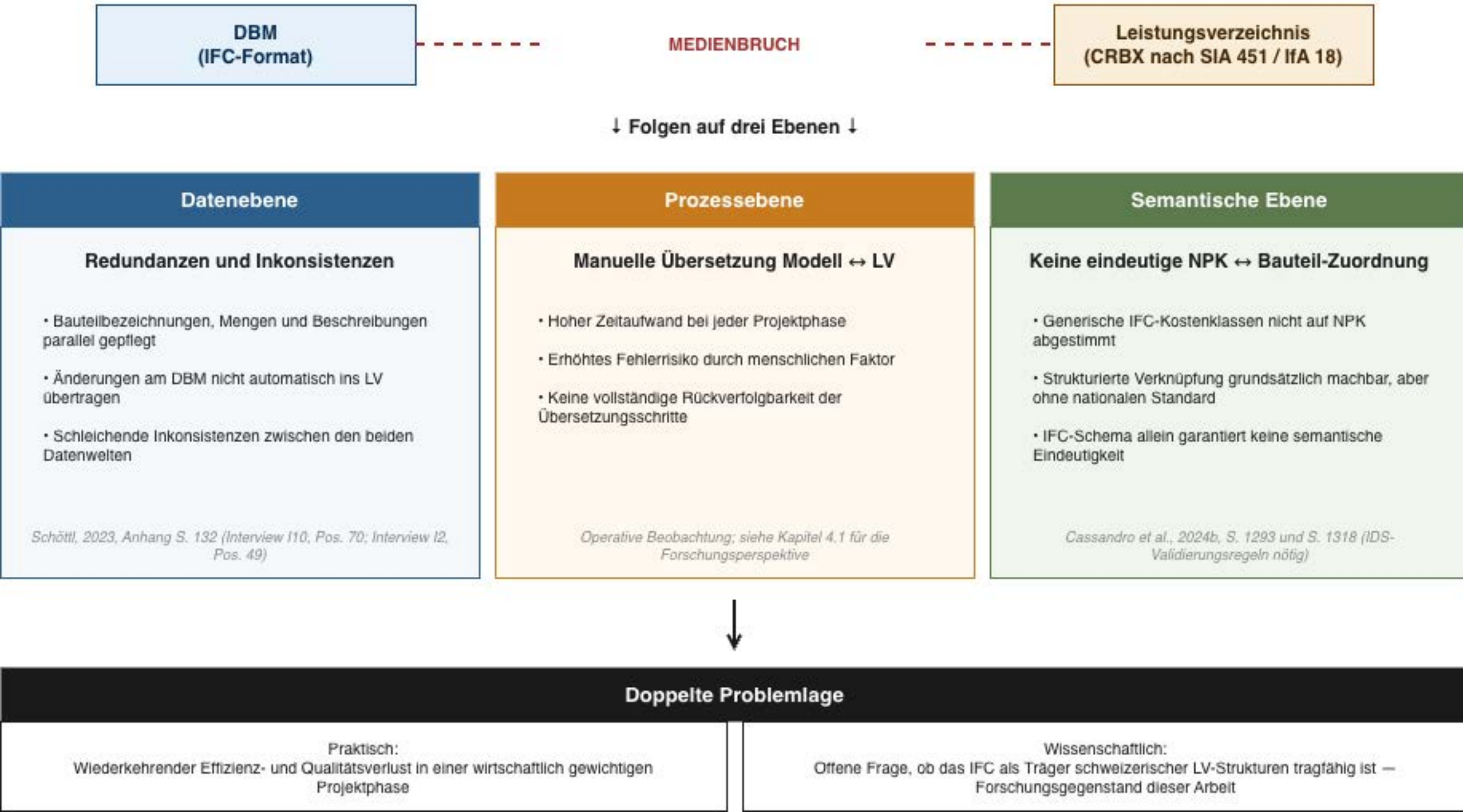
Anhang 3: EicheParkett_offre_A (siehe Anhangdatei)

Anhang 4: EicheParkett_offre_A_V3_2 (siehe Anhangdatei)

Anhang 5: Schemakatalog

Schema 1.2-A — Die drei Ebenen des Medienbruchs DBM ↔ Leistungsverzeichnis

Symptome des heutigen Parallelbetriebs von IFC (DBM) und CRBX (LV) in der Schweizer Ausschreibungspraxis



Schema 2.2-A – Phasen der Arbeit und Zuordnung der Teilfragen

Drei sequenzielle Phasen mit iterativer Rückkopplung – von der Analyse über das Prototyping zur Evaluation

Phase	Phase 1 – Analyse und Mapping-Konzeption	Phase 2 – Prototyping (PoC) und Round-Trip-Tests	Phase 3 – Experteninterviews und Evaluation
Teilfrage	TF1 – Abbildbarkeit TF4 – Abdeckungsgrad und Lücken	TF2 – Substitutionspotenzial	TF3 – Prozess- und Werkzeugimplikationen
Eingabe	• CRBX-Spezifikation (SIA 451 / IfA 18) • NPK-Katalog (CRB 2024/2025) • IFC4X3-Schema (buildingSMART) • Wissenschaftliche Literatur (Cassandro 2024, Schöttl 2023, Hagedorn 2018, Isatto 2021 u.a.)	• Mapping-Konzept V3 aus Phase 1 • Testszenario Eichenparkett (NPK 412.211, 155 m²) • OpenBIM-Toolchain (Bonsai, IfcOpenShell 0.8.5, IfcValidation Service)	• PoC-Ergebnisse aus Phase 2 (Datensatz EicheParkett_offre_A_V3.ifc, Vollständigkeitsmatrix) • Halbstrukturierter Leitfaden • Stichprobe: Anbieter (Sorba), Normgeber (CRB)
Methode	• Dokumentenanalyse (Normen, Wegleitungen, Literatur) • Strukturanalyse CRBX (UML) • Schemavergleich NPK ↔ IFC4X3 • Variantenraum 3x3 mit Auswahl der Variante V3 (nach Cassandro et al., 2024b)	• Programmatische Implementierung der Variante V3 (IfcOpenShell) • Schemavalidierung (IfcValidation Service) • Manueller Round-Trip-Nachweis via Vollständigkeitsmatrix („loss-free export“, Hagedorn 2018)	• Halbstrukturierte Experteninterviews (Kuckartz, 2014, S. 81–82) • Qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2014, S. 77–78): Aufzeichnung – Transkription – kategoriengeleitete Codierung • Vergleich Soll-Konzept ↔ Ist-Zustand
Ergebnis	• Abdeckungsmatrix CRBX ↔ IFC4X3 mit Verlustanalyse • Bidirektionales Mapping-Schema (V3) • Anforderungskatalog (K1–K5, Z1–Z4) • Identifizierte semantische Grenzen	• Lauffähiger Referenzdatensatz EicheParkett_offre_A_V3.ifc • Schemavalidierter IFC4X3-Container • Vollständigkeitsmatrix mit 38 CRBX-Informationsobjekten • PoC-Quellcode (Python/IfcOpenShell)	• Extern validiertes Lösungskonzept • Vergleich Soll ↔ Ist (Trägerformate, Persistenz, Konditionen, Standardisierung) • Empfehlungen für zukünftige IFC-Profillierungen (vgl. 9.2)
Bezug Kapitel	Kap. 3 – Theoretische Grundlagen Kap. 4 – Stand der Forschung Kap. 5.1 – 5.3 – Strukturanalyse, Abdeckungsmatrix, Variantenraum	Kap. 5.4 – Bidirektionales Mapping-Schema (V3) Kap. 5.6 – IDS als methodisches Hilfsmittel Kap. 6 – Realisierung des PoC	Kap. 7 – Evaluation und Experteninterviews Kap. 8 – Diskussion Kap. 9 – Fazit und Ausblick



Iterative Rückkopplung – Ergebnisse der späteren Phasen wirken auf das Mapping und auf den PoC zurück

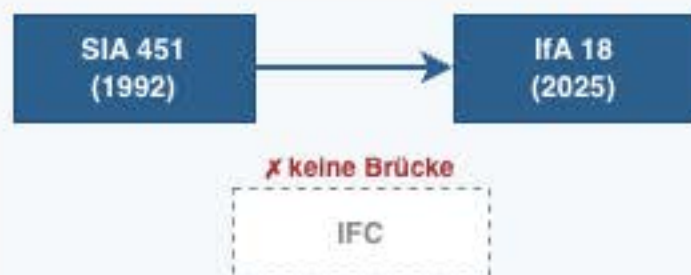


Schema 4.1-A — Drei tieferliegende Defizite jenseits des Medienbruchs

Drei tieferliegende Defizite, die aus dem Stand der Forschung hervorgehen — zusätzlich zum in Kap. 1.2 beschriebenen Medienbruch

Defizit 1

Normative Vertiefung ohne Brücke zu IFC



Die schweizerische LV-Welt vertieft sich weiter — die Lücke zur Modellwelt bleibt offen.

CRB, 2025, S. 4: „Verweis auf Schnittstelle SIA 451 wurde entfernt [...]“

Defizit 2

Diskrepanz Norm ↔ Praxiswahrnehmung des IFC



Phasenabschliessender Snapshot statt kontinuierlich fortgeschriebener Träger

Für bidirektional fortzuschreibende LV (Angebot, Werkvertrag, Schlussrechnung) unmittelbar relevant.

Schöttli, 2023, Anhang S. 133, Interview I5, Pos. 122

Defizit 3

Internationale Bestätigung der Lücke



Verknüpfung erfolgt nahezu ausnahmslos manuell — auch in den international untersuchten Forschungsarbeiten

Die Verknüpfung Kosten ↔ Modell ist ein systemisches Defizit über Landesgrenzen hinaus.

Cassandro et al., 2024b, S. 1293



Anforderungsdefinition (siehe Kap. 4.5)

Schema 4.3-A — Vergleichende Übersicht internationaler Lösungsansätze

Vier Ansatzfamilien aus Forschung und Praxis — Stärken und Limitationen aus Schweizer Perspektive

Ansatzfamilie	Methode	Träger	Stärke	Limitation für Schweiz	Schlüsselquelle
Containerbasierte Verknüpfung 1a. Layer-Container (DIN SPEC 91400, ICDD) <i>Deutschland, Niederlande</i>	Originalformate (CRBX, IFC, Pläne) bleiben unverändert; Verknüpfung wird in einem separaten Container-Layer geführt (BIM-LV-Container nach DIN SPEC 91400, Multi-Model-Container Mefisto, ICDD nach ISO 21597).	Multi-Format-Container (verschachtelte Dateistruktur, je nach Standard)	Native Formate bleiben erhalten; technologisch ausgereift; ISO-standardisiert (ISO 21597).	CRBX nicht vorgesehen; Container bleibt ein paralleler Layer — der Medienbruch wird nicht aufgelöst, sondern nur containerisiert.	<i>Hagedorn (2018)</i> <i>Scherer & Schapke (2014)</i> <i>Al-Sadoon et al. (2023)</i>
Containerbasierte Verknüpfung 1b. Manuelle/halbautomatische Anreicherung (AVA-Welt) <i>Deutschland</i>	DBM werden in spezialisierte AVA-Software geladen; Bauteile werden manuell oder halbautomatisch mit StLB-Bau-Positionen des GAEB ergänzt.	Proprietäre AVA-Software (GAEB-Datenaustausch)	Etablierte Praxis im DACH-Raum; gleicht den in Kapitel 4.2 für die Schweiz beschriebenen Lösungen.	Bestätigt indirekt den Medienbruch: auch in Deutschland erfolgt die Verknüpfung nicht im offenen IFC-Container, sondern in proprietärer Software.	<i>Bormann et al. (2024)</i> <i>Teil II, S. 192</i>
Native IFC-Modellierung der Kostendomäne <i>Italien</i>	Verzicht auf externe Container; Nutzung der IFC-Cost-Domäne selbst. IfcCostItem-Architektur für ressourcen- und prozessbasierten Katalog (Iombardischer Preiskatalog 2024); Validierung an Strukturmodell mit 82 Bauteilen.	IFC4X3 nativ (IfcCostItem, IfcCostValue, IfcCostSchedule)	Ein einziges Trägerformat; vollständig standardkonform; konzeptionell ambitionierteste und jüngste Forschungslinie.	Methode kalibriert auf ressourcen-/prozessbasierten Katalog. NPK ist hingegen leistungsbeschreibend organisiert — dieser Strukturunterschied bestimmt das Mapping (vgl. Kap. 5).	<i>Cassandro et al. (2024b)</i> <i>Gholamzadehmir et al. (2025)</i> <i>Isatto (2021)</i>
Algorithmische Anreicherung <i>USA</i>	Programmatische Befüllung der IFC-Cost-Domäne: 2D-zu-3D-Modellierung, IFC-Mengenermittlung, NLP-gestützte Extraktion aus Bauspezifikationen, automatisierte Kostenzuordnung; ergänzend automatische 4D-Aktualisierung mit Fortschrittsdaten.	IFC nativ + programmatische Toolchain (z.B. NLP, IFC-APIs)	Reduktion der Bearbeitungszeit um 7,1 % (Akanbi, 2021, S. 131, Tabelle 7.1); zeigt, dass die programmatische Befüllung der Cost-Domäne technisch machbar ist.	Native BIM-Autorenwerkzeuge unterstützen das Lesen und Erstellen der IFC-Cost-Klassen heute nicht durchgängig (Cassandro et al., 2024b, S. 1305).	<i>Akanbi (2021)</i> <i>Hamledari et al. (2017)</i>
Integrative Cost-Management-Frameworks <i>Vereinigtes Königreich</i>	Verlagerung des Problems auf die Ebene des Projektmanagements: zentralisiertes Kostenmanagement-System, das Activity-Based Costing und Earned Value Management mit BIM verknüpft, für IPD-Kontexte.	Cost-Management-System auf BIM-Basis (kein einzelnes Trägerformat)	Strategische Relevanz IFC-basierter LV-Strukturen über den Datenaustausch hinaus (faire Risiko- und Gewinnverteilung im IPD-Projekt).	Kein Mapping-Vorbild im engeren Sinn, sondern Anwendungskontext für IFC-basierte LV (5D-BIM, IPD).	<i>Elghaish & Abrishami (2020)</i>

Querschnitt — drei wiederkehrende Limitationen aller Ansätze (unabhängig vom Land, vgl. Kap. 4.3.5)

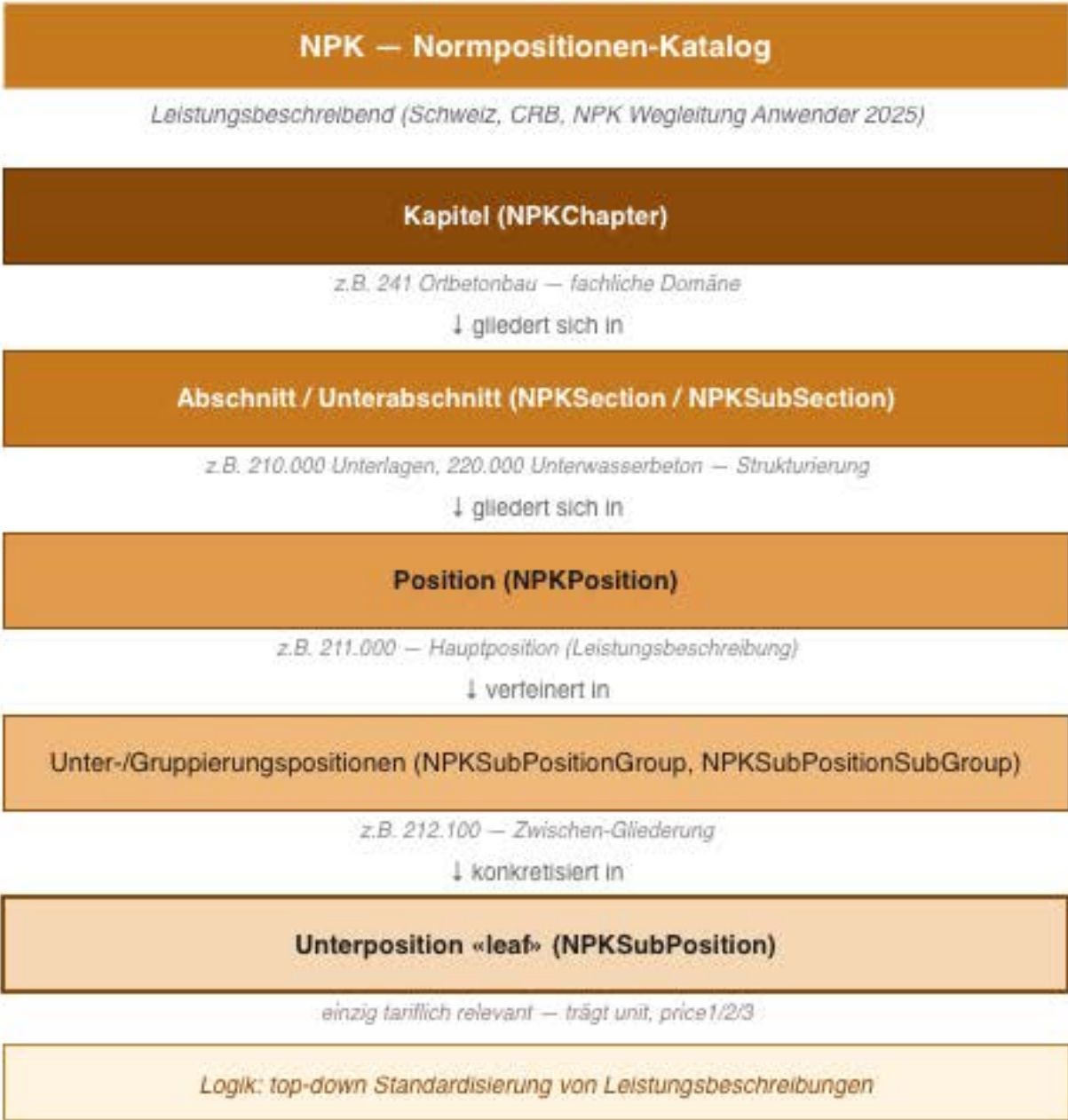
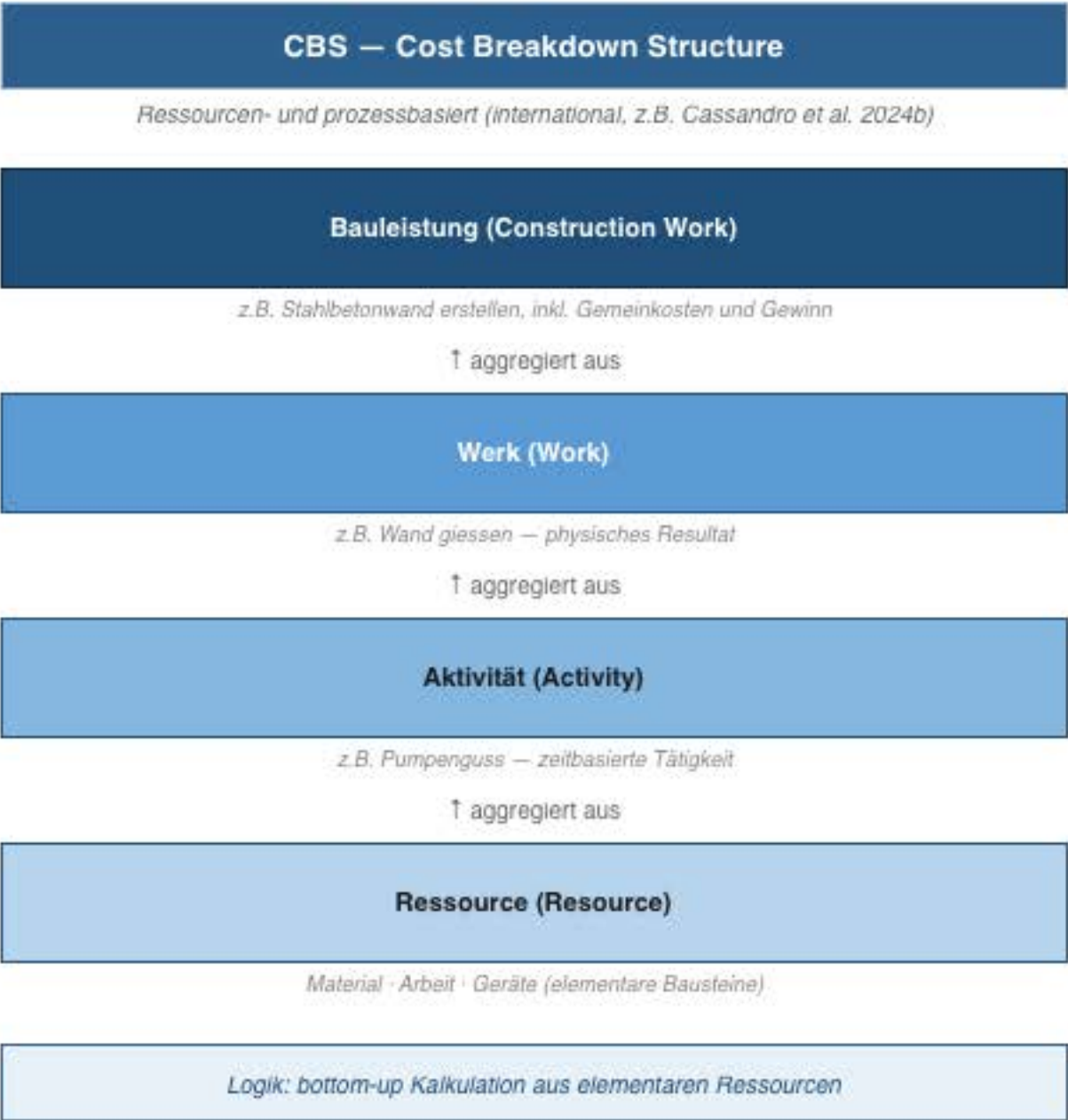
① Fehlende durchgängige Standardisierung der Modell-LV-Verknüpfung	② Native BIM-Software unterstützt das Lesen/Erstellen der IFC-Cost-Klassen nicht durchgängig	③ Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung nicht aus dem IFC-Schema allein lösbar
--	--	---



Implikationen für Anforderungsdefinition (siehe Kap. 4.5) und Mapping-Konzept (siehe Kap. 5)

Schema 4.4-A — Vergleich der zugrundeliegenden Kosten-Ontologien

Ressourcen- und prozessbasierte Logik (CBS, international) vs. leistungsbeschreibende Logik (NPK, Schweiz)



Konsequenz für das Mapping (Kap. 5): Restrukturierung der Logik, nicht nur Feldübersetzung

Schema 4.5-A — Anforderungsmatrix: Kern- und Zusatzanforderungen

Fünf Kernanforderungen (K1–K5) und vier Zusatzanforderungen (Z1–Z4) als Bewertungsgrundlage für das Mapping-Konzept (Kap. 5) und den Proof of Concept (Kap. 6)

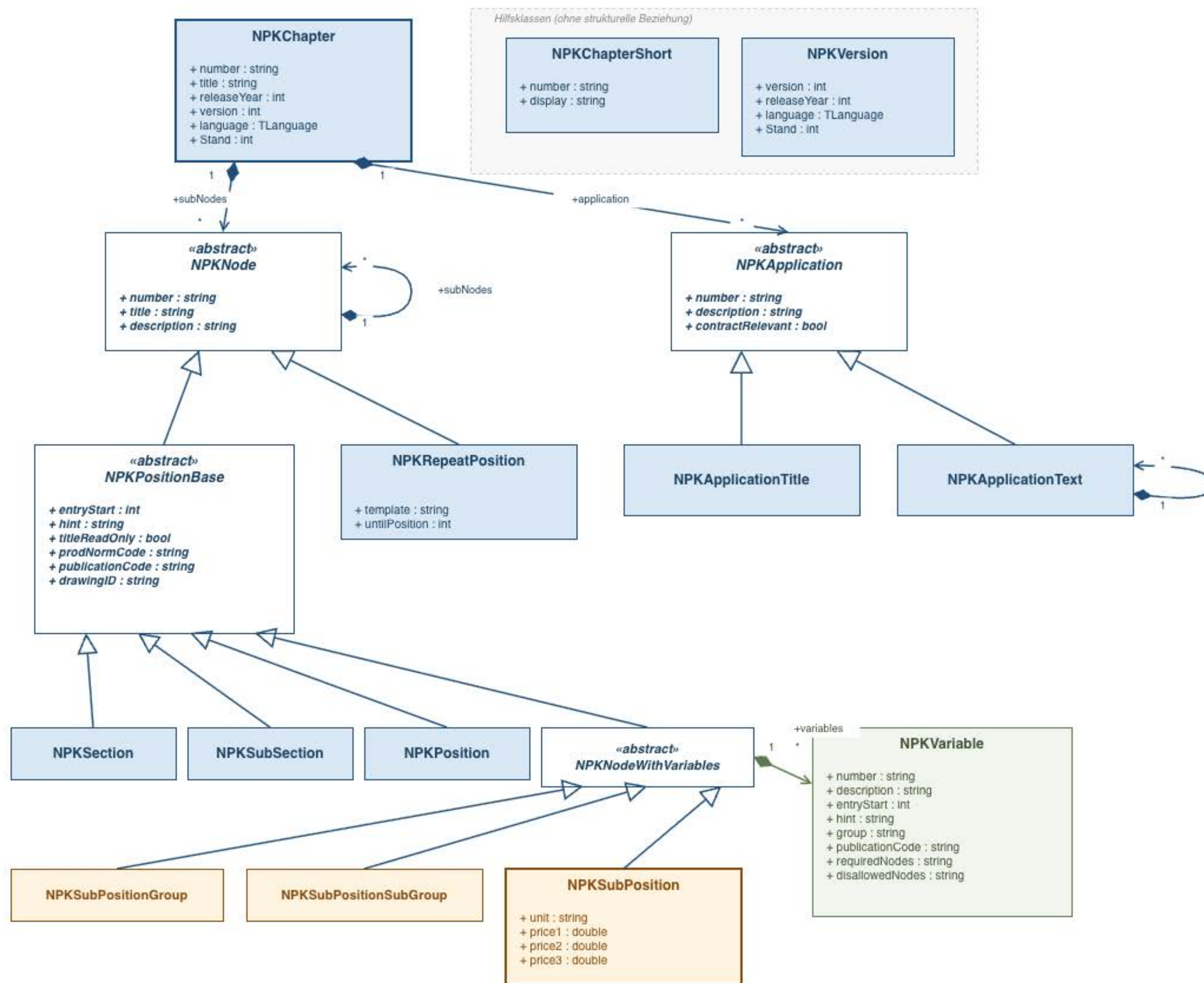
Code		Kurzbezeichnung	Verlangte Bedingung	Bewertungskriterium im PoC
KERNANFORDERUNGEN	K1	Strukturelle Abbildbarkeit	NPK-Hierarchie (NPKChapter → NPKSection → NPKSubSection → NPKPosition → NPKSubPosition) bleibt in der IFC-Repräsentation erhalten und ist aus dem Modell vollständig rekonstruierbar.	Vollständige Rekonstruktion der CRBX-Hierarchie aus der IFC-Datei via IfcRelNests-Kette (vgl. Kap. 6.3, Test 2).
	K2	Round-Trip-Fähigkeit	Der Wandlungsweg CRBX → IFC → CRBX ist verlustfrei. Die semantische Identität zwischen Ausgangs- und Rückübersetzung ist gewährleistet (Position, Mengen, Preise, Bauteilbezüge).	Vollständigkeitsmatrix CRBX → IFC4X3 (vgl. Kap. 6.3.1): jede CRBX-Information mit eindeutiger IFC-Verortung nachgewiesen — manueller Round-Trip-Nachweis. Programmatische Rückübersetzung als Anschlusssthema (vgl. Kap. 9.2).
	K3	Semantische Eindeutigkeit der Bauteilverknüpfung	Eine NPK-Position ↔ ein IFC-Bauteil, eindeutig zuordenbar und überprüfbar. Das IFC-Schema allein reicht dafür nicht (Cassandro et al., 2024b, S. 1318); IDS wäre der methodisch saubere Weg.	Manuelle Validierung via Vollständigkeitsmatrix (Kap. 6.3.1) und Sichtkontrolle im Bonsai-Cost-Editor sowie FZK-Viewer (vgl. Kap. 6.3, Test 3); IDS-Spezifikation wäre methodisch sauberer, ist aber nicht Teil dieser Arbeit (vgl. Abgrenzung Kap. 1.5).
	K4	Rechtssicherheit	Das resultierende LV bleibt IfA-18-konform, in CRBX rückführbar und für die Submissionsphase verwendbar (vergleichbar, rechtssicher). Konformität mit dem IFC-Schema vorausgesetzt.	Schemavalidierung gegen ISO 16739-1 durch buildingSMART IfcValidation Service bestanden (vgl. Kap. 6.3, Test 1); Rückführbarkeit zur CRBX über die Vollständigkeitsmatrix nachgewiesen (vgl. Kap. 6.3.1).
	K5	Mengentransparenz	Herkunft der Mengen ist explizit: modellbasiert direkt (A), modellbasiert indirekt (B) oder konventionell (C) im Sinne von Picarel (2024, S. 13).	ABC-Markierung der Mengenherkunft pro Position im PoC nachweisbar (vgl. Kap. 6.3, Test 3).
ZUSATZANFORDERUNGEN	Z1	Mehrsprachigkeit	Speicherung über NPK-Code mit lokalisierten Beschreibungstexten als Attribut, abrufbar aus einer mehrsprachigen Bibliothek.	Im PoC nicht zwingend umgesetzt; konzeptionelle Empfehlung.
	Z2	Prozessuale Anbindung	Verknüpfung der LV-Positionen mit IfcTask und IfcWorkSchedule für 4D-/5D-Anwendungen und IPD-Kontexte (vgl. Elghaish & Abrishami, 2020).	Im PoC ausserhalb des Fokus; Strukturen konzeptionell vorbereitet (IfcRelAssignsToProcess).
	Z3	Versionierung	Mehrere LV-Versionen — etwa Angebot A und Angebot B für dieselben Positionen — sollen in ein- und demselben Modell führbar sein.	Über mehrere IfcCostSchedule-Instanzen modellierbar; im PoC eine Version (Angebot).
	Z4	Werkzeugunterstützung	Erzeugung und Validierung mit etablierten OpenBIM-Werkzeugen möglich (im Fokus insbesondere IfcOpenShell).	PoC-Implementierung mit IfcOpenShell und Bonsai; Visualisierung im FZK-Viewer.

Bewertungslogik für die Abbildbarkeit einer NPK-Struktur (vgl. Kap. 4.5.3)

✓ Vollständig abbildbar K1 ∧ K2 ∧ K3 ∧ K4 ∧ K5 alle erfüllt	● Partiell abbildbar K1 ∧ K2 ∧ K3 erfüllt, K4 ∨ K5 verletzt	✗ Nicht abbildbar K1 ∨ K2 ∨ K3 verletzt
--	--	--

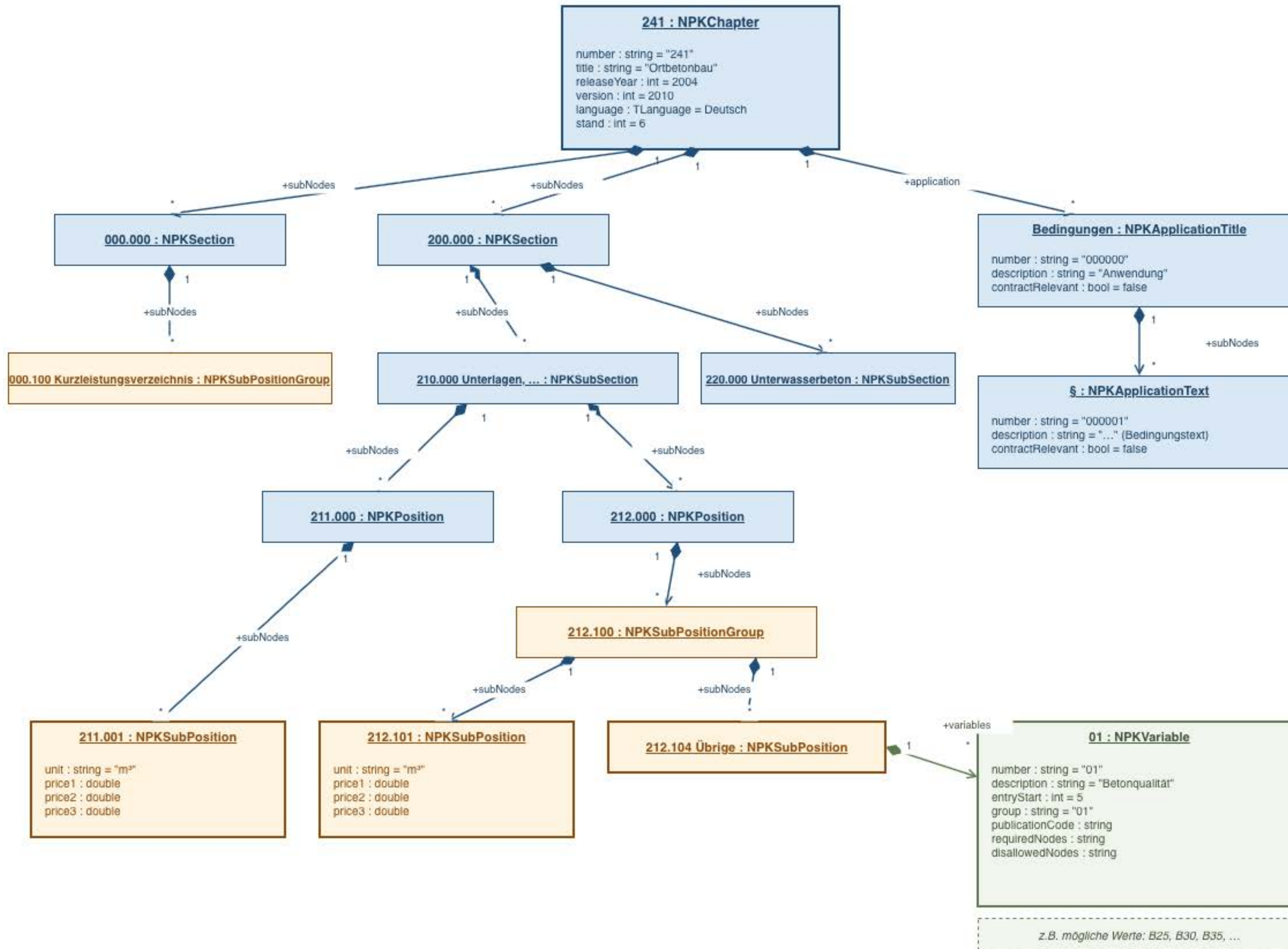
Schema 5.1-A — UML-Klassendiagramm NPK-Bau

Klassendiagramm des CRBX-Datenmodells nach SIA 451 / IfA 18 — Vererbungen, Beziehungen und Attribute der zentralen Klassen



Schema 5.1-B — Objektinstanzdiagramm NPK Kapitel 241 Ortbetonbau

Pädagogisches Beispiel — konkrete Instanziierung des UML-Klassendiagramms (Schema 5.1-A) inkl. NPKVariable und NPKApplicationText



Legende

Unterstrichen =
Objektinstanz

Blau = Hauptstruktur
 Orange = Tarif-relevant
 Grün = NPKVariable

♦ = Komposition
 Raute am Eigentümer,
 Pfeil am enthaltenen Element

Schema 5.2-A — Vollständige Abdeckungsmatrix CRBX ↔ IFC4X3

Tabellarische Gegenüberstellung mit Verlustanalyse über alle drei Abschnitte (A Struktur, B Klassifikation, C Administrativ)

CRBX / NPK-Bau (UML)	Mapping	IFC4X3 (Cost & Resource Domain)	Verlust / Bemerkung
A — Strukturteil: NPK-Positionshierarchie und Mengen			
NPKChapter	↔	IfcCostItem (ObjectType="Chapter")	lossless — Kapitel als Root-CostItem unter einer einzigen IfcCostSchedule mit Namen "NPK" als Wurzel
NPKNode (abstrakt)	↔	IfcCostItem + IfcRelNests (Vererbungsebene und Hierarchie)	lossless — Hierarchie via Liste-Semantik von RelatedObjects rekonstruierbar
NPKSection / NPKSubSection	↔	IfcCostItem (ObjectType="Section" / "SubSection")	lossless mit Konvention — ObjectType-Wert per IDS / Branchenkonvention
NPKPosition	↔	IfcCostItem (ObjectType="Position")	lossless mit Konvention
NPKSubPositionGroup / NPKSubPositionSubGroup	↔	IfcCostItem (ObjectType="SubPositionGroup" / "SubPositionSubGroup") + Hierarchie über IfcRelNests	lossless mit Konvention; Group/SubGroup-Unterscheidung nur über ObjectType-String rekonstruierbar
NPKSubPosition «leaf» (unit, price1, price2, price3)	↔	IfcCostItem (ObjectType="SubPosition") «leaf» + IfcCostValue (AppliedValue ↔ price1) + IfcQuantity*	lossless — einziger tariflich relevanter Knoten; price1 = Angebot, price2 = Werkvertrag, price3 = Schlussrechnung
Vordersatz / Werkvertragsmenge / Aufmass (Mengenangabe pro SubPosition im LV-Kontext)	↔	IfcQuantity* (Area/Volume/Weight/Count/Length) als CostQuantities am IfcCostItem; Subtyp durch unit-Attribut der SubPosition gesteuert	lossless mit Konvention — unit → IfcQuantity-Subtyp; Quelle Bauteil-Qto_* oder manuell
NPKVariable (number, description, group, requiredNodes, disallowedNodes)	↔	CHCRB_NPK_Variables (nutzerdefiniertes Property Set) via IfcRelDefinesByProperties	nutzerdefiniert — kein IFC-Pendant; requiredNodes/disallowedNodes-Logik nicht abbildbar ohne IDS
NPKApplicationTitle / NPKApplicationText (rekursive subNodes, contractRelevant)	↔	IfcCostItem (ObjectType="ApplicationTitle" / "ApplicationText"), Verschachtelung über IfcRelNests	lossless mit Konvention (Cost-Hierarchie-Variante); alternative flache Pset-Lösung wäre lossy bzgl. Hierarchie
B — Klassifikation: NPK-Codes als externe Klassifikation			
NPK-Katalog als Quelle (CRB, Ausgabejahr)	↔	IfcClassification (Source="CRB", Edition="NPK 2024")	lossless — nativer IFC-Mechanismus
NPK-Code pro Knoten (z.B. 241, 212.104, 412.211)	↔	IfcClassificationReference (ItemReference, Name) via IfcRelAssociatesClassification	lossless — werkzeugübergreifend austauschbar; skalierbar auf eBKP-H, BKP
C — Administrativer Teil: Akteure, Metadaten, kommerzielle Konditionen			
Bauherr, Planer, Unternehmer (A-Records)	↔	IfcActor mit IfcOrganization / IfcPerson und IfcActorRole	lossless
Anbieter / Ersteller des LV	↔	IfcRelAssignsToActor mit Name="SubmittedBy" / "PreparedBy" → IfcActor	lossless — native Schedule-Attribute
Submissionsdatum, Gültigkeitsdatum, Eigentumshistorie	↔	IfcCostSchedule.SubmittedOn, .UpdateDate; IfcOwnerHistory	lossless
Sekundärgliederungen (B-Records: Objekt, Etappe)	↔	IfcGroup + IfcRelAssignsToGroup, alternativ Pset oder IFC-Spatial-Structure	nicht im PoC dieser Arbeit umgesetzt; konzeptionell vorgesehen
Mehrwertsteuer (C-Records)	↔	IfcCostValue mit Category="VAT" und ArithmeticOperator=.MULTIPLY. in IfcCostValue-Hierarchie	lossless mit Konvention — Cassandra-Pattern
Pauschalrabatt, Skonto (C-Records)	↔	IfcCostValue mit Category="Discount" und ArithmeticOperator=.SUBTRACT.	lossless mit Konvention
Zahlungsbedingungen, AGB, externe Pläne und Datenblätter	↔	IfcDocumentReference auf externe PDF; alternativ IfcDocumentInformation	semantisch lossy — juristische Texte nicht in Cost-Domäne modellierbar; offene Frage (vgl. Interview I-1 in Kap. 7)

Legende

↔ lossless	verlustfreie, schema-native Abbildung	↔ Konvention	lossless mit ObjectType-/Category-Konvention	↔ nutzerdefiniert	CHCRB_*-Pset oder semantisch lossy
------------	---------------------------------------	--------------	--	-------------------	------------------------------------

Schema 5.3-A — Variantenraum entlang zweier Achsen: neun Kandidaten, drei retenierte Varianten

Achse A (Mapping-Strategie) x Achse B (IFC-Typmodellierung) — gemäss Kapitel 5.3.1

		Achse A — Mapping-Strategie		
		A1 — Direkt CRBX → IFC	A2 — Indirekt CRBX → eBKP-H → IFC	A3 — Hybrid Beide Klassifikationen koexistent
Achse B IFC-Typmodellierung	B1 — ObjectType (USERDEFINED)	V1 retenue V1 = A1·B1 Schlankste Variante. NPK-Knotentyp im ObjectType, Knotennummer im Identification-Attribut. Mit IfcOpenShell und Bonsai problemlos umsetzbar (PoC-fähig). K1 und K5 erfüllt; K3 offen — keine externe Referenzklassifikation, implizite Branchenkonvention.	A2·B1 Doppelte Verlustkette NPK → eBKP-H → IFC. NPK und eBKP-H nicht eindeutig aufeinander abbildbar (vgl. Kap. 4.2 und CRB-Publikation 1026).	A3·B1 Exponentielle Mapping-Komplexität ohne klaren Mehrwert gegenüber A1. ObjectType alleine genügt nicht für die saubere Trennung beider Klassifikationen.
	B2 — CHCRB_NPK_Type (nutzerdefiniert)	V2 retenue V2 = A1·B2 Direktes Mapping erweitert mit dem nutzerdefinierten Property Set CHCRB_NPK_Type. Strukturierte NPK-Typinformationen (Typname, Hierarchieebene, NPK-Code-Fragmente) via IfcRelDefinesByProperties. Reichere Maschinieniesbarkeit als V1, aber proprietäres Schema; schwächer als V3 hinsichtlich Werkzeugunterstützung.	A2·B2 Doppelte Verlustkette (NPK → eBKP-H → IFC) zusätzlich zur Pset-Vermittlung. Komplexe Toolchain bei niedrigem Kosten/Nutzen-Verhältnis.	A3·B2 Exponentielle Komplexität: Hybrid + Pset. Maximale Information, aber hohe Modellgröße ohne klaren Mehrwert gegenüber A1·B2.
	B3 — IfcClassification + Reference	V3 retenue — Lösungskonzept V3 = A1·B3 Direkt + IfcClassification (Source="CRB", Edition="NPK 2024") und IfcClassificationReference pro Knoten via IfcRelAssociatesClassification. Drei Vorteile: schemakonform (nativer IFC-Mechanismus), gut von BIM-Autorensoftware interpretiert, skallerbar auf eBKP-H, BKP und weitere Klassifikationen.	A2·B3 Doppel-Klassifikation (eBKP-H + NPK) zusätzlich zur eBKP-H-Vermittlung. Pflegeaufwand hoch; doppelte Verlustkette bleibt bestehen.	A3·B3 Vollständige Lösung mit beiden Klassifikationen und nativer IFC-Mechanik. Komplexität exponentiell, kein klarer Mehrwert gegenüber V3.

Bewertungsskala

retenierte Variante

V1, V2, V3 — in 5.3.5 (Schema 5.3-B) bewertet

abgelehnt

A2 — doppelte Verlustkette (NPK → eBKP-H → IFC)

suboptimal

A3 — exponentielle Komplexität ohne Mehrwert

Hinweis: Die drei retenierten Varianten V1, V2, V3 sind Stufen der Achse B auf der direkten Mapping-Strategie A1, mit zunehmender semantischer Tiefe und Standardisierung. Die Bewertung gegen K1–K5, Z1–Z4 und die ergänzenden Kriterien Standardisierungs- und Implementierungspotenzial erfolgt in Kapitel 5.3.5 (Schema 5.3-B).

Schema 5.3-B — Bewertungsmatrix V1 / V2 / V3 gegen Anforderungen aus Kapitel 4.5

K1–K5 Kernanforderungen, Z1–Z4 Zusatzanforderungen sowie zwei ergänzende Kriterien — V3 dominiert auf den diskriminierenden Kriterien (5 von 6)

Kriterium	V1 — ObjectType USERDEFINED	V2 — CHCRB_NPK_Type	V3 — IfcClassification (Lösungskonzept retenu)
KERNANFORDERUNGEN K1 – K5			
K1 — Strukturelle Abbildbarkeit NPK-Hierarchie vollständig im IFC darstellbar	identisch erfüllt	identisch erfüllt	identisch erfüllt
K2 — Round-Trip-Fähigkeit CRBX → IFC → CRBX verlustfrei reversibel	teilweise	ja, mit Pset-Konvention	ja, nativ
K3 — Semantische Eindeutigkeit der NPK-Codierung Maschinenlesbarkeit, eindeutige Herkunft	schwach	gut	exzellent
K4 — Rechtssicherheit / IFC-Standardkonformität Konformität zum Schema, Belege durch Validation	hoch	mittel (nutzerdef. Pset)	hoch (nativer Mechanismus)
K5 — Mengentransparenz Herkunft der Mengen explizit nachvollziehbar (ABC)	identisch erfüllt	identisch erfüllt	identisch erfüllt
ZUSATZANFORDERUNGEN Z1 – Z4			
Z1 — Mehrsprachigkeit NPK-Inhalte in Deutsch, Französisch, Italienisch	identisch erfüllt	identisch erfüllt	identisch erfüllt
Z2 — Prozessuale Anbindung (5D-BIM / IPD) Werkzeugübergreifende Interpretierbarkeit	begrenzt	gut	optimal
Z3 — Versionierung Trennung Angebot / Werkvertrag / Schlussrechnung	identisch erfüllt	identisch erfüllt	identisch erfüllt
Z4 — Werkzeugunterstützung openBIM-Werkzeuge, IfcOpenShell, Bonsai	identisch erfüllt	identisch erfüllt	identisch erfüllt
ERGÄNZENDE BEWERTUNGSKRITERIEN (pragmatisch, ohne Anforderungs-Code)			
Standardisierungspotenzial Übertragbarkeit auf buildingSMART / CRB-Strategie	niedrig	mittel	hoch
Implementierungsaufwand Komplexität der Befüllung der Schema-Klassen	niedrig (vorteilhaft)	mittel	höher (mit IfcOpenShell handhabbar)

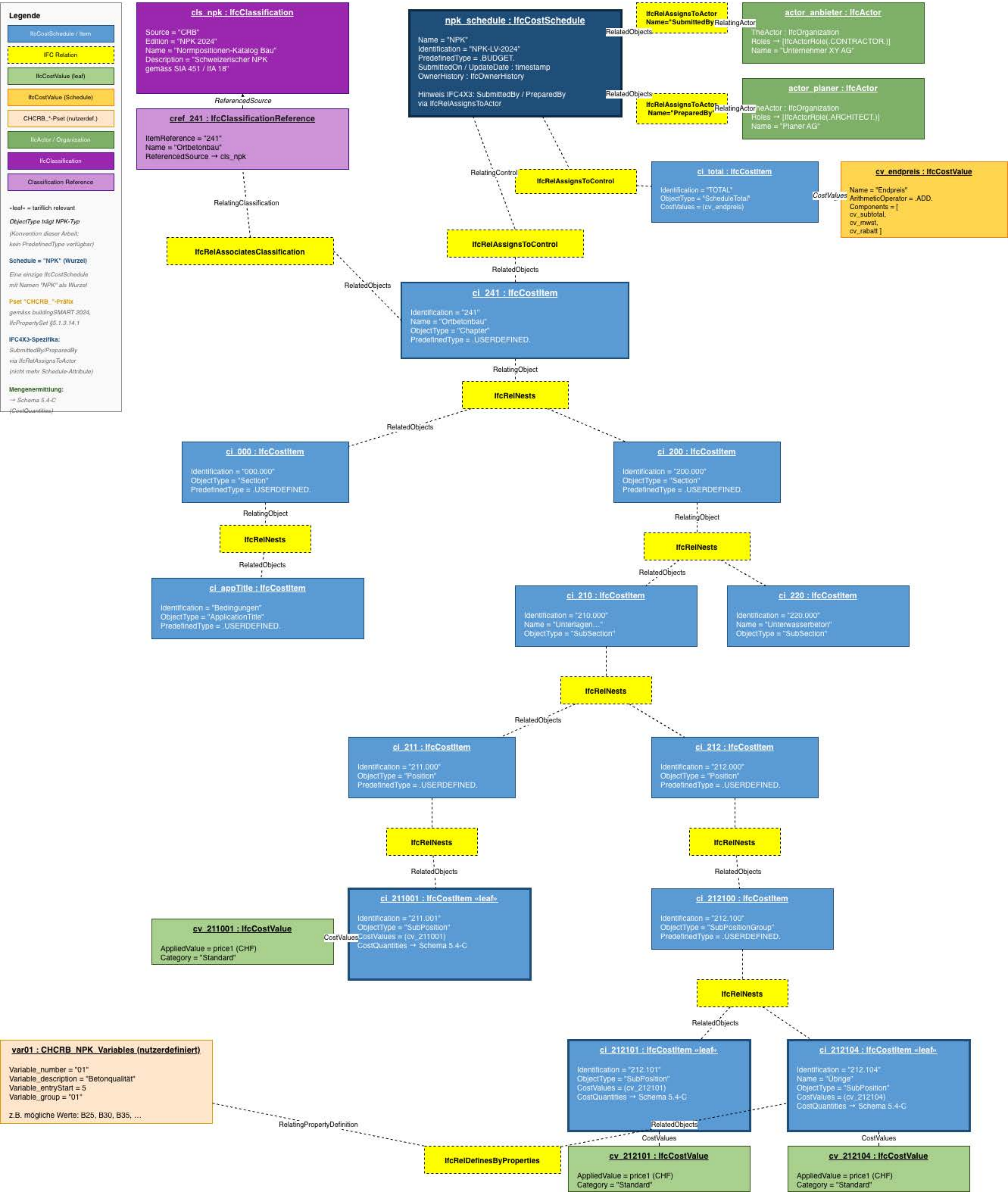
AUSWAHL — V3 ist als Lösungskonzept retenu

Sechs der elf Kriterien werden durch alle drei Varianten gleichermassen erfüllt (K1, K5, Z1, Z3, Z4) sowie K4 für V1 und V3 — treffen damit keine Vorentscheidung. Diskriminierend wirken K2, K3, K4 (gegenüber V2), Z2 sowie die beiden ergänzenden Kriterien. Auf diesen sechs diskriminierenden Kriterien dominiert V3 in fünf Aspekten; der höhere Implementierungsaufwand wird durch Standardkonformität, werkzeugübergreifende Lesbarkeit und Skalierbarkeit auf andere Klassifikationssysteme aufgewogen.

identisch erfüllt	nicht diskriminierend	bestes Resultat	auf dem Kriterium	mittel	brauchbar mit Vorbehalt	schwach / begrenzt	nicht empfehlenswert
-------------------	-----------------------	-----------------	-------------------	--------	-------------------------	--------------------	----------------------

Schema 5.4-A — IFC4X3 Objektinstanzdiagramm: Spiegelung NPK Kapitel 241 (Ortbetonbau)

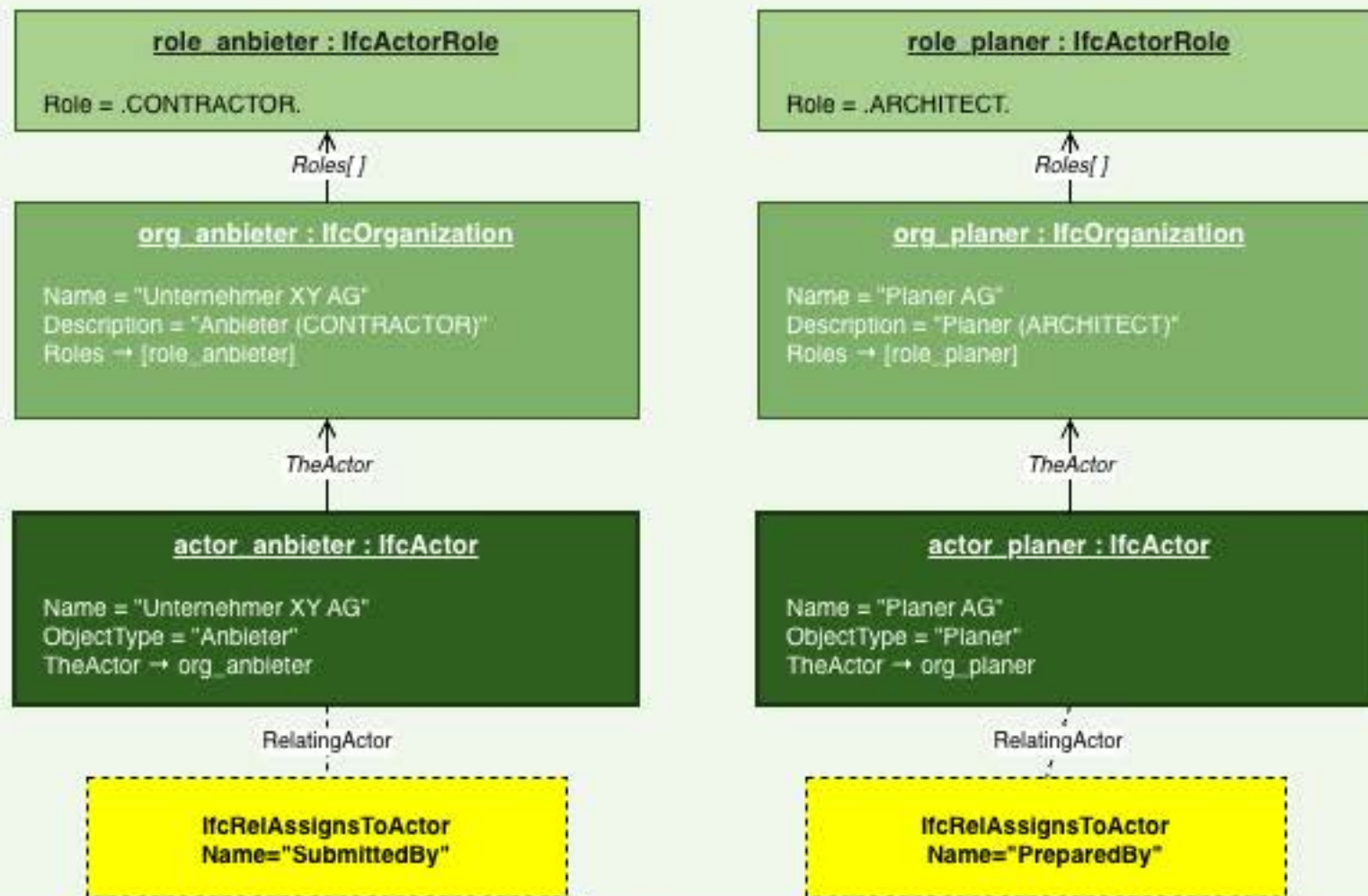
V3-Mapping: IfcCostSchedule = "NPK" (Wurzel), Kapitel als IfcCostItem mit ObjectType="Chapter", NPK-Codes via IfcClassification



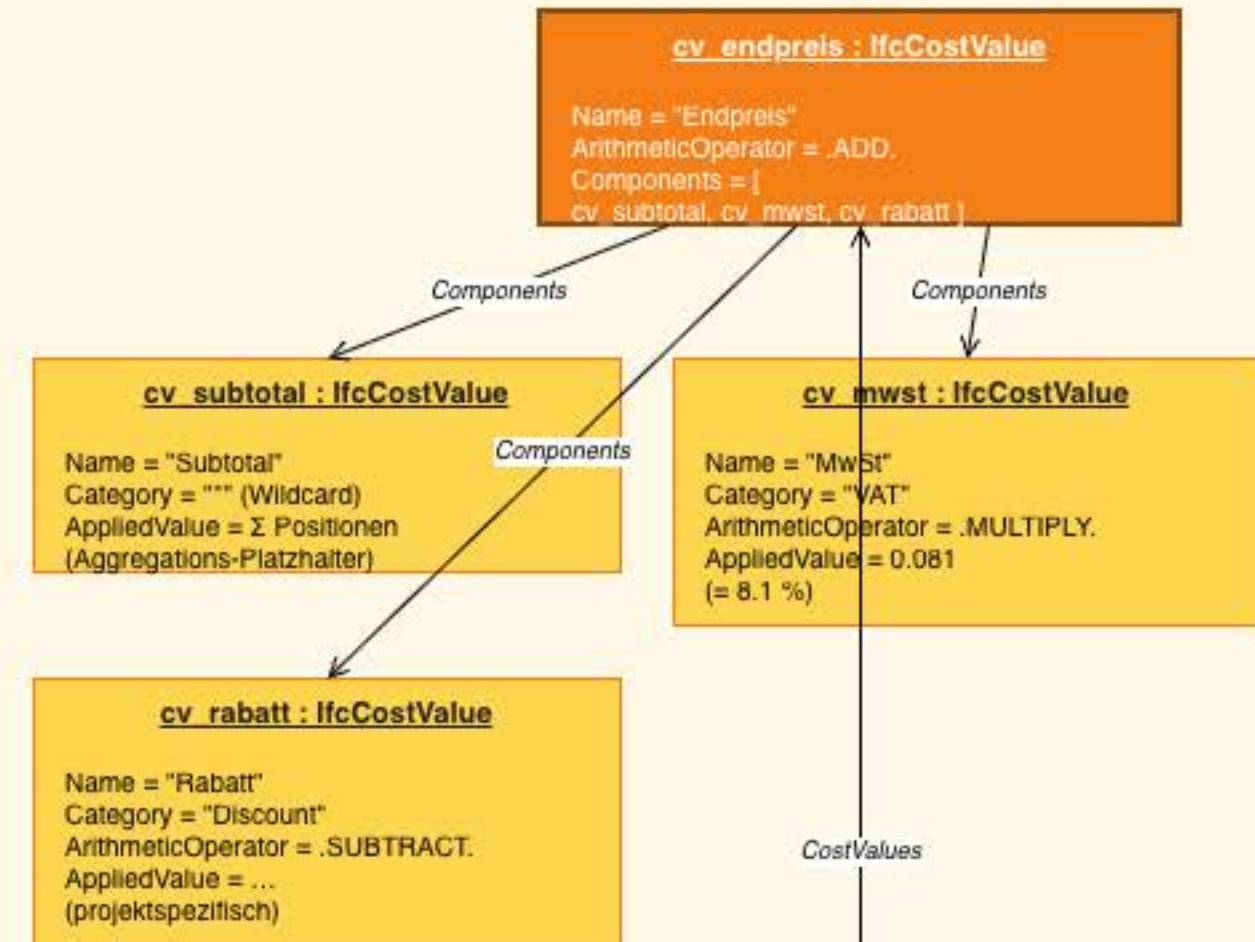
Schema 5.4-B — Administrativer Teil: Akteure und kommerzielle Konditionen

Mapping CRBX A-Records (Akteure) und C-Records (MwSt, Rabatt) auf IFC4X3-Mechanismen

A-Records: Akteure



C-Records: Konditionen — Cassandra-Pattern (2024b, S. 1308) für MwSt und Rabatt



RelatedObjects

RelatedObjects

IfcCostSchedule "NPK"

Name = "NPK"
Identification = "NPK-LV-2024"
PredetinedType = .BUDGET.
SubmittedOn = ISO-Zeitstempel
UpdateDate = ISO-Zeitstempel

RelatingControl

IfcRelAssignsToControl

RelatedObjects

ci_total : IfcCostItem

Identification = "TOTAL"
ObjectType = "ScheduleTotal"
PredetinedType = .USERDEFINED.
CostValues = [cv_endpreis]

Hinweis IFC4X3

In IFC4X3 trägt IfcCostSchedule keine CostValues mehr direkt — die MwSt-Hierarchie ist daher an einem dedizierten IfcCostItem mit ObjectType="ScheduleTotal" verankert. Ebenfalls trägt IfcCostSchedule keine SubmittedBy/PreparedBy-Attribute mehr; die Akteurszuordnung erfolgt über IfcRelAssignsToActor mit Name="SubmittedBy" bzw. "PreparedBy". Die Eigentumshistorie der Datei wird im Standard-IFC-Header über IfcOwnerHistory getragen.

Schema 5.4-C — Element-Verknüpfung und Mengenermittlung: Mechanik generisch

Bauteil → Qto_*BaseQuantities → CostQuantities → IfcCostItem, mit Konvention unit → IfcQuantity-Subtyp

Konkretes Anwendungsbeispiel → Schema 5.4-D (Eichenparkett)

Geometriedomäne (IfcProduct + Mengen)

IfcWall (Beispiel 1)
Name = "Wand_EG_S"

IfcSlab (Beispiel 2)
Name = "Boden_EG"

IfcRelDefinesByProperties

IfcRelDefinesByProperties

RelatingPropertyDefinition

RelatingPropertyDefinition

Qto WallBaseQuantities

MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"

IfcQuantityLength Length
IfcQuantityLength Height
IfcQuantityLength Width
IfcQuantityArea NetSideArea
IfcQuantityArea GrossSideArea
IfcQuantityVolume NetVolume
IfcQuantityVolume GrossVolume

Qto SlabBaseQuantities

MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"

IfcQuantityArea NetArea
IfcQuantityArea GrossArea
IfcQuantityVolume NetVolume
IfcQuantityVolume GrossVolume

Wert aus Qto_* kopiert in CostQuantities
(gesteuert durch Konvention unit → IfcQuantity-Subtyp)

Diese Qto_*BaseQuantities sind im IFC-Standard definiert (buildingSMART) —
der Qto_-Präfix unterliegt keiner Namensrestriktion, da Teil der Spezifikation.

Werte werden vom BIM-Autorenwerkzeug (Bonsai, Revit, ArchiCAD...) aus der Geometrie berechnet.

Kostendomäne (IfcCostItem + Mengen)

IfcCostItem (NPK-SubPosition, Blattebene)

Identification = "XXX.XXX.YYY" (vollständiger NPK-Präfix)
ObjectType = "SubPosition"
Name =
PredefinedType = .USERDEFINED.

CostValues = (IfcCostValue: AppliedValue=Preis CHF/unit)

CostQuantities = (IfcQuantity*: Name=,
Value=)

Konvention dieser Arbeit: NPK-unit → IfcQuantity-Subtyp

NPK unit	IfcQuantity-Subtyp	Typische Quelle (Qto_*)
m²	IfcQuantityArea	NetArea, NetSideArea
m³	IfcQuantityVolume	NetVolume
m, lfm	IfcQuantityLength	Length, Perimeter
kg, t	IfcQuantityWeight	NetWeight
Stk	IfcQuantityCount	(am Bauteil eindeutig)
h, Std	IfcQuantityTime	(meist konventionell C)

Konvention durch das Mapping-Programm (Python/IfcOpenShell) implementiert — vgl. Kapitel 6

Formalisierbar über IDS (vgl. Kapitel 5.6) — nicht Gegenstand dieser Arbeit

RelatedObjects

RelatingControl

Element-Verknüpfung über IfcRelAssignsToControl

Mengentransparenz nach Picarel (2024, S. 13) — ABC-Klassifikation

A — modellbasiert direkt

Menge existiert nativ als Qto_*BaseQuantities am Bauteil; ohne Transformation übernehmen

B — modellbasiert indirekt

Menge muss aus Bauteilattributen berechnet werden (z.B. Stossfugenlängen aus Wandkanten)

C — konventionell

Menge entstammt externer Annahme (z.B. Stundenpauschalen, Logistikkosten),
nicht aus dem Modell

ABC-Provenance dokumentierbar via CHCRB_NPK_Variables oder dediziertes cPset CHCRB_QuantityProvenance — Mengentransparenz nach K5 explizit erfüllt.

Schema 5.4-D — Anwendungsbeispiel Eichenparkett (NPK 412.211, Variante a)

Konkrete Ausprägung des V3-Mappings auf Basis des PoC-Datensatzes EicheParkett_offre_A_V3.ifc — eine aktive Position pro Bauteil, zwei latente Alternativen

Variante a : eine aktive Position pro Bauteil (eine IfcRelAssignsToControl-Beziehung pro Slab)

Strukturkontext → Schema 5.4-A

Kostendomäne — IfcCostItem 412.211 (aktive Position) + 2 latente Alternativen

Parent-Hierarchie via IfcRelNests: 664 → 400 → 410 → 412 → .200 → .210 → .211 (vgl. Schema 5.4-A)

IfcCostItem 412.211 ★ AKTIV

Identification = "664.400.410.412.200.210.211"
ObjectType = "SubPosition"
Name = "Eiche 1. Sortierung"
PredefinedType = .USERDEFINED.

CostValues = (cv_211)
CostQuantities = (qty_211)

CostValues

cv_211 : IfcCostValue

Name = "Standard"
Category = "Standard"
AppliedValue = IfcMonetaryMeasure(120.0)
— Einheitspreis 120 CHF/m²

CostQuantities

qty_211 : IfcQuantityArea

Name = "NetArea"
AreaValue = 154.999
— aus Qto_SlabBaseQuantities kopiert
(Konvention unit="m²" → IfcQuantityArea)

aus Qto kopiert

RelatedObjects

IfcRelAssociatesClassification

RelatingClassification

cref_211 : IfcClassificationReference

Identification = "664.400.410.412.200.210.211"
Name = "Eiche 1. Sortierung"
ReferencedSource → cls_npk

ReferencedSource

cls_npk : IfcClassification

Source = "CRB"
Edition = "NPK 2024"
Name = "Normpositionen-Katalog Bau"
Description = "Schweizerischer NPK
gemäss SIA 451 / IIA 18"

IfcCostItem 412.212 ◦ latent

Identification = "664.400.410.412.200.210.212"
Name = "Eiche 2. Sortierung", CostValues = 95.0 CHF/m²
keine IfcRelAssignsToControl zum Slab

IfcCostItem 412.213 ◦ latent

Identification = "664.400.410.412.200.210.213"
Name = "Esche / Buche", CostValues = 78.0 CHF/m²
keine IfcRelAssignsToControl zum Slab

★ AKTIV: mit Slab über IfcRelAssignsToControl verknüpft (Variante a) ◦ latent: im Schedule "NPK" vorhanden, aber keine Bauteilverknüpfung

Geometriedomäne — IfcSlab #1275

IfcSlab #1275

Name = "slab"
GlobalId = "1881uRz9T5XR4T2IgsX9vd"
+ Geometry (representation)

IfcRelDefinesByProperties

RelatingPropertyDefinition

Qto_SlabBaseQuantities

MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"

IfcQuantityArea NetArea = 154.999 m² ← Quelle
IfcQuantityArea GrossArea = 154.999 m²
IfcQuantityVolume NetVolume = 31.000 m³
IfcQuantityVolume GrossVolume = 31.000 m³
IfcQuantityLength Length = 15.500 m
IfcQuantityLength Width = 10.000 m
IfcQuantityLength Depth = 0.200 m
IfcQuantityLength Perimeter = 51.000 m

IfcRelAssignsToControl

RelatingControl = ci_211 / RelatedObjects = [slab #1275]

Erfüllung der Kernanforderungen aus Kapitel 4.5

K1

Strukturelle Abbildbarkeit: NPK-Hierarchie 664 → ... → .211 vollständig über IfcRelNests rekonstruierbar

K2

Round-Trip: Vollständigkeitsmatrix in 6.3.1 weist jede CRBX-Information eindeutig im IFC-Modell nach

K3

Semantische Eindeutigkeit: Bauteil-Position-Zuordnung via IfcRelAssignsToControl formal eindeutig

K4

Rechtssicherheit: schematische Konformität durch IfcValidation Service bestätigt (vgl. 6.3)

K5

Mengentransparenz: IfcQuantityArea mit Name-Annotation und expliziter Quelle Qto_SlabBaseQuantities

Resultierender Betrag: 120,0 CHF/m² × 154,999 m² = 18 599,88 CHF

Schema 6.2-A — Toolchain des Proof of Concept

Bonsai (Geometrie) → IfcOpenShell-Skript (V3-Anreicherung) → IfcValidation Service → Bonsai (visuelle Kontrolle)

Resultat detailliert → Schema 5.4-D

Schritt 1 — Initialisierung

Bonsai (ex-BlenderBIM)

- IfcSlab modellieren
- Qto_SlabBaseQuantities automatisch
- IfcProject → IfcSite → IfcBuilding → IfcBuildingStorey
- Export IFC4X3_ADD2

EicheParkett_offre_A.ifc

Schritte 2–4 — V3-Anreicherung

IfcOpenShell 0.8 (Python)

poc_eicheparkett_v3.py:
• Cleanup alter Cost-Strukturen (defensiv — falls aus Vorimport)
Schritt 2 — V3-Struktur:
Akteure · Klassifikation · Schedule
MwSt-Aggregator · Akteurszuordnung
Schritt 3 — NPK-Hierarchie:
664 → 400 → 410 → 412 → ... → .211
Schritt 4 — Element-Verknüpfung:
Variante α (412.211 aktiv, .212/.213 latent)

EicheParkett_offre_A_V3.ifc

*Iteration bei Findings
(Zb. QTY001, IFC106)*

Test 1 — Schemavalidierung (K4)

IfcValidation Service (bSI)

validate.buildingsmart.org

- Schema-Konformität (ISO 16739-1)
- GUID-Eindeutigkeit
- Pflichtattribute
- Where-Regeln (Gherkin)
- Referenzauflösung

HTML-Validierungsbericht

Tests 2–3 — visuelle Kontrolle (K1, K3, K5)

Bonsai (Cost-Editor)

- Hierarchie 664 → ... → .211
- Element-Verknüpfung am Slab
- CostValues + CostQuantities
- Klassifikationsreferenzen
- Akteursangaben
- Rechnerische Konsistenz
(120 × 154,999 = 18 599,88)

Bestätigte V3-Konformität

Cleanup-Funktion 'cleanup_old_cost_structure(ifc)': löscht IfcCostSchedule / IfcCostItem / IfcCostValue aus möglichen Vorimporten — defensiv, gewährleistet einen sauberen Ausgangszustand vor dem Aufbau der V3-Struktur.

Validierung der Anforderungen K1–K5 und Z4 → siehe Schema 5.4-D (K1–K5 am Anwendungsbeispiel) und Kapitel 6.3 (drei Tests mit Round-Trip-Nachweis über die Vollständigkeitsmatrix in 6.3.1).

Akzeptierte Grenze (Kapitel 6.4): Warning GRF003 (fehlende Georeferenzierung) — bewusster methodischer Verzicht; nicht relevant für die Mapping-Logik.

Schema 6.3-A — Iterationen der Schemavalidierung: Erstprüfung → Iteration → Bestätigung

Iteratives Vorgehen am Beispiel EicheParkett_offre_A_V3.ifc — Ausweis von K4 (Rechtssicherheit) auf Schemaebene (validate.buildingsmart.org)

Workflow-Kontext → Schema 6.2-A

① Erstprüfung — Befunde identifiziert

Erste Version des IFC-Datensatzes

QTY001 (Error)

IfcElementQuantity #1299 Qto_SlabBaseQuantities
Expected: MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"
Observed: leer (\$)

→ Verstoß gegen Schema-Regel

IFC106 (Warning)

IfcActorRole #1348, #1351
Expected: Referenziert von einer Rooted Entity
Observed: keine Referenz

→ Resource Entity ohne Owner

GRF003 (Warning)

IfcBuilding #37
Expected: mindestens 1 IfcCoordinateReferenceSystem
Observed: keine

→ keine Georeferenzierung

② Reaktion — Korrektur oder Akzeptanz

Anpassung von poc_eicheparkett_v3.py bzw. methodische Entscheidung

Fix für QTY001

löst aus `fix_quantity_sets():`

Für jedes Qto_*-ElementQuantity:
MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"

Fix für IFC106

`create_actors():`

IfcOrganization erhält Roles=[IfcActorRole]
→ Rolle wird durch Organization referenziert

Akzeptierte Grenze für GRF003

Georeferenzierung ist für das Szenario
nicht relevant — der Slab liefert dieselbe
NetArea unabhängig vom CRS.

Dokumentiert in Kapitel 6.4 als Grenze.

③ Zweiter Durchlauf — bestätigt

EicheParkett_offre_A_V3.ifc (korrigiert)

✓ QTY001 behoben

erzeugt Qto_SlabBaseQuantities trägt jetzt
MethodOfMeasurement = "BaseQuantities"

→ Schema-Regel erfüllt

✓ IFC106 behoben

IfcActorRole jetzt referenziert über
IfcOrganization.Roles

→ Resource Entity korrekt verankert

○ GRF003 verbleibt

Warnhinweis bleibt als bewusste
methodische Entscheidung erhalten.

K4 schemakonform unter dieser Bedingung.

Fazit Test 1 — Schemakonformität (K4)

K4 erfüllt: zweiter Durchlauf bestätigt Schemakonformität nach Korrektur von QTY001 und IFC106. GRF003 verbleibt als dokumentierte Grenze (Kapitel 6.4).

Schema 6.3-B — Vollständigkeitsmatrix CRBX ↔ IFC4X3

Tabellarischer Nachweis am Datensatz EicheParkett_offre_A_V3.ifc — 39 CRBX-Informationen mit ihrer Verortung im IFC-Datensatz, gegliedert in fünf Blöcke A bis E

Strukturkontext → Schema 5.4-A · Element-Verknüpfung → Schema 5.4-D · Validierung K4 → Schema 6.3-A

K2 — Round-Trip-Nachweis (Informationsvollständigkeit)

Für jede der 39 CRBX-Informationen existiert eine eindeutige IFC4X3-Verortung — verlustfreie Abbildbarkeit in beide Richtungen ist damit nachgewiesen.

CRBX-Information	Wert (Beispielfall)	IFC4X3-Entität	IFC-Attribut	IFC-Wert
Block A — Administrativer Teil (A- und C-Records)				
Dokumenttyp	Submission / Angebot	IfcCostSchedule	PredefinedType	.BUDGET.
LV-Name	NPK	IfcCostSchedule	Name	"NPK"
LV-Identifikator	NPK-LV-2024	IfcCostSchedule	Identification	"NPK-LV-2024"
Submissionsdatum	2026-05-21T12:38:41	IfcCostSchedule	SubmittedOn	"2026-05-21T12:38:41"
Aktualisierungsdatum	2026-05-21T12:38:41	IfcCostSchedule	UpdateDate	"2026-05-21T12:38:41"
Anbieter (Organisation)	Unternehmer XY AG	IfcOrganization	Name	"Unternehmer XY AG"
Anbieter-Rolle	Unternehmer	IfcActorRole (via Roles)	Role	.CONTRACTOR.
Anbieter ↔ Schedule	—	IfcRelAssignsToActor	Name, RelatingActor	"SubmittedBy", IfcActor Anbieter
Planer (Organisation)	Planer AG	IfcOrganization	Name	"Planer AG"
Planer-Rolle	Architekt	IfcActorRole	Role	.ARCHITECT.
Planer ↔ Schedule	—	IfcRelAssignsToActor	Name, RelatingActor	"PreparedBy", IfcActor Planer
Mehrwertsteuersatz	8,1 %	IfcCostValue MwSt	Category, ArithmeticOperator, AppliedValue	"VAT", .MULTIPLY., 0.081
MwSt-Aggregation	Endpreis = Subtotal + MwSt	IfcCostValue Endpreis	Category, ArithmeticOperator, Components	"TotalIncludingVAT", .ADD., [Subtotal, MwSt]
Subtotal-Platzhalter	Aggregation aller Positionen	IfcCostValue Subtotal	Category	"*" (Wildcard)
Block B — NPK-Katalog und Klassifikation (B-Klassifikation V3)				
NPK-Herausgeber	CRB	IfcClassification	Source	"CRB"
NPK-Ausgabe	NPK 2024	IfcClassification	Edition	"NPK 2024"
NPK-Vollname	Normpositionen-Katalog Bau	IfcClassification	Name	"Normpositionen-Katalog Bau"
NPK-Code pro Knoten	412.211	IfcClassificationReference	Identification	"664.400.410.412.200.210.211"
NPK-Titel pro Knoten	Eiche 1. Sortierung	IfcClassificationReference	Name	"Eiche 1. Sortierung"
Verknüpfung Code ↔ Position	—	IfcRelAssociatesClassification	RelatingClassification, RelatedObjects	Reference → CostItem (n=9)
Block C — Fachlicher Teil: NPK-Hierarchie (G-Records)				
Kapitel 664 — Bodenbeläge aus Holz	NPKChapter	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664", "Chapter", „Bodenbeläge aus Holz.."
Abschnitt 400 — Fertigparkettböden	NPKSection	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400", "Section", „Fertigparkettböden"
Unterabschnitt 410 — Mehrschichtparkett	NPKSubSection	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400.410", "SubSection", „Mehrschichtparkett"
Position 412 — Verlegen	NPKPosition	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"664.400.410.412", "Position", „Mehrschichtparkett verlegen.."
Gruppe .200 — Auf Zementestrich kleben	NPKSubPositionGroup	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"_200", "SubPositionGroup", „Auf Zementestrich kleben"
Untergruppe .210 — Versiegelt, d 13–15 mm	NPKSubPositionSubGroup	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"_210", "SubPositionSubGroup", „Versiegelt.."
Unterposition .211 — Eiche 1. Sortierung (aktiv)	NPKSubPosition	IfcCostItem	Identification, ObjectType, Name	"_211", "SubPosition", „Eiche 1. Sortierung"
Unterposition .212 — Eiche 2. Sortierung (latent)	NPKSubPosition	IfcCostItem	dito	"_212", "SubPosition", „Eiche 2. Sortierung"
Unterposition .213 — Esche/Buche (latent)	NPKSubPosition	IfcCostItem	dito	"_213", "SubPosition", „Esche / Buche"
Hierarchische Beziehung Eltern → Kinder	subNodes	IfcRelNests	RelatingObject, RelatedObjects	n=8 (eins pro Hierarchieebene)
Block D — Tarif: Preise und Mengen pro Unterposition				
Einheit Position .211	m²	IfcCostValue (.211) + IfcQuantityArea	Subtyp-Wahl + Name	IfcQuantityArea "NetArea"
Preis 1 (Angebot) Position .211	120 CHF/m²	IfcCostValue (am .211)	AppliedValue, Category	IfcMonetaryMeasure{120.0}, "Standard"
Preis 1 Position .212	95 CHF/m²	IfcCostValue (am .212)	AppliedValue	IfcMonetaryMeasure{95.0}
Preis 1 Position .213	78 CHF/m²	IfcCostValue (am .213)	AppliedValue	IfcMonetaryMeasure{78.0}
Vordersatz / Werkvertragsmenge Position .211	154,999 m²	IfcQuantityArea in CostQuantities von .211	Name, AreaValue	"NetArea", 154.999980449677
Block E — Element-Verknüpfung (Variante a)				
Bauteilbezug Position .211 (aktiv)	NPK 412.211 ↔ Slab	IfcRelAssignsToControl	RelatingControl, RelatedObjects	IfcCostItem .211, IfcSlab #1275
Bauteilbezug Position .212 (latent)	keine	—	—	keine Beziehung im Modell — Variante a: latent
Bauteilbezug Position .213 (latent)	keine	—	—	keine Beziehung im Modell — Variante a: latent
Bauteilmenge (Quelle der Mengenangabe)	154,999 m²	Qto_SlabBaseQuantities am IfcSlab	IfcQuantityArea.NetArea	154.999980449677 (MethodOfMeasurement="BaseQuantities")

Eine programmatische Rückübersetzung IFC → CRBX ist die mechanische Inverse dieser Matrix und in Kapitel 9.2 als Anschlusssthema formuliert.

Anhang 6: CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.crbx (siehe Anhangdatei)

Anhang 7: A7_CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.e1s (siehe Anhangdatei)

Anhang 8: A8_CRB_LunchSession_Muster-Offerte_1.pdf (siehe Anhangdatei)

Anhang 9: Interview 1 Zusammenfassung

Allgemeine Einschätzung des Lösungskonzepts

Das in dieser Arbeit verfolgte Konzept, sämtliche LV-Inhalte über IFC zu transportieren, wird ausdrücklich als „sehr gute Idee“ bewertet.

Hervorgehoben wird insbesondere die Vollständigkeit der Abbildung: nicht nur die NPK-Positionsstruktur, sondern auch die heute oft nicht modellierten Bestandteile — Konditionen, Rabatte, Mehrwertsteuer sowie externe Dokumente und Bilder — werden mitgedacht.

Der gewählte Lösungsweg wird als „guter Weg“ und insgesamt als „gut gelöst“ charakterisiert.

Bewertung gegenüber bisherigen Sorba-internen Ansätzen

Sorba hat in der Vergangenheit selbst versucht, eine direkte Verknüpfung zwischen Bauteilen und Positionen über das E1S-Format umzusetzen.

Der Nachteil dieses bisherigen Ansatzes: Sender und Empfänger mussten weiterhin zwei separate Dateien parallel führen (CRBX und IFC).

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Konsolidierung in einer einzigen IFC-Datei wird im Vergleich als methodisch interessanter eingestuft, weil sie den Medienbruch auf der Trägerebene auflöst.

Schwächen des heutigen Austauschs (E1S, CRBX-Schnittstelle)

Die heutige Schnittstellensituation ist aus Anbietersicht strukturell unbefriedigend:

Jeder Softwarehersteller müsste individuell eine Anbindung implementieren.

Eine zentralisierte Lösung — etwa indem das CRB einen Volltext im NPK kontrolliert und für E1S aufbereitet — wäre wünschenswert, ist heute aber nicht etabliert.

Der Aufbau des Leistungsverzeichnisses innerhalb der Bauadministrationssoftware ist aufwendig und fehleranfällig.

Konkrete Schwachstellen des E1S-Formats:

Die Zuordnung der Mehrwertsteuer zu einzelnen Positionen ist im E1S nicht sauber abbildbar.

Konditionen (Rabatte, Sonderzuschläge) lassen sich nur eingeschränkt strukturiert mitführen.

Round-Trip-Reversibilität und Informationsverlust

Stähli sieht keinen erkennbaren Informationsverlust in der hier verfolgten Lösung gegenüber dem heutigen CRBX-Workflow.

Bemerkenswert ist seine Beobachtung zur Persistenz von Mappings:

In der Sorba-Software können heute manuelle Mappings zwischen Modell und Positionen erzeugt werden.

Diese Mappings gehen jedoch bei jedem Export verloren.

Die in dieser Arbeit verfolgte Persistenz der Verknüpfung in einer offenen IFC-Datei wird daher als entscheidender Mehrwert eingestuft.

Potenzial aus Anwendersicht

Aus Sicht von Bauunternehmern und Architekten wäre eine durchgängige IFC-basierte Verknüpfung zwischen Modell, Positionen, Konditionen und Akteuren „ein Traum“.

Auch für die Softwareanbieter selbst wäre eine solche Lösung wünschenswert — die heutige Situation wird als suboptimal empfunden.

Der Schritt würde „die Baubranche weiterbringen“.

Hindernisse und kritische Voraussetzungen

Automatisches Mapping zwischen Modell und Positionen ist technisch schwierig und — solange die Mapping-Information beim Export verloren geht — wirtschaftlich nicht lohnend.

Das eigentliche Adoptionshindernis liegt nicht im Schema, sondern in der Branchenkoordination:

Sämtliche relevanten Softwareanbieter müssten einen neuen Standard akzeptieren und implementieren.

Solange einzelne Hauptakteure nicht mitziehen, bleibt der bidirektionale Austausch eine theoretische Möglichkeit.

Stähli beurteilt die Adoptionschancen realistisch: die Wahrscheinlichkeit einer breiten Akzeptanz wird als gering eingeschätzt — nicht aus technischen, sondern aus organisatorischen Gründen.

Offene Punkte zur Nachfrage

Die Behandlung externer Dokumente und Bilder (etwa Pläne, technische Datenblätter) wurde im Gespräch angesprochen, aber nicht abschliessend geklärt — Klärungsbedarf bleibt: Sollen sie als `IfcDocumentReference` im selben IFC-Container geführt oder als externe Referenz mit URL belassen werden?

Anhang 10: Interview 2 Zusammenfassung

Rückmeldung: FHNW Interview Msc

Zeit: Dienstag, 19. Mai 2026 13:00-13:55 (UTC+01:00)

An: Michael Nussbaumer; Jérémy Rodriguez Cordova (s); Marcel Chour

Ort: Microsoft Teams-Besprechung

Feedback zur Arbeit und Präsentation von Jérémy Rodriguez Cordova

- Sehr relevantes Thema mit direktem Bezug zu Effizienz und Kostensicherheit im Bauwesen
- Gute Einordnung in den Schweizer Kontext (BIM-Strategie der schweizerischen Eidgenossenschaft)
- Verständliche Darstellung der Rollen von IFC sowie NPK/CRBx in Bezug zu Klassifikationen und Spezifikation.
- Spannender und praxisnaher Ansatz, die Stärken von IFC (Geometrie/Daten) und NPK (Semantik) zu kombinieren
- Klare Struktur und gut nachvollziehbare Zusammenstellung der Schemas
- Insgesamt eine solide, gut aufgebaute Arbeit mit erkennbarem Mehrwert für die Praxis
- Ergänzend: Einzelne Informationen aus dem CRBx-Format (z. B. Objektgliederung und Kostenart-Gliederung) sind in den aktuellen Schemas noch nicht enthalten. Diese spielen jedoch eher eine Nebenrolle und sollten gut integrierbar sein
- Der PoC zeigt eindeutig die Machbarkeit auf, wie Klassifikations- und Spezifikationsinformationen über das IFC-Schema ausgetauscht werden können. Für das weitere Vorgehen muss dieser PoC an weiteren Beispielen einem Belastungstest unterzogen werden und an weiteren Gewerken ausgetestet werden. Grundsätzlich stimmt aus unserer Sicht der eingeschlagene Weg.

Abschliessend möchte ich festhalten, dass es sich um eine sehr gelungene und zukunftsgerichtete Arbeit handelt. Besonders beeindruckend ist die Fähigkeit, zwei etablierte, aber bisher getrennte Systeme sinnvoll zusammenzudenken. Vielen Dank für das Engagement und die spannende Präsentation.

Anhang 11: Einverständnis erklärung

Einverständniserklärung Interview MSc FHNW VDC

Unterschriften: **n|u**
 Institut für Digitalisierung und Bauwesen
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der akademischen Arbeit von Jérémy Rodriguez

Studennummer: Lukas Schläpfer

Kontaktinformationen: FHNW Campus Muttentz
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz
 Tel: 061 228 55 55
 Mail: Studierendengruppe_VDC2_digital@fhnw.ch

Informationen zur Studie: Der Masterstudiengang MSc VDC ist ein interdisziplinäres Studium, welches eine theoretische und praktische Auseinandersetzung mit dem digitalen Bauen, Bauen und Bewohnen von Bauwerken bietet. Im Rahmen der hier durchgeführten Studie setzen wir uns mit der folgenden Frage auseinander: „Nutzung von ICT für den Informationsaustausch bei Auszubereitenden: Mehrwertverständnis“.

Teilnahme: Ihre Teilnahme an der Studie beinhaltet ein qualitatives Interview von ungefähr einer Stunde, das aufgezeichnet wird. Ihnen werden Fragen zu den Themen: ICT, CH, VDC, VDC und V.

Rückruf von der Teilnahme oder Widerruf der Einwilligung: Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie haben jederzeit das Recht, von der Teilnahme an der Studie zurückzutreten, ohne dafür einen Grund anzugeben. Sie haben ebenfalls das Recht, Ihre Einwilligung zu widerrufen, und Ihre persönlichen Daten löschen zu lassen.

Datenschutz: Die im Rahmen der Studie gesammelten Daten werden nur für diese Studie genutzt. Ihr Name oder andere Informationen zu Ihrer Identität werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Ihr Beitrag wird in anonymisierter oder pseudonymisierter Form sicher aufbewahrt und wird nach Abschluss der Studie gelöscht.

Einverständniserklärung: Ich habe die Informationen in dieser Erklärung gelesen und verstanden. Mir wurde die Möglichkeit gegeben, meine Einwilligung, an dieser Studie teilzunehmen und meine Erlaubnis für die Aufzeichnung und Verwendung meiner im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten

Einverständniserklärung Interview MSc FHNW VDC

Unterschriften: **n|u**
 Institut für Digitalisierung und Bauwesen
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der akademischen Arbeit von Jérémy Rodriguez

Studennummer: Lukas Schläpfer

Kontaktinformationen: FHNW Campus Muttentz
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz
 Tel: 061 228 55 55
 Mail: Studierendengruppe_VDC2_digital@fhnw.ch

Informationen zur Studie: Der Masterstudiengang MSc VDC ist ein interdisziplinäres Studium, welches eine theoretische und praktische Auseinandersetzung mit dem digitalen Bauen, Bauen und Bewohnen von Bauwerken bietet. Im Rahmen der hier durchgeführten Studie setzen wir uns mit der folgenden Frage auseinander: „Nutzung von ICT für den Informationsaustausch bei Auszubereitenden: Mehrwertverständnis“.

Teilnahme: Ihre Teilnahme an der Studie beinhaltet ein qualitatives Interview von ungefähr einer Stunde, das aufgezeichnet wird. Ihnen werden Fragen zu den Themen: ICT, CH, VDC, VDC und V.

Rückruf von der Teilnahme oder Widerruf der Einwilligung: Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie haben jederzeit das Recht, von der Teilnahme an der Studie zurückzutreten, ohne dafür einen Grund anzugeben. Sie haben ebenfalls das Recht, Ihre Einwilligung zu widerrufen, und Ihre persönlichen Daten löschen zu lassen.

Datenschutz: Die im Rahmen der Studie gesammelten Daten werden nur für diese Studie genutzt. Ihr Name oder andere Informationen zu Ihrer Identität werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Ihr Beitrag wird in anonymisierter oder pseudonymisierter Form sicher aufbewahrt und wird nach Abschluss der Studie gelöscht.

Einverständniserklärung: Ich habe die Informationen in dieser Erklärung gelesen und verstanden. Mir wurde die Möglichkeit gegeben, meine Einwilligung, an dieser Studie teilzunehmen und meine Erlaubnis für die Aufzeichnung und Verwendung meiner im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten

Einverständniserklärung Interview MSc FHNW VDC

Unterschriften: **n|u**
 Institut für Digitalisierung und Bauwesen
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der akademischen Arbeit von Jérémy Rodriguez

Studennummer: Lukas Schläpfer

Kontaktinformationen: FHNW Campus Muttentz
 Hofackerstrasse 30
 4132 Muttentz
 Tel: 061 228 55 55
 Mail: Studierendengruppe_VDC2_digital@fhnw.ch

Informationen zur Studie: Der Masterstudiengang MSc VDC ist ein interdisziplinäres Studium, welches eine theoretische und praktische Auseinandersetzung mit dem digitalen Bauen, Bauen und Bewohnen von Bauwerken bietet. Im Rahmen der hier durchgeführten Studie setzen wir uns mit der folgenden Frage auseinander: „Nutzung von ICT für den Informationsaustausch bei Auszubereitenden: Mehrwertverständnis“.

Teilnahme: Ihre Teilnahme an der Studie beinhaltet ein qualitatives Interview von ungefähr einer Stunde, das aufgezeichnet wird. Ihnen werden Fragen zu den Themen: ICT, CH, VDC, VDC und V.

Rückruf von der Teilnahme oder Widerruf der Einwilligung: Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie haben jederzeit das Recht, von der Teilnahme an der Studie zurückzutreten, ohne dafür einen Grund anzugeben. Sie haben ebenfalls das Recht, Ihre Einwilligung zu widerrufen, und Ihre persönlichen Daten löschen zu lassen.

Datenschutz: Die im Rahmen der Studie gesammelten Daten werden nur für diese Studie genutzt. Ihr Name oder andere Informationen zu Ihrer Identität werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Ihr Beitrag wird in anonymisierter oder pseudonymisierter Form sicher aufbewahrt und wird nach Abschluss der Studie gelöscht.

Einverständniserklärung: Ich habe die Informationen in dieser Erklärung gelesen und verstanden. Mir wurde die Möglichkeit gegeben, meine Einwilligung, an dieser Studie teilzunehmen und meine Erlaubnis für die Aufzeichnung und Verwendung meiner im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten