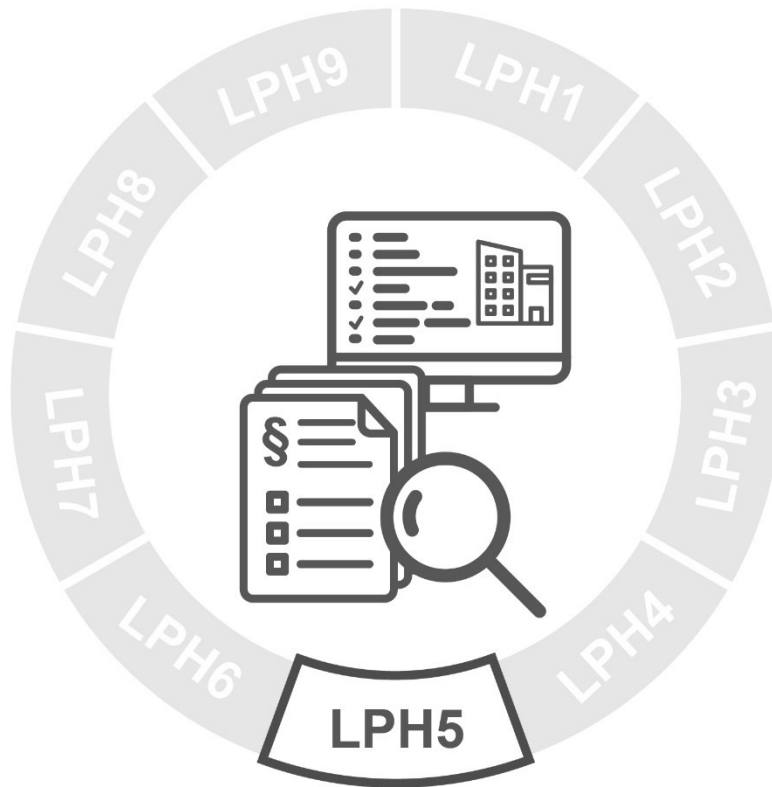


08. Februar 2024

10.08.17.7-20.48 Forschungsprojekt (Endbericht)

Zusammenstellung von digital prüfbaren Anforderungen aus rechtlichen und technischen Vorgaben für die Ausführungsplanung



Forschungsprogramm

Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des
Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI)

Projektlaufzeit

15. Juni 2021 bis 31. März 2023

Aktenzeichen

10.08.17.7-20.48 (ID133)

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Angelina Aziz, M. Eng., Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Dr.-Ing. Andreas Bach, Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Düsseldorf

Prof. Dr. Klaus Eschenbruch, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. Markus König, Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Dr. Inga Maaske, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB, Düsseldorf

Niklas Pauls, M.Sc., Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Düsseldorf

Marcel Stepien, M.Sc., Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Sven Zentgraf, M.Sc., Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Absender (Auftragnehmer oder Zuwendungsempfänger)

Name: Prof. Dr.-Ing. Markus König

Straße: Universitätsstr. 150

Ort: 44780 Bochum

Tel.: + 49 (234) 32-23047

E-Mail: koenig@inf.bi.rub.de

Forschungsprogramm: Zukunft Bau

Projekt / Thema: BIM-Prüfregeln, Zusammenstellung von digital prüfbaren Anforderungen aus rechtlichen und technischen Vorgaben für die Ausführungsplanung (ID 133)

Aktenzeichen: 10.08.17.7-20.48

Laufzeit: 22 Monate; von 06/2021 – 03/2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Kurzfassung.....	3
Abstract	5
Einleitung.....	7
1. Prüfgegenstände in der Ausführungsplanung.....	8
1.1. Baurechtliche Vorgaben.....	9
1.2. Vorgaben aus der Forschung.....	11
1.3. Vorgaben aus Initiativen.....	12
1.4. Vorgaben aus der Praxis.....	14
1.5. Zusammenfassung.....	23
2. Systematische Kategorisierung von Anforderungen für die Ausführungsplanung	25
2.1. Aufbau eines Dokumentenkatalogs für die Ausführungsplanung.....	25
2.2. Relevante Standards.....	30
2.3. Implementierung einer Eingabemaske.....	33
2.4. Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen.....	37
2.5. Zusammenfassung.....	40
3. Übersicht zum Thema Regelprüfung im Bauwesen.....	41
3.1. Regelprüfung im Bauwesen.....	41
3.1.1. Formale Prüfung.....	41
3.1.2. Fachliche Prüfung	41
3.2. Übersicht über Regelsprachen.....	42
3.2.1. Model View Definition.....	42
3.2.2. Information Delivery Specification	43
3.2.3. OpenBimRL.....	44
3.2.4. Semantic Web Technologien.....	45
3.2.5. RuleML.....	46
3.2.6. BIMQL	47
3.2.7. XPath, XQuery und XSLT	47
3.2.8. Weitere nennenswerte Sprachkonstrukte für die regelbasierte Prüfung	48
3.3. Anforderungen an die Modellierung zur Regelprüfung.....	48
3.3.1. Fallbeispiele für die Regelprüfung.....	50
3.3.2. Vorteile maschinenlesbarer Objektvorlagen und Regelsätze.....	52
3.3.3. Ermittlung von Regeln aus Anforderungen der Normen.....	54
3.3.4. Kommentar zur Faktenbasis im Bauwesen	54
3.3.5. Nutzung offener Standards.....	56
3.3.6. Nachhaltige Pflege von Objektvorlagen und Regelsätze.....	56

3.4.	Zusammenfassung.....	57
3.4.1.	Auswertung einer formalen Regelsprache	57
3.4.2.	Auswertung einer fachlichen Regelsprache	57
3.4.3.	Potentiale von generalisierten Ansätzen	58
4.	Zusammenstellung von digital prüfbaren Anforderungen für die Ausführungsplanung.....	59
4.1.	Prüfung der Mindestbetondeckung nach DIN 1992-1-1	59
4.2.	Prüfung von Nutzlasten nach DIN EN 1991-1-1:2010-12	61
4.3.	Zusammenfassung.....	65
5.	Koordination mit BIM-Deutschland und Standardisierungsorganisationen	66
5.1.	Zusammenfassung.....	70
6.	Empfehlungen zur Vorgehensweise	71
6.1.	Vorgehensweise zur teilautomatisierten Generierung von Prüfregeln	72
6.1.1.	Erstellung einer Datengrundlage	73
6.1.2.	Ableitung von Prüfregeln	75
6.1.3.	Vorbereitung Aktualisierungskonzept	76
6.2.	Vorgehensweise zur vollautomatisierten Generierung von Prüfregeln.....	78
6.2.1.	Erstellung einer Datengrundlage	78
6.2.2.	Ableitung von Prüfregeln	81
6.3.	Aktualisierungskonzept	81
6.3.1.	Änderung.....	82
6.3.2.	Deaktivierung	82
6.3.3.	Ersatzvornahme	82
6.3.4.	Fragmentierung	83
6.3.5.	Zusammenführung	83
6.4.	Zusammenfassung.....	83
7.	Nutzen und Verwertbarkeit der Umsetzung	85
	Quellenverzeichnis	87

Kurzfassung

Der vorliegende Endbericht basiert auf einer umfassenden Analyse einer digital prüfbar ausgeführten Ausführungsplanung, die die Zusammenstellung und exemplarische Erstellung von prüfbar Anforderungen zum Zeitpunkt der Ausführungsplanung einschließt. Die Ausführungsplanung gemäß Leistungsphase 5 (LPH 5) der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) umfasst eine detaillierte Planung der Bauausführung. Hierzu zählen die Ausführung notwendiger Einzelangaben auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bis zur ausführungsfähigen Lösung, die als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen dient. Zusätzlich beinhaltet sie technische Ausführungs-, Detail- und Konstruktionsplanungen unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen. Das Ziel dieser Phase ist es, die Arbeitsergebnisse anderen fachlich an der Planung Beteiligten zur Verfügung zu stellen und deren Leistungen zu koordinieren und zu integrieren. Zusätzlich zur Fortschreibung des Terminplans und der Ausführungsplanung aufgrund der gewerksorientierten Bearbeitung während der Objektausführung ist die Überprüfung der Montagepläne auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung ein wesentlicher Bestandteil dieser Phase.

Problemstellung. Das vorliegende abgeschlossene Projekt legt somit diese Leistungsphase 5 in den Fokus und untersucht die Möglichkeiten einer digitalen Ausführungsplanung. Die Einführung und Umsetzung des Building Information Modeling (BIM) bietet hierfür nicht nur für die Ausführungsplanung, sondern für den gesamten Planungsprozess digitale Modelle, die konventionelle Planunterlagen ersetzen, da diese Pläne direkt und untereinander widerspruchsfrei aus dem digitalen Modell automatisch abgeleitet werden können. Durch die Nutzung der BIM-Methodik wird zusätzlich eine regelbasierte Prüfung der digitalen Fachmodelle ermöglicht. Bislang existiert jedoch keine gesamtheitliche Beschreibung für eine digital prüfbare Ausführungsplanung. Dies kann jedoch einen hohen Mehrwert für den digitalen Planungsprozess bringen, da gerade die Ausführungsplanung unterschiedliche Fachthemen mit verschiedensten technischen und rechtlichen Anforderungen umfasst, die die entsprechenden Fachplanenden kennen und auf Einhaltung prüfen müssen. Des Weiteren hat die Passgenauigkeit der Fachplanung an den Schnittstellen zwischen den Fachgewerken eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung eines Bauprojektes und ist abhängig von der ordnungsgemäßen Einhaltung der relevanten Regelwerke.

Untersuchungsmethodik. Im Rahmen des Projektes wurden die Leistungsbilder der Objektplanung, Tragwerksplanung und technischen Gebäudeausrüstung innerhalb der Ausführungsplanung betrachtet. Daher wurden die Anforderungen hinsichtlich dieser LPH5-relevanten Fachmodelle untersucht. Zur Erarbeitung der Ausführungsplanung mit allen für die Ausführung notwendigen Angaben auf Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung wurde im Rahmen des Projektes zusätzlich eine LPH5-Prüfmatrix unter Berücksichtigung der identifizierten Prüfgegenstände aus Vorgaben erstellt (Kapitel 1). Für die Ausarbeitung der Anforderungen aus rechtlichen und technischen Vorgaben wurden relevante Gesetze, Normen, Richtlinien und Verwaltungsvorschriften in einem tabellarischen Dokumentenkatalog analysiert und bewertet. Nach der Analyse bestehender bzw. fortlaufender Forschungen und sonstiger Vorgaben erfolgte die Festlegung einer strukturierten und digitalen Dokumentationsform unter Beachtung der DIN EN 17412-1:2020 und DIN EN ISO 23386:2020-11, um eine Überführung in eine maschinenlesbare Prüfregelsyntax sicherzustellen. Die Ableitung aller dokumentierten Anforderungen mit Hilfe eines vorhandenen Systems im Sinne einer Prüfregel wird in Kapitel 2 ausführlich erläutert. Die Identifizierung und Analyse bestehender Ansätze zu Prüfregelsyntaxen ist Teil des vorliegenden Endberichts und werden in Kapitel 3 thematisiert.

Ergebnisse einschließlich einer kritischen Würdigung. Um eine umfassende Bewertung und Evaluierung des Projekts zu ermöglichen, wurden ausgewählte identifizierte Anforderungen für die Ausführungsplanung anhand von Fachmodellen mit der vorgeschlagenen Methodik getestet. Hierbei wurde demonstriert, wie verschiedene Prüfwerkzeuge auf Basis der neutralen Prüfgelsyntax eingesetzt werden können, um die Erfüllung der Anforderungen zu prüfen (Kapitel 1). Während des Projekts fand eine kontinuierliche Abstimmung mit wichtigen Akteuren wie BIM Deutschland, DIN, VDI und buildingsSMART statt (siehe Kapitel 5). Die Diskussionsergebnisse aus diesen Abstimmungen, Austausch- und Recherchearbeiten wurden ausführlich erörtert und wertvolle Erkenntnisse für die Baubranche abgeleitet.

Den Abschluss des Projekts bilden zwei Handlungsempfehlungen wie vorhandene Gesetze, Normen, Richtlinien und Verwaltungsvorschriften anzupassen und kontinuierlich zu pflegen sind (Kapitel 6). Hierbei wird zuerst der im Projekt verwendete Ansatz zur teilautomatisierten Generierung von Prüfgeln als Handlungsempfehlung vorgestellt. Die zweite beschriebene Handlungsempfehlung zeigt, wie zukünftig mit KI-gestützten Methoden eine automatische Generierung von Prüfgeln aus regulatorischen Dokumenten erfolgen könnte. Das Kapitel schließt mit der Beschreibung eines Aktualisierungskonzepts, mit dem gleichzeitig regulatorische Dokumente und die extrahierten Anforderungen dynamisch zu aktualisieren sind. Des Weiteren wurden der Nutzen und die Verwendbarkeit des abgeschlossenen Projekts bewertet. (Kapitel 7).

Vorteile. Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass die regelbasierte Prüfung der Ausführungsplanung mithilfe von BIM mehrere Vorteile bietet. Zum einen kann sie einen systematischen und konsistenten Ansatz für die Prüfung der Ausführungsplanung bereitstellen, der dazu beiträgt, alle relevanten Faktoren zu berücksichtigen und Fehler frühzeitig im Planungsprozess zu erkennen und zu korrigieren. Zum anderen kann die regelbasierte Prüfung sehr genau und effizient sein, da sie automatisiert werden kann und keine manuelle Überprüfung der Ausführungsplanunterlagen erfordert. Dies spart Zeit und verringert das Risiko menschlicher Fehler. Durch das vorgelegte Aktualisierungskonzept können spezifische Anforderungen aktualisiert und direkt für die Regelprüfung eines Bauwerksdatenmodells genutzt werden. Entscheidend für die breite Einführung von prüfbaren Informationsanforderungen ist der Aufbau von Kompetenzen bei den ausschreibenden Stellen. Die Informationsanforderungen müssen entweder in den entsprechenden Gesetzen, Normen, Richtlinien und Verwaltungsvorschriften oder als Vertragsunterlagen in die entsprechende Ausschreibung integriert werden.

Potenzielle Nachteile. Es gibt jedoch auch potenzielle Nachteile bei der Verwendung von regelbasierten Prüfungen. Ein Nachteil ist, dass die für die Prüfung der Ausführungsplanung verwendeten Regeln möglicherweise nicht umfassend genug sind oder dass sie nicht alle potenziellen Probleme oder Überlegungen angemessen berücksichtigen. Dies kann zu übersehenen Fehlern oder Problemen führen, die erst in späteren Phasen des Bauprozesses erkannt werden, was zu Verzögerungen und zusätzlichen Kosten führt. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Erstellung und Anwendung von Regeln zeit- und arbeitsintensiv sein können, was ein erhebliches Maß an Fachwissen und Spezialkenntnissen erfordert, die möglicherweise nicht ohne weiteres verfügbar sind. Schließlich ist die regelbasierte Prüfung möglicherweise nicht flexibel genug, um einzigartige oder komplexe Planungsszenarien zu berücksichtigen, was ihre Wirksamkeit in bestimmten Situationen einschränken könnte.

Abstract

This final report is based on a comprehensive analysis of a digitally testable implementation planning, which includes the compilation and exemplary creation of testable requirements at the time of implementation planning. The planning according to implementation planning 5 (LPH 5) of the architects' regulation HOAI includes a detailed planning of the building execution. This includes the execution of necessary individual details based on the draft and approval planning up to the solution ready for execution, which serves as the basis for the further service phases. In addition, it includes technical execution, detail, and construction planning, considering all technical requirements. The aim of this phase is to make the work results available to others technically involved in the planning and to coordinate and integrate their services. In addition to the updating of the schedule and the implementation planning due to the trade-oriented processing during the execution of the object, the review of the assembly plans for conformity with the implementation planning is an essential part of this phase.

Problem Statement. The present completed project thus focuses on this implementation planning phase 5 and investigates the possibilities of a digitally executable implementation planning. The introduction and implementation of Building Information Modeling (BIM) offers digital models for this purpose, not only for implementation planning, but also for the entire planning process, which replace conventional planning documents, since these plans can be automatically derived from the digital model directly and without contradiction to one another. The use of BIM methodology additionally enables rule-based verification of the digital specialist models. So far, however, there is no holistic description for a digitally verifiable implementation planning. However, this can add a great deal of value to the digital planning process, since implementation planning encompasses various specialist topics with a wide range of technical and legal requirements that the relevant specialist planners must be familiar with and check for compliance. Furthermore, the precision of the specialist planning at the interfaces between the specialist trades is of great importance for the successful implementation of a construction project and depends on proper compliance with the relevant regulations.

Research Methodology. Within the scope of the project, the service profiles of object planning, structural design and technical building equipment were considered within the implementation planning. Therefore, the requirements regarding these LPH5-relevant specialist models were investigated. For the elaboration of the implementation planning with all necessary details for the execution based on the draft and approval planning, an LPH5 test matrix was additionally created within the scope of the project, considering the identified test objects from specifications (Chapter 1). For the elaboration of the requirements from legal and technical specifications, relevant laws, standards, guidelines, and administrative regulations were analyzed and evaluated in a tabular document catalog. Following the analysis of existing or ongoing research and other specifications, a structured and digital form of documentation was defined in compliance with DIN EN 17412-1:2020 and DIN EN ISO 23386:2020-11 to ensure a transfer to a machine-readable test rule syntax. The derivation of all documented requirements with the aid of an existing system in the sense of a test rule is explained in detail in Chapter 2. The identification and analysis of existing approaches for checking rule syntaxes is part of this final report and is dealt with in Chapter 3.

Results including a critical appraisal. To enable a comprehensive assessment and evaluation of the project, selected identified requirements for implementation planning were tested against domain models using the proposed methodology. This demonstrated how various testing tools based on the neutral testing rule syntax can be used to verify that the requirements are met (Chapter 1). During the project, there was continuous coordination with important stakeholders such as BIM Deutschland, DIN, VDI and buildingsSMART (Chapter 5). The discussion results from this coordination, exchange and research work were discussed in detail and valuable insights for the building industry were gained. The project concludes with two recommendations for action on how to adapt and continuously maintain existing laws, standards, guidelines, and administrative regulations (Chapter 6). Furthermore, the usefulness and usability of the completed project was evaluated. (Chapter 7).

Advantages. The results of the project show that rule-based design review using BIM offers several advantages. First, it can provide a systematic and consistent approach to detailed design review that helps to consider all relevant factors and identify and correct errors early in the design process. Second, rule-based review can be highly accurate and efficient because it can be automated and does not require manual review of execution plan documents. This saves time and reduces the risk of human error. Through the update concept presented, specific requirements can be updated and used directly for rule review of a structural data model. The development of competencies among the providing bodies is crucial for the broad introduction of verifiable information requirements. The information requirements must be included either in the relevant laws, standards, directives, and administrative regulations or as contract documents in the corresponding invitation to tender.

Potential Disadvantages. However, there are also potential drawbacks to the use of rules-based audits. One disadvantage is that the rules used for detailed design reviews may not be comprehensive enough or may not adequately address all potential issues or considerations. This can lead to overlooked errors or problems that are not identified until later stages of the construction process, resulting in delays and additional costs. Another disadvantage is that rule creation and application can be time-consuming and labor-intensive, requiring a significant level of expertise and specialized knowledge that may not be readily available. Finally, rule-based auditing may not be flexible enough to accommodate unique or complex planning scenarios, which could limit its effectiveness in certain situations.

Einleitung

In den letzten Jahren gab es in Deutschland bedeutende Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung in Bezug auf Building Information Modeling (BIM). Eine wichtige Entwicklung war die zunehmende Einführung und Nutzung von BIM in verschiedenen Bereichen, darunter Architektur, Ingenieurwesen, Infrastruktur und Facility Management. Aktuell wird die BIM-Methode in Deutschland immer häufiger eingesetzt, um die Effizienz, Koordination und Zusammenarbeit im Bauprozess zu verbessern sowie Kosten und Risiken zu reduzieren. Eine weitere Entwicklung ist die Einführung neuer Technologien und Werkzeuge, die den Einsatz von BIM unterstützen, wie z.B. Cloud-basierte Plattformen, Künstliche Intelligenz (KI) Virtual Reality (VR)- und Augmented Reality (AR)-Tools und mobile Anwendungen. Der Einsatz von BIM bringt auch einen weiteren Mehrwert mit sich: die modellbasierte Regelprüfung.

Im Zusammenhang mit BIM bezieht sich die regelbasierte Prüfung auf die Verwendung einer Reihe von vordefinierten Regeln oder Kriterien, um die Genauigkeit und Vollständigkeit von BIM-Modellen und Bauplänen zu überprüfen. Diese Regeln können verwendet werden, um die Modelle und Pläne auf Fehler, Inkonsistenzen oder Auslassungen zu überprüfen und um sicherzustellen, dass sie bestimmte Standards oder Anforderungen erfüllen. Die regelbasierte Prüfung kann automatisiert werden, indem Software oder andere Tools verwendet werden, um die Regeln automatisch auf die BIM-Modelle anzuwenden und erkannte Probleme zu markieren. Sie kann auch manuell durchgeführt werden, indem Einzelpersonen die Modelle und Pläne überprüfen und die Regeln manuell anwenden. Die regelbasierte Prüfung kann durch die Umsetzung von Smart Standards den Automatisierungslevel zusätzlich deutlich erhöhen, indem z.B. DIN-Normen maschinenlesbare oder maschineninterpretierbare Inhalte enthalten, die zugleich eine automatische Aktualisierung von Prüfregeln bei Änderung ermöglichen.

Eines der vielen Digitalisierungsziele ist die Nutzung von BIM in Deutschland zu standardisieren und zu harmonisieren, einschließlich der Entwicklung von Richtlinien, Best Practices und Zertifizierungsprogrammen. Damit soll sichergestellt werden, dass BIM im ganzen Land einheitlich und effektiv eingesetzt wird. Das vorliegende Projekt möchte einen Beitrag leisten und die Digitalisierung der Bauwirtschaft in Deutschland vorantreiben, um effizientere, kostengünstigere und nachhaltigere Bauprojekte zu ermöglichen.

1. Prüfgegenstände in der Ausführungsplanung

Das Forschungsprojekt befasste sich mit der Zusammenstellung von digital prüfbaren Anforderungen aus rechtlichen und technischen Vorgaben für die Ausführungsplanung. Zielstellung war es dabei, Ausführungsplanungsergebnisse digital prüfen zu können und hierfür eine Methodik zu entwickeln. Wenn digitale Prüfkonzepte zur Ausführungsplanung entwickelt werden sollen, stellt sich zunächst die Frage, was der Prüfgegenstand sein soll und wie dieser strukturiert sein muss, um Gegenstand eines entsprechenden Prüfprozesses zu werden. Das vorliegende Kapitel ordnet die Ausführungsplanung im Kontext der digitalen Prüfbarkeit ein, indem Prüfgegenstände aus unterschiedlichen Vorgaben identifiziert und analysiert werden (siehe Abbildung 1).

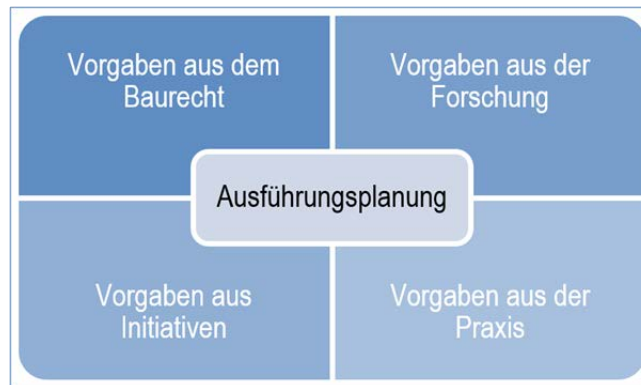


Abbildung 1: Arten von Vorgaben für die Ausführungsplanung

Die Ausführungsplanung ist Ergebnis eines Planungsprozesses. Im Rahmen der frühen Planungsphasen werden unterschiedliche Entwurfsvarianten diskutiert und schließlich in einer Entwurfsplanung fortgeschrieben. Diese Entwurfsplanung wird anschließend in eine Genehmigungsplanung überführt, die allen Anforderungen des öffentlichen Bauplanungsrechts entsprechen muss. Mit der Erteilung der Baugenehmigung wird die Planung, ggf. ein Gebäudemodell, für das konkrete Projekt verbindlich gestellt. Dabei werden typischerweise diverse öffentlichrechtliche Randbedingungen zusätzlich eingefordert. Auf dieser Grundlage entwickeln Ausführungsplanende das digitale Gebäudemodell mit den Auftraggeber-Informationsanforderungen für den Beginn der Ausführung. Dabei sind ergänzend öffentlich-rechtliche Anforderungen an die Bauausführung und Baumaterialien zu beachten, die sich etwa aus den Landesbauordnungen ergeben können. Zudem müssen Ausführungsplanende die Anforderungen berücksichtigen, die von der Bauausführungsseite an die Beschreibung von Leistungen gestellt werden. Planende müssen das Gebäudemodell mit denjenigen Informationen versehen, die grundsätzlich ausreichend sind, um hieraus eine Ausschreibung entwickeln zu können. Diese Anforderungen wiederum sind in der VOB/C und den dazugehörigen einzelnen DIN-Normen (DIN 18299 ff.), dort jeweils im Abschnitt 1, definiert. Auftraggebende werden die Anforderungen an die Ausführungsplanung im digitalen Zeitalter durch entsprechende Auftraggeber-Informationsanforderungen nach der LOIN-Struktur der DIN EN 17412-1:2020 beschreiben müssen. Informationsanforderungen können sowohl geometrische wie auch alphanummerische Anforderungen beinhalten und können aus unterschiedlichen Normkomplexen herkommen. In vertragsrechtlicher Sicht existieren bislang keine genormten Prüfanforderungen für Bauwerksdatenmodelle. In einem BIM-Leitfaden der Freien Hansestadt Hamburg (BIM-Leitfaden für die FHH, Version 3, 2021) sind erste Überlegungen zur Qualitätskontrolle im BIM-Prozess enthalten. Dieser Leitfaden differenziert zwischen der Kontrolle der Modell- und Datenqualität sowie der Kontrolle der Fachdisziplinen.

Bei der Kontrolle der Modell- und Datenqualität geht es um eine Qualitätsprüfung der Modelle, wobei zwischen Qualitätsprüfung der Geometrie und der Standards und der Vollständigkeit unterschieden wird und diverse digitale Model-Checker eingesetzt werden sollen. Die formale Prüfung soll die Kontrolle auf Einhaltung der Vorgaben des Baurechts, insbesondere von bauspezifischen Festlegungen, von geltenden Regelwerken und Richtlinien auf Zulassungskonformität etc. enthalten. So wäre es grundsätzlich möglich, mittels einer formalen Prüfung die

Übereinstimmung des in der Ausführungsplanung hergestellten Datenmodells mit den LOIN-Anforderungen für eine entsprechende Planungsstufe abzugleichen. Gleichzeitig könnte damit auch die Vollständigkeit/Übereinstimmung des Modells mit den vertraglichen Anforderungen geprüft werden. Die fachliche Prüfung der Informationslieferung könnte ergänzend die Einhaltung normativ vorgegebener Standards anhand von modellierten Einzelobjekten bzw. attribuierten Informationen zum Gegenstand haben.

1.1. Baurechtliche Vorgaben

Die Ausführungsplanung kann als Objekt- oder Fachplanung von Bauobjekten verstanden werden, die einen solchen Ausarbeitungsgrad erreicht hat, dass die ausgearbeiteten Lieferobjekte der Planung die bauausführenden und bauhandwerklichen Unternehmen in die Lage versetzen, die Baulösung ohne weitere Informationen umzusetzen. Traditionell werden Ausführungsplanungsergebnisse in den Planungsphasen der Objekt- und Fachplanungsbeteiligten nach den Leistungsbildern der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) dargestellt. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Objektplanung für Gebäude und Innenräume, die Objektplanung für Ingenieurbauwerke oder die Objektplanung für Verkehrsanlagen sowie die zugeordneten Fachplanungsleistungen der Tragwerksplanung und Technischen Ausrüstung.

Allen diesen Objekt- und Fachplanungsleistungen sind in den Leistungsbildern Ausführungsplanungsergebnisse zugeordnet. Das heißt, dass sich der Forschungsgegenstand nicht nur auf eine bestimmte Planungsdisziplin, nämlich die Objektplanung, bezieht, sondern auf unterschiedliche Objektplanungs- und Fachplanungsmodelle der Phase Ausführungsplanung, wie zum Beispiel die Tragwerksplanung. Die Leistungsbilder der HOAI für die Leistungsphase 5, wie auch die fortentwickelten Leistungsbilder für das digitale Planen, enthalten eine Vielzahl von Planungsanforderungen, die sich nicht lediglich mit der raumbildenden Planung befassen, sondern darüber hinaus mit Koordinations- und Integrationsaufgaben sowie mit Terminplanungs- und Kontrollaufgaben. Das heißt, dass nicht zwangsläufig sämtliche Informationen einer Ausführungsplanung auch Gegenstand eines digitalen Datenmodells sein müssen. Es ist daher in jedem Einzelfall festzulegen, was Gegenstand einer digitalen Prüfung von Ausführungsplanungsergebnissen sein muss. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass nicht sämtliche Planungsdetails notwendigerweise Gegenstand eines digitalen Planungsmodells sein müssen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass eine Reihe von Informationen zur Vermeidung einer übermäßigen Datenhaltung nicht mit einem digitalen Gebäudemodell verbunden werden.

Digitale Planungsmodelle als Prüfgegenstand werden dementsprechend die Ausführungsplanung nicht immer vollständig erschöpfen können. Außerdem ist davon auszugehen, dass weitergehende, vornehmlich semantische Anforderungen vertraglicher Art bestehen können, die nicht Gegenstand einer digitalen Prüfung sein können. Lediglich ein Kernbestandteil derjenigen Informationen, die zu einem digitalen Gebäudemodell gehören oder mit diesem attribuiert sind, wird Gegenstand digitaler Prüfmodelle sein können. Außerdem hat die Anwendung der BIM-Methodik gezeigt, dass unterschiedliche Anwendungsfälle der BIM-Methodik deutliche Auswirkungen auf Umfang und Gegenstand der Datenhaltung in digitalen Gebäudemodellen haben können. Die derzeit zuständigen Ministerien für Verkehr und Bau haben insgesamt 21 harmonisierte Anwendungsfälle identifiziert, die derzeit weiterentwickelt und weiter aufgegliedert werden. Je nach Anwendungsfall der Planung ist eine unterschiedliche Datenhaltung und ein unterschiedlicher Grad der Modellierungstiefe und Datenhaltung erforderlich.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsbilder der HOAI keine Normqualität haben. Das heißt, die dort beschriebenen Anforderungen in einer Ausführungsplanung gelten nur dann, wenn die Vertragsparteien eine Ausführungsplanung nach dem jeweiligen HOAI- Leistungsbild auch vereinbart haben. Was dementsprechend zur Ausführungsplanung gehört, kann nicht abstrakt festgelegt werden, sondern ist abhängig von der jeweiligen Vertragsgestaltung. Als Beispiel können hierzu die Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes

(RBBau¹) herangezogen werden. Diese Vertragslösung für öffentliche Auftraggebende enthält ergänzende allgemeine und spezifische Leistungspflichten, welche die Anforderungen an die Ausführungsplanung nach der HOAI konkretisieren und zum Teil auch erweitern. Während etwa die Leistungen der HOAI mehr tätigkeitsorientiert formuliert sind, enthalten die Regelungen der RBBau auch lieferobjektorientierte (werkvertraglich orientierte) Verpflichtungen zur Ablieferung von Leistungsergebnissen.

Eine Beschreibung der Leistungen der Ausführungsplanung, die beispielhaft anhand des Leistungsbildes Gebäude und Innenräume nach der Anlage 10 zur HOAI aufgezeigt wird, ist nachfolgend abgedruckt. Bedeutsam ist hier bereits die Unterscheidung zwischen *Grundleistungen* und *Besonderen Leistungen*. Während die Grundleistungen gemäß § 3 Abs. 1 HOAI Leistungen sind, die regelmäßig im Rahmen von Flächen-, Objekt- und Fachplanungen auszuführen sind, bedarf es zur Aktivierung der *Besonderen Leistungen* einer vertraglichen Regelung, wonach diese hinzutreten sollen (was in der Regel auch mit einer Mehrvergütung verbunden ist).

Vertragsmuster, wie etwa nach der RBBau, enthalten – wie vorstehend erläutert – teilweise hiervon abweichende Regelungen (Abbildung 2).

LPH 5 Ausführungsplanung	
a)	Erarbeiten der Ausführungsplanung mit allen für die Ausführung notwendigen Einzelangaben (zeichnerisch und textlich) auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bis zur ausführungsfähigen Lösung, als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen
b)	Ausführungs-, Detail- und Konstruktionszeichnungen nach Art und Größe des Objekts im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, zum Beispiel bei Gebäuden im Maßstab 1:50 bis 1:1, zum Beispiel bei Innenräumen im Maßstab 1:20 bis 1:1
c)	Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten, sowie Koordination und Integration von deren Leistungen
d)	Fortschreiben des Terminplans
e)	Fortschreiben der Ausführungsplanung auf Grund der gewerkeorientierten Bearbeitung während der Objektausführung
f)	Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Objektplaner geplanten Baukonstruktionen und baukonstruktiven Einbauten auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung

Abbildung 2: Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7). Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

In Ziff. 6.2.2 des Vertragsmusters für Objektplanung – Gebäude und Innenräume (VM 2/1 aus der RBBau) heißt es etwa:

- „Die Leistungen der Leistungsstufe 2 (Ausführungsplanung) sind erbracht, wenn
- sämtliche der in der Anlage zu § 6 zur Leistungsstufe 2 gekennzeichneten/aufgeführten Leistungen erbracht sind,
 - die in der Leistungsstufe 1 erarbeitete Lösung der Planungsaufgabe nach Maßgabe des beschriebenen Leistungsumfangs ausführungsfähig durchgeplant und dargestellt ist,
 - die zur Vorbereitung der Vergabe für die Ausschreibung notwendigen zeichnerischen Details einschließlich der Planvorgaben DIN-gerecht und so vollständig erstellt sind, dass auf dieser Grundlage eindeutige und erschöpfende Leistungsbeschreibungen unter Beachtung der Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (VOB/C) aufgestellt werden können,
 - die Ausführungsplanung die Objektobergrenze gemäß § 5 Nr. 5.3.1 nachweislich einhält (Muster 6 RBBau),
 - die fortgeschriebenen Ausführungspläne mit der tatsächlich zu realisierenden Ausführung übereinstimmen.“

¹ Stand 10.05.2021.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen bereits auf, dass Ausführungsplanung unterschiedlich beschrieben werden kann und abhängig von den jeweiligen Vertragsregeln für das einzelne Bauobjekt unterschiedliche Anforderungen enthalten kann.

Die Unterscheidung zwischen den *Grund-* und *Besonderen Leistungen* zeigt auch, dass die Ausführungsplanung in Bezug auf den Umfang der einzubeziehenden Anforderungen wie auch der im Einzelnen geltenden normativen Vorgaben stark von der Projekttypologie abhängt. Für den Bau eines Einfamilienhauses gelten andere Baunormen als für einen Sonderbau oder ein Hochhausprojekt.

1.2. Vorgaben aus der Forschung

Die regelbasierte Prüfung im Rahmen der Gebäudedatenmodellierung und Building Information Modeling (BIM) findet auch im Forschungsbereich Anwendung, weil den Forschern ermöglicht wird, die Wirksamkeit verschiedener BIM-Methoden, -Werkzeuge und -Techniken auf standardisierte und kontrollierte Weise zu validieren und zu testen. Durch die Verwendung vordefinierter Regeln zur Bewertung der Modelle können Forscher sicherstellen, dass die Ergebnisse ihrer Studien zuverlässig und mit anderen Studien vergleichbar sind. Darüber hinaus kann die regelbasierte Prüfung dazu genutzt werden, Bereiche zu identifizieren, in denen bestehende BIM-Methoden verbessert werden können, was zur Entwicklung effektiverer und effizienterer BIM-Technologien führt.

Ein gutes Beispiel und Vorreiterprojekt ist das Forschungsprojekt *Digitalisierung der Musterbauordnung*, welches sich mit der Ableitung von bauordnungsrechtlichen Anforderungen aus der Musterbauordnung zur Erstellung von digitalen Prüfregelein für digitale Bauwerksdatenmodelle befasst. Diese Prüfregelein sollen dabei den Schwerpunkt für die Validierung praktischer Szenarien im Kontext der Baugenehmigung, also Leistungsphase 4, bilden. Der entwickelte Prüfregelein soll öffentlich und transparent zum Download zur Verfügung gestellt werden und kann als Basis für die Anknüpfung weiterer Prüfregelein für die regelbasierte Prüfung eines Bauwerksdatenmodells zum Zeitpunkt der Ausführungsplanung verwendet werden.

Darüber hinaus kann die regelbasierte Prüfung Forschern dabei helfen, die Leistung von BIM-Modellen in Bezug auf Energiesimulation, Kostenschätzung und andere Analysen der Gebäudeleistung zu validieren, die für die Gebädeforschung von entscheidender Bedeutung sind. Viele identifizierte Forschungsprojekte erstellen aus diesem Grund auch Vorgaben, die u.a. bei der Ausführungsplanung berücksichtigt werden können. Aufgrund der themenspezifischen Projektziele werden Anforderungen unter teilweise fachspezifischen Aspekten abgeleitet, wie z.B. Baukosten, barrierefreies Bauen, Klima, Nachhaltigkeit, etc.

Das Projekt *Untersuchungen zur Kostenrelevanz von Normen und Standards im Wohnungsbau sowie zu Einflussmöglichkeiten* beschäftigte sich mit dem Kosteneinfluss von Objektmerkmalen auf die Baukosten von Wohngebäuden. Interessant ist die entwickelte Systematik zur Ermittlung von Erfüllungskosten aufgrund von Regelungen wie Normen und Standards einschließlich der Überführung in eine Handlungsempfehlung. In einem ähnlichen Projekt geht es um die *Prüfung der Kostenauswirkungen von Baunormen auf den Wohnungsbau und Einsparpotenziale*. Dafür wird eine systematische Folgekostenermittlung sowie ein Prüfverfahren für eine unabhängige Stelle mit dem Fokus auf Baunormen im Geschosswohnungsbau etabliert, um den gesamten Normungsprozess aktiv begleiten und somit die Folgekosten von Baunormen begrenzen zu können. In dem Projekt *Digitaler Leitfaden Barrierefreies Bauen* wurden die Inhalte des *Barrierefreies Bauen Leitfadens* systematisch und in Form eines anwenderfreundlichen EDV-Werkzeugs für einen "Digitalen Leitfaden" aufbereitet. In diesem Leitfaden wird der Planungs- und Beteiligungsprozess zum barrierefreien Bauen auch für die Ausführungsplanung strukturiert ausgearbeitet. Der digitale Leitfaden dient hier als Handreichung und Checkliste im Planungsprozess für Architektinnen, Architekten und Planende. Des Weiteren wird in dem Projekt *Klimaanpassung und Normungsverfahren – Analyse bestehender bautechnischer Normen und Regelwerke für einen Anpassungsbedarf an die Folgen des Klimawandels* eine ausführliche Übersicht zu relevanten Normen sowie eine Methodik zur

Bewertung der Betroffenheit von Normen durch den Klimawandel erarbeitet. In dem Projekt *Entwicklung eines Online-Ökobilanztools für den Verwaltungsbau - Erfassung von Ökobilanzdaten* berechnet das entwickelte Online-Tool die Ökobilanz, indem die Baustoffdaten aus den Bauteilen der Vorlagen und den projektspezifischen Bauteilen und Komponenten mit der jeweils verbauten Menge verknüpft werden. Mithilfe des Tools kann bspw. ein modelliertes Gebäudemodell in der Ausführungsplanung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten bewertet werden. Die Bergische Universität Wuppertal hat eine idealtypische Soll-Prozesskette zur Anwendung der BIM-Methode im Lebenszyklus von Bauwerken entwickelt. Der Informationsmanagementprozess wird eher generisch aufgeführt. Es wurden auch konkrete BIM-Anwendungsfälle erarbeitet, die jedoch die Ausführungsplanung nicht im Fokus hatten. Die Ausführungsplanung wird im Rahmen der Definition für Grundprinzipien der Modellerstellung mit aufgeführt. Des Weiteren wurde auch ein Anforderungskatalog *Architektur* mit einem Informationsgrad für die Ausführungsplanung veröffentlicht. Dieser dient als Leitfaden für die Erstellung von Bauwerksdatenmodellen. Zusätzlich wird ein detaillierter Objektkatalog mit LoI (Level of Information) und LoG (Level of Geometry) aufgeführt. Des Weiteren wurde das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), hier ein Kriterienkatalog zur Nachhaltigkeitsbewertung, analysiert und in den im Projekt erstellten Dokumentenkatalog eingebunden. Dieser Kriterienkatalog zur *ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude* wurde vom Bundesbauministerium in einer zweijährigen kooperativen Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) entwickelt. Für die Bewertung von Baumaßnahmen stellt das BNB mess- und überprüfbare Kriterien zur Verfügung, welche in sechs Hauptkriteriengruppen (Qualitäten des Nachhaltigen Bauens) eingeteilt werden. Die Bewertung der Qualitäten eines Gebäudes und der Abläufe findet auf der Ebene der einzelnen Kriterien statt, die in Kriteriensteckbriefen beschrieben sind. Diese umfassen Beschreibungen des Einzelkriteriums mit Zielsetzung, Relevanz und Bewertungsmethodik, den Bewertungsmaßstab und ggf. erläuternde Anlagen. In jedem Steckbrief werden Angaben zu direkt in Bezug genommenen Regelwerken gemacht, welche als Grundlage für die Erstellung der einzelnen Bewertungsmethoden in den Kriteriensteckbriefen dienen. Ähnlich wie im vorliegenden Forschungsprojekt, dienen auch hier Vorgaben als Grundlage für die Erstellung von prüfbaren Kriterien. Die Nachhaltigkeitskriterien in Anlehnung an das BNB waren in mehreren Projekten Grundlage für die Plan- und Ausführungsphase.

1.3. Vorgaben aus Initiativen

Am 1. November 2021 wurde durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat der *Masterplan BIM für Bundes(hoch)bauten* vorgestellt. Es wurden drei Level zur Einführung von BIM mit den zugehörigen Anwendungsfällen vorgestellt. Eine direkte Zuordnung zu bestimmten Leistungsphasen nach HOAI erfolgt nicht. Für die Prüfbarkeit der Ausführungsplanung sind insbesondere die Anwendungsfälle AWF 060 (Qualitäts- und Fortschrittskontrolle der Planung), AWF 080 (Ableitung von Planunterlagen), AWF 100 (Mengen- und Kostenermittlung) und AWF 110 (Leistungsverzeichnis) relevant. Die Beschreibungen zu den Anwendungsfällen sind allgemein gehalten, weshalb konkrete Erkenntnisse zu Prüfregeln bisher nicht entnommen werden können. Das *BIM-Handbuch* wird jedoch fortgeschrieben und konkrete Hinweise zu Leistungsbildern, dem Informationsbedarf und den Modellierungsvorgaben sind in Zukunft zu erwarten. Bei BIM Deutschland wurden die Arbeiten an den Muster-AIA-Dokumenten fortgeführt. Im ersten Schritt wurden abgestimmte Anwendungsfälle definiert, die auch mit dem *Masterplan BIM für Bundes(hoch)bauten* korrespondieren. Das AIA-Muster zum Fachbereich Hochbau umfasst auch die Anwendungsfälle AWF 080 und AWF 100. Es existieren bereits kurze Beschreibungen zur Ausprägung der Anwendungsfälle für die Ausführungsplanung, sowie Spezifikationen zu Fachmodellen oder Vorgaben zur Modellstruktur. Ein Anhang mit konkreten Anforderungen zum Informationsbedarf (LOIN) befindet sich noch in Bearbeitung. Des Weiteren wurden die Arbeiten zum BIM-Portal des Bundes vorangetrieben. Hierzu gehört auch die Einrichtung von Pflegestellen für die Fachbereich Hochbau, Straße, Wasserstraße und Schiene. Die entsprechenden Fachbereiche wurden jedoch noch nicht eingerichtet. Eine weitere wichtige Initiative ist die DIN BIM Cloud der DIN Bauportal GmbH. Die DIN BIM Cloud enthält standardisierte Bauteileigenschaften sowie deren Vernetzung mit der internationalen und nationalen Baunormenwelt. Die DIN BIM Cloud nutzt das dynamische Ordnungssystem von STLB-Bau und die BIM-

Klassifikation nach DIN SPEC 91400. Die Kompatibilität mit STLB-Bau ermöglicht eine durchgängige Nutzung der Bauwerksmodelle für die VOB-konforme Leistungsbeschreibung. Sehr viele Informationen der DIN BIM Cloud sind auch wichtig für die Ausführungsplanung, die als Grundlage für die Erstellung der Leistungsverzeichnisse dient. Der Onlinezugang zur DIN BIM Cloud ist zunächst kostenlos. Jedoch können nur einzelne Informationen kopiert und in eigene Systeme übernommen werden. Erst durch kostenpflichtige Zusatzmodule können die Inhalte umfassend genutzt werden. Im SD Verlag von buildingSMART Deutschland sind verschiedene Publikationen erschienen, die auch die Ausführungsplanung betreffen. Es gibt sehr spezielle Informationen zu Türsystemen und Nachhaltigkeitsaspekten. Insgesamt fehlt jedoch eine Veröffentlichung in Richtung Objektkatalog für den Hochbau. Eine entsprechende Publikation zum Verkehrswegebau (BIM-Klassen der Verkehrswege) liegt bereits vor. Zur Erfassung von Klassen und Merkmalen wurde ein Vormerkmalserver ausgeschrieben. Aktuell gibt es jedoch keine Informationen, ob dieses System auch realisiert wird. Parallel zu dieser Initiative wurde auch das buildingSMART Data Dictionary überarbeitet. Es können jetzt Informationen auf Basis der DIN EN ISO 23386:2020-11 erfasst werden. Dieses Format wurde auch im Rahmen des Forschungsprojektes verwendet.

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung von BIM im Bereich Hochbau werden in einem entsprechenden Arbeitsraum (Hochbau) koordiniert. Die Arbeiten in diesem Arbeitsraum und in den zugehörigen Fachgruppen werden kontinuierlich gesichtet. Relevant sind auch die Arbeiten in der Fachgruppe *Regelbasierte Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung von BIM-Modellen*. Aktuell wird ein Diskussionspapier erarbeitet, welches aus unterschiedlichen Perspektiven Erfahrungen zusammenführt. Konkrete Vorgehensweisen zur Erstellung von Prüfregeleln sowie Anforderung an eine Prüfregelesprache werden aktuell noch nicht diskutiert.

Dennoch existiert neuerdings die Projektgruppe zur Digitalisierung der Musterordnung. Die Leitung dieser Gruppe obliegt der Ruhr-Universität Bochum. Die Hauptaufgabe besteht darin, digitale Prüfregeleln zu evaluieren, die im Rahmen des DIBt-Forschungsprojektes "Digitalisierung der Musterbauordnung (MBO): Aufbereitung der MBO für BIM-basierte Prüfwerkzeuge" entwickelt werden. Die Erkenntnisse und Aktivitäten dieser Gruppe wurden zudem in die Ausarbeitung der Ansätze dieses Forschungsprojekts integriert.

Datenkataloge bilden im Bauwesen eine Struktur für die eindeutige Einteilung und Unterscheidung von Objekten und dienen als Grundlage für den standardisierten Austausch von Informationen. Aktuell ist in der Praxis dieser Austausch von Informationen nur bedingt domänenübergreifend möglich und beschränkt sich somit auf das Anwendungsgebiet des jeweiligen Datenkatalogs. Innerhalb der BIM-Methodik ist eine effiziente Verwendung von semantischen Informationen jedoch nur dann möglich, wenn diese einheitlich klassifiziert sind. Insbesondere für die durchgängige Nutzung von Daten über den Bauwerkslebenszyklus hinweg lassen sich Klassifikationen nutzen, um Richtlinien, Gesetzestexte, Planungsdaten und Herstellerinformationen an ein Gebäudemodell, im offenen IFC-Standard, anzuknüpfen und für die Betriebsphase von Bauwerken zur Verfügung zu stellen. Hierbei spielt vor allem die Verwendung von standardisierten, offenen Formaten (OpenBIM) eine entscheidende Rolle. Die Strukturierung und Verknüpfung von Merkmalen und Klassifikationen erfolgt auf Basis der DIN EN ISO 23386:2020-11.

In der Bauindustrie wird mit mehreren Positionspapieren aktiv Stellung zu Themen und Entwicklung des Bausektors bezogen. Das Positionspapier *BIM im Hochbau* der deutschen Bauindustrie und der Arbeitsgruppe Hochbau trägt zur Standardisierung der Informationsbasis im Bauprozess – aus Sicht der bauausführenden Unternehmen bei. Unter anderem werden in diesem Dokument Datenaustauschszenarien für definierte Zeitpunkte und Qualitäten festgelegt. So wird in dem Datenaustauschszenario für die Ausführungsplanung (AS2) die Informationslieferung von Planenden zu Bauunternehmen beschrieben. Die beigefügte Anlage 1 umfasst die Mindestanforderungen an die Modellelemente, deren Detaillierungstiefe mit Angaben zum LoG und LoI in den Austauschszenarien festgelegt wird. Auf weitere aktuell relevante Standardisierungsaktivitäten wird im Kapitel 5 ausführlich eingegangen.

1.4. Vorgaben aus der Praxis

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden neben den technischen und rechtlichen Vorgaben ebenfalls Anforderungen aus der Praxis betrachtet. Für diesen Zweck wurden beispielhafte Projekte aus der Praxis ausgewertet. Ziel war es, die typischen Lieferleistungen in der Ausführungsplanung (nach HOAI-Leistungsphase 5) zu identifizieren, um diese u.a. mit den Anforderungen an die Planungsergebnisse aus der HOAI und anderen technischen und rechtlichen Vorschriften abzugleichen und mit diesem praxisnahen Vorgehen eine Identifizierung der relevantesten Aspekte zu erreichen. Außerdem wurden die Praxisprojekte bzgl. der modellbasierten Umsetzung untersucht. Der Fokus lag darauf, zu betrachten, welche Lieferleistungen modellbasiert erfolgen und demnach geprüft werden können.

In einem ersten Schritt wurden anonymisierte Beispielprojekte aus dem Hochbau betrachtet, die nicht als BIM-Projekte ausgeschrieben wurden. Aus den Projekten wurden die vertraglichen Bestandteile (z.B. Auftraggeber- Informationsanforderungen) und die Dokumentenliefer-, Plan- oder Modelllisten herangezogen, um die Lieferleistungen der Ausführungsplanung zu identifizieren. Dabei wurden übergeordnet die in Tabelle 1 aufgeführten konventionellen Lieferleistungen ermittelt, die abhängig der jeweiligen Projektspezifika gefordert wurden.

Im Fokus des Forschungsvorhabens lagen vor allem digitale Lieferleistungen. Aufgrund der verschiedenen Projektspezifika Umsetzungstiefen der BIM-Leistungen und fehlenden Vorgaben an digitalen Planungsleistungen unterscheiden sich die Projekte in der Praxis. Die konventionellen Leistungen in Tabelle 1 wurden nach ihrer Relevanz für eine modellbasierte Prüfung bewertet und sortiert. Die Leistungen sind in der Tabelle je nach Relevanz farblich gekennzeichnet.

Planung	Lieferobjekt	Darstellungsinhalte
Objektplanung	Ausführungspläne	z.B. Grundrisse, Bodenspiegel, Schnitte Ansichten, Legende, Planstempel
	Detailzeichnungen	z.B. Bodenaufbauten, Türen, Dachbegrünung, Fassadendetails
	Textliche Ausführungen	
Tragwerksplanung	Schalpläne	z.B. Grundrisse, Schnitte, Details, Planstempel, Legende, Expositionsklassen, Betongüten, Betondeckung
	Bewehrungs-, Stahlbau-, Holzkonstruktionspläne	z.B. Grundrisse, Schnitte, Details, Planstempel, Legende, Stahlliste, Stabliste – Biegeformen, Biege- und Verlegeanweisung
	Stahl-/Stücklisten	
Technische Ausrüstung	Gewerkspezifische Ausführungspläne	z.B. Sanitär, Heizung/Kälte, Raumluftechnik, Elektrotechnik, Blitzschutz
	Berechnungen	z.B. Heizlastberechnung, Heizkörperauslegung, Rohrnetzberechnung
	Funktions- und Strangschemata	
	Schlitz- und Durchbruchpläne	

Tabelle 1: Konventionelle Liefergegenstände aus den Beispielprojekten (Grün: Relevant für eine modellbasierte Überprüfung; Orange: Teilweise relevant für eine modellbasierte Überprüfung; Rot: Nicht relevant für eine modellbasierte Überprüfung)

Auf Grundlage dieser Bewertung wurde in einem zweiten Schritt ein konkretes Projekt aus den betrachteten Beispielprojekten ausgewählt und hinsichtlich der geforderten Fachmodelle in der Ausführungsplanung konkreter ausgewertet. Das Projekt stammt ebenfalls aus dem Hochbau und wurde mit dem Ansatz Open-BIM umgesetzt.

Fachmodell	Lieferobjekt	LoD	Datei-Format
Objektplanung	Teilmodell Rohbau	300	IFC
	Teilmodell Fassade	300	IFC
	Teilmodell Ausbau	300	IFC
Tragwerksplanung	Teilmodell Sperrzonen	300	IFC
	Teilmodell Gründung	300	IFC
	Teilmodell Rohbau	300	IFC
Technische Gebäudeausrüstung (TGA)	Teilmodell Heizung	300	IFC
	Teilmodell Klima	300	IFC
	Teilmodell Lüftung	300	IFC
	Teilmodell Sanitär	300	IFC
	Teilmodell Sprinkler	300	IFC
	Teilmodell Elektro	300	IFC
	Teilmodell Beleuchtung	300	IFC
	Teilmodell Mess-Steuerungs- und Regelungstechnik	300	IFC
	Teilmodell Aussparungen und Einlagen	300	IFC

Tabelle 2: Digitale Liefergegenstände aus dem BIM-Beispielprojekt

Bei der Auswertung (vgl. Tabelle 2) ist zu erkennen, dass die geforderten Fachmodelle eine ähnliche Struktur aufweisen, wie die konventionellen Lieferleistungen aus dem ersten Schritt. Nicht alle der konventionellen Lieferobjekte werden vollständig durch die geometrischen und semantischen Informationen in Fachmodellen ersetzt, sodass die in der Tabelle 1 rot hinterlegten Punkte für eine Modellprüfung im Rahmen dieses Forschungsvorhaben nicht in Frage kommen. Die grün eingefärbten Punkte wurden als relevant herausgestellt, während die orangen markierten Punkte zumindest teilweise relevant für die modellbasierte Überprüfung sind.

Die Fachmodelle werden in der Ausführungsplanung mit einem Modelldetaillierungsgrad (engl. Level of Detail, LoD) von 300 gefordert (siehe Tabelle 2). Bei den Detaillierungsgraden ist eine Einteilung in die 5 Level 100, 200, 300, 400 und 500 üblich. Ab dem LoD 300 sind die notwendigen und von Auftraggebern geforderten Informationen enthalten, die eine automatisierte Überprüfung in der Leistungsphase 5 ermöglichen. Die geforderten Merkmalsgruppen und Merkmale werden in der Regel von Auftraggebern je Leistungsphase in der geforderten Informationstiefe (Level of Information Need) vorgegeben.

Nach BIM Deutschland ist das übliche Vorgehen, dass die Informationen in Themenbereiche strukturiert werden. Dabei wird zwischen projekt- und bauwerksübergreifenden und bauteilabhängigen Informationen unterschieden. Daraus kann beispielsweise jeweils eine Merkmalsgruppe für Projekt-, Bauwerks- und Bauteilinformationen abgeleitet werden. Weitere Merkmalsgruppen können anwendungsbezogen und bedarfsgerecht ergänzt werden (z.B. Kosteninformationen).

Im betrachteten Beispielprojekt wurden zwei Merkmalsgruppen (engl. PropertySet) definiert. In der ersten Merkmalsgruppe sind allgemeine Merkmale enthalten, die für alle Bauteile gefordert werden (siehe Tabelle 3). Diese beziehen sich zum Beispiel auf die Bauteilklasse oder die Lage des Bauteils im Projekt und können unabhängig von der Bauteilart angegeben werden.

Attribut	Beschreibung	Beispielangaben	LPH2	LPH3	LPH4	LPH5
IFC-Element	IFC-Klassifizierung	XYZ	X			
Umbaustatus	Angabe des Umbaustatus	Bestand	X			
Typ/Bezeichnung	Bauteilbezeichnung	Einzelfundament, Streifenfundament	X			
Bauteilzuordnung	Zuordnung Gebäude / Bauabschnitt	A, B, C, D, E, F, G etc.	X			
Geschoss	Zuordnung Geschoss	U2, U1, E0, E1, E2, ... etc. ET, ED gem. AIA	X			
Lage Gebäudebezogen	Angabe außen- oder innen liegend	innen, außen, nicht definiert	X			
CAD-Layer	Bauteil-Layer	XXXX-kommt automatisch gem. CAD	X			

Tabelle 3: Merkmalsgruppe für allgemeine Merkmale

In der zweiten Merkmalsgruppe sind unterschiedliche Merkmale je nach Bauteil enthalten. Diese beziehen sich auf bauteilspezifische Charakteristika. In Tabelle 4 sind beispielhaft die Merkmale für Gründungsbauteile aufgeführt. Die Merkmale Betongüte und Expositionsklasse sind neben Gründungsbauteilen beispielsweise auch für Geschossdecken gefordert. Bei Bauteilen, die nicht aus Beton bzw. Stahlbeton sind wie z.B. TGA-Bauteilen oder Türen, sind jedoch andere Merkmale notwendig.

Attribut	Beschreibung	Beispielangaben	LPH2	LPH3	LPH4	LPH5
tragende Funktion	Angabe zur Tragfähigkeit eines Bauteils	tragend, nicht tragend, nicht definiert		X		
Material	Baustoff	Stahlbeton		X		
Besonderheit	wenn vorhanden	XYZ				X
Betongüte	Druckfestigkeitsklassen	C30/37; C25/30				X
Expositionsklasse	Bezogen auf Bewehrungskorrosion	XC1, XC2, XC3, XC4				X

Tabelle 4: Zweite Merkmalsgruppe für bauteilspezifische Merkmale

Die technischen Vorgaben für die Ausführungsplanung beruhen auf den Resultaten der Entwurfs- und Genehmigungsplanung (LPH3 und LPH4). Die HOAI-Leistungsbilder ziehen für die Detaillierungstiefe der planerischen Ausarbeitung noch bestimmte Maßstäbe wie 1:50 bis 1:1 heran. Diese Beschreibung einer bestimmten Planungstiefe mittels Maßstäbe ist durch die digitale Modellierungspraxis weitestgehend überholt. Dementsprechend wurden für digitale Planungsansätze ergänzende Leistungsbeschreibungsformen herangezogen. Erste Ansätze finden sich etwa in der Veröffentlichung der Bundesarchitektenkammer „BIM für Architekten“, auf die nachfolgend beispielhaft eingegangen wird. Eine vertiefte Darstellung findet sich zudem im AHO² Heft 11, Leistungen Building Information Modeling – die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI, Stand Januar 2019. Die Grundleistungen der Leistungsphase 5 für die Planungsdisziplin Objektplanung Gebäude und Innenräume sind nachfolgend beispielhaft in Tabelle 5 abgedruckt.

LPH Leistungsbeschreibungen der Grundleistung nach HOAI	%	BIM-Leistungen und Modelldetaillierungsgrad (MDG)
Ausführungsplanung	25%	BIM-Leistungen (Konstruktion und Integration)
a) Erarbeiten der Ausführungsplanung mit allen notwendigen Einzelangaben (zeichnerisch und textlich) auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bis zur ausführungsreifen Lösung als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen b) Ausführungs-, Detail- und Konstruktionszeichnungen nach Art und Größe des Objekts im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen (zum Beispiel bei Gebäuden im Maßstab 1:50 bis 1:1, zum Beispiel bei Innenräumen im Maßstab 1:20 bis 1:1) c) Bereitstellung der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung		Durcharbeiten des 3-D-Datenmodells auf Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bis zum Darstellen der ausführungsreifen Lösung und als Grundlage für Lph 6. Definition der endgültigen Gebäude- bzw. Bauteilgeometrie und Materialität. Fortschreiben der Eigenschaftsdatensätze, Übernahme der im Zuge der Ausführungsplanung erarbeiteten Informationen. Das 3-D-Datenmodell ist den anderen an der Planung fachlich Beteiligten als Planungsgrundlage bzw. als Referenzmodell zur Verfügung zu stellen. Deren Leistungen bzw. Ergebnisse der Planung in Fachmodellen oder weitere Angaben sind in das 3-D-Modell zu integrieren. Dies sind z.B. folgende Anforderungen: - Tragwerksplanung: Endgültige Bauteildimensionierung, Materialangaben, Einbauteile - Technische Ausrüstung: Durchbrüche, Schlitze, Einbauteile, Installationszonen - Brandschutz: Endgültige Bauteilanforderungen - Bauphysikalische Daten: Endgültige Eigenschaften Anhand des 3-D-Datenmodells erfolgen u.a.:

² Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.

LPH Leistungsbeschreibungen der Grundleistung nach HOAI		BIM-Leistungen und Modelldetaillierungsgrad (MDG)
fachlich Beteiligten sowie Koordination und Integration von deren Leistungen d) Fortschreiben des Terminplans e) Fortschreiben der Ausführungsplanung auf Grund der gewerkorientierten Bearbeitung während der Objektausführung f) Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Objektplaner geplanten Baukonstruktionen und baukonstruktiven Einbauten und Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung		- Fortschreibung der Qualitäten und Mengen als Grundlage für das Erstellen der Leistungsbeschreibungen in Lph6 - Fortschreiben des Ausführungsplanmodells MDG 300 aufgrund der gewerkorientierten Bearbeitung während der Objektausführung - Modellbasierte Konsistenz- und Kollisionsprüfungen innerhalb des Leistungsbereiches Objektplanung Besondere Leistungen: Leistungsbereichsübergreifende Konsistenz- und Kollisionsprüfung und Bereitstellen eines koordinierten Datenmodells für die Ausführung. Bewertung: BIM-Koordination 2,0 bis 3,0 v.H. Modellbasierte Terminplanung, Bauablaufsimulation und Kostenkontrolle (BIM-Anwendungsfälle 4-D und 5-D). Bewertung: Als Fortschreibung Lph 3 jeweils 0,5 bis 1,0 v.H. Ergänzung der Modellelemente um betriebsrelevante Eigenschaften. Bewertung: Nach Aufwand
		Weiterentwicklung des Datenmodells in einem an die spezifischen Anforderungen der beauftragten Firmen angepassten Format zur Herstellung von Werkstatt- und Montagezeichnungen. Bewertung: Nach Aufwand, spezifische Anforderungen können erst nach Beauftragung der ausführenden Firmen festgelegt werden. Prüfen der Werk- und Montageplanung eines ausführenden Unternehmens und Datenkonformität. Bewertung: Nach Aufwand
Modelldetaillierungsgrad MDG 300 (ähnlich LOD 300)		3-D-Datenmodell mit detaillierter, spezifischer und ausführungsreifer Modellierung von Bauteilen und Bauteilgruppen mit präzisen Angaben zu Abmessungen, Form, Lage und Ortsbezug sowie Mengen. Die Eigenschaften sind bei öffentlichen Aufträgen produktneutral zu definieren.
Ergebnis des modellbasierten Arbeitens Lph 5 (ggf. einschl. Besonderer Leistungen)		Integriertes, qualitätsgesichertes und bereinigtes 3-D-Datenmodell als Ausgangsbasis für folgende Lph, aus dem der Informationstiefe der Lph entsprechend 2-D-Ausführungszeichnungen sowie Grundlagen für Detail- und Konstruktionszeichnungen in 2-D-Darstellung generiert werden. Es dient als Grundlage zur Fortschreibung der Ausführungsplanung aufgrund der gewerkorientierten Bearbeitung während der Objektausführung und zur Erstellung der Werk- und Montagepläne der ausführenden Firmen.

Tabelle 5: BIM-Leistungen und Modellierungsdetaillierungsgrad

Die Planungstiefe wird hier durch den Begriff MDG (Modelldetaillierungsgrad) beschrieben. In Folgeauflagen wird die AHO-Fachkommission diese Modellierungsgradanforderungen voraussichtlich entsprechend der DIN EN 17412-1:2020 in LOIN-Anforderungen ausdrücken.

Für eine bessere Einordnung der LPH5 wurde daher auf Grundlage der Publikation *BIM für Architekten – Leistungsbild, Vertrag, Vergütung*³, eine Übersicht erstellt. Die Tabelle 6 zeigt Detaillierungsvorgaben, die es in der jeweiligen Leistungsphase für die Objektplanung mindestens zu erfüllen gilt. Es wird durch die tabellarische Einordnung ersichtlich, welche Attribute und systemgenerierte Attribute für Räume und Bauelemente im BIM-Modell zusätzlich zur LPH4 in der LPH5 mindestens berücksichtigt werden müssen. Die Attribuierung ist in LPH5

³ Veröffentlicht von der Bundesarchitektenkammer

so vorzusehen, dass die zu den Grundleistungen gehörenden BIM-Anwendungsfälle abgedeckt werden können, wie die für die Ausführung notwendigen Material- und Konstruktionsangaben und die für die Ausschreibung benötigten Mengen- und Stücklisten. Zusätzlich soll die Attribuierung auch qualitative Angaben abdecken, die für die Erstellung von Leistungsverzeichnissen benötigt werden. Bauteilattribute beinhalten alle notwendigen Parameter für die Mengenermittlung und die Erstellung der Leistungsverzeichnisse. Diese Parameter umfassen insbesondere das Material, die geforderte Güte und funktionale sowie ästhetische Anforderungen. Die Mengen können vom System generiert werden. In Leistungsphase 5 werden hierzu nun gegebenenfalls Berechnungen hinterlegt, die z.B. Öffnungen normgerecht berücksichtigen. Für Elemente, die nicht explizit als einzelne Bauteile modelliert werden wie z.B. Ausstattung und Bekleidungen, werden die notwendigen Informationen als Raumattribute hinterlegt. Die Mengen dieser nicht modellierten Bauteile können so über die systemgenerierten Flächen und Volumina der Räume erfasst werden.

Räume (LPH2)	Bauelemente (LPH2)	Räume (LPH3/4)	Bauelemente (LPH3/4)	Räume (LPH5)	Bauelemente (LPH5)
Attribute: • Raumnummer • Raumname • Nutzungsart • (nach DIN 277) • Zuordnung Raum- und Funktionsprogramm	Attribute: • Bauteiltyp • Lage (außen/innen) • Tragfunktion (tragend/n. tragend) • Umbaustatus (Abriss, Erhalt, Neu) – bei Umbauten	Attribute: • Bodenbelag • Deckenbekleidung / Unterdecke • Wandbekleidung • Anforderungen an Barrierefreiheit • Klimatische Anforderungen (Raumtemperatur, etc.)	Attribute: • Brandschutzanforderungen (Feuerwiderstandsklasse) • Energetische Kennwerte (U-Wert) • Schallschutzanforderungen • Material / Konstruktionsart	Attribute: • Ausstattungsmerkmale, die nicht als Objekte erstellt werden • Bekleidungsmerkmale, die nicht als Objekte erstellt werden	Attribute: • Materialaufbau mit Schichtdicken • Materialeigenschaften (Betongüte, Mauerwerksgüte, etc.) • Tür- und Fenstereigenschaften (für Tür- und Fensterlisten)
System-generierte Attribute: • Zuordnung Gebäudegliederung (Geschoss) • Nettofläche (geometrisch) • Nettovolumen (geometrisch)	System-generierte Attribute: • Zuordnung Gebäudegliederung (Geschoss)	System-generierte Attribute: • Lichte Höhe (geometrisch) • Nettoumfang (geometrisch)	System-generierte Attribute: • Bauteiltypische Abmaße (Wanddicke, etc.) • Nettogrundfläche (geometrisch) • Nettovolumen (geometrisch)	System-generierte Attribute: • Normgerechte Raumflächen (DIN 277) • Normgerechte Raumvolumen (DIN 277)	System-generierte Attribute: • Ggf. normgerechte Bauelementmengen für Ausschreibungsunterlagen

Tabelle 6: Attribuierung nach Leistungsphasen (In Anlehnung an Quelle: BIM für Architekten - Leistungsbild Vertrag Vergütung - Bundesarchitektenkammer)

Nach dieser groben Einordnung der Leistungsphase 5 wird im vorliegenden Projekt eine Prüf- und Übersichtsmatrix erarbeitet und dargelegt, die Bauteile auflistet, welche in der Ausführungsplanung im BIM-Modell essenziell sind. Dafür wurden unter anderem Normen, vorhandene Modellierungsrichtlinien und die Praxisbeispiele untersucht, um wichtige Hauptbauteile zu identifizieren. Darüber hinaus wurden wesentliche TGA-Elemente sowie spezielle Objekte, die im Rahmen eines BIM-Modells der LPH5 relevant sind, aufgelistet. Die Recherchen ergaben abschließend, dass es bisher keine eindeutige und bauteilorientierte Checkliste für BIM-Modelle in der Leistungsphase 5 gibt.

In der Tabelle wird zunächst eine Zuordnung vorgenommen, ob die Informationen der Ausführungsplanung in den Lieferleistungen geometrisch oder semantisch hinterlegt sind (vgl. Tabelle 7). Diese Unterscheidung ist wichtig, da sich die Art der Überprüfung des Modells an dieser Stelle grundsätzlich unterscheidet. Semantische Prüfungen untersuchen ein Modell auf das Vorhandensein von Merkmalsgruppen und Merkmalen und auf Richtigkeit und Plausibilität der Merkmalswerte. Geometrische Prüfungen werten die geometrischen Informationen der Modellobjekte aus und untersuchen diese nach spezifischen Aspekten, z.B. Abstandsprüfungen und Kollisionsprüfungen.

Liefer- und Prüfgegenstände/ Lieferobjekt	Darstellungsinhalte	geometrisch	semantisch
Objektplanung - Ausführungspläne (M 1:50)	Legende und Planstempel		X
	Grundrisse, Schnitte, Ansichten, Boden- und Deckenspiegel	X	
Objektplanung - Detailzeichnungen (1:5, 1:10)	Bodenaufbauten, Türen, Dachaufbau	X	
Objektplanung - Fassadenschnitte (1:20)	Fassadendetails	X	
Objektplanung - Textliche Ausführungen	keine Darstellungsinhalte		X
Tragwerk - Schalpläne	Legende und Planstempel		X
	Grundrisse, Schnitte, Details	X	
	Expositionsklassen, Betongüten, Betondeckung		X
	Schlitz- und Durchbruchpläne	X	
Tragwerk - Bewehrungspläne	keine Darstellungsinhalte	X	
Tragwerk - Stahlisen und Stücklisten	keine Darstellungsinhalte	X	
TGA - Ausführungspläne (M 1:50)	Legende und Planstempel		X
	Funktions- und Strangschemata	X	
	Schlitz- und Durchbruchpläne	X	
TGA - Berechnungen	Anlagenbemessung		X
Brandschutz - Ausführungspläne (M 1:50)	Legende und Planstempel		X
	Brandmelde- und Alarmierungskonzept	X	
	Feuerwiderstandsklasse/Brandschutzkonzept (bauliche, anlagentechnische und betriebliche Maßnahmen) (LPH3/4)		X
Kanalplanung - Ausführungspläne	Legende und Planstempel		X
	Grundrisse, Schnitte, Details	X	
Kanalplanung - Berechnungen	Konkretisierung Bemessungen LP3/4		X
	Abflussberechnung (Schmutzwasser, Regenwasser)		X
Außenanlagen - Ausführungspläne	Legende und Planstempel		X
	Grundrisse, Schnitte, Details	X	

Tabelle 7: Prüfmatrix LPH5 Teil 1 – Darstellung im BIM-Modell

Die Identifikation von relevanten Bauteilen dient dazu, die rechtlichen und technischen Vorgaben gezielt nach ihrer Relevanz für Lieferleistungen der Ausführungsplanung untersuchen zu können. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden aus den Richtlinien und den Beispielprojekten insgesamt 45 Bauteile bzw. Objekte über alle Fachbereiche hinweg identifiziert und in der Tabelle aufgeführt, die von besonderer Relevanz für Hochbauprojekte in der Ausführungsplanung sind (Tabelle 8, Tabelle 9, Tabelle 10). Grundsätzlich ist es möglich, weitere kleinteiligere Objekte aufzuführen. Jedoch sind diese übergeordneten Bauteile die für die Ausführungsplanung relevanten Objekte, die eine Zurückweisung von Lieferleistungen nach sich ziehen können. Das Ergebnis der Auswertungen ist demnach, dass diese Objekte besonders für eine semantische oder geometrische Überprüfung in der Ausführungsplanung in Frage kommen.

Relevante Objekte	Raum	Wand	Decke	Boden	Treppe	Dach	Tür	Tor	Fenster	Wandbekleidung	Träger	Gründung	Stützen	Durchbruch	Fassade	Sonnenschutz	Abwasser- /Wasseranlagen	Gasanlagen	Sanitärmöbilar (WC...)	Rohre	Lüftungsanlagen	Lüftungskanal
Objektplanung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x						
Tragwerksplanung											x	x	x	x								
TGA - Allgemein														x			x	x	x	x	x	x
Brandschutz		x	x	x	x	x	x	x	x					x						x		
Kanalplanung																						
Außenanlagen																						

Tabelle 8: Prüfmatrix LPH 5 Teil 2 – Zuordnung der relevanten Objekte zu den Fachplanungen

Relevante Objekte	Raum	Wand	Decke	Boden	Treppe	Dach	Tür	Tor	Fenster	Wandbekleidung	Träger	Gründung	Stützen	Durchbruch	Fassade	Sonnenschutz	Abwasser	Gasanlagen	Sanitärmöbilar (WC...)	Rohre	Lüftungsanlagen	Lüftungskanal	Raum	Wand
Objektplanung																								
Tragwerksplanung																								
TGA - Allgemein	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											
Brandschutz													x	x	x	x	x	x						
Kanalplanung																							x	x
Außenanlagen																			x	x	x	x		

Tabelle 9: Prüfmatrix LPH5 Teil 3 - Zuordnung der relevanten Objekte zu den Fachplanungen

Fachmodelle	Objektplanung	Tragwerksplanung	TGA	Außenanlagen	LOIN
Objektplanung	x				400
Tragwerksplanung		x			400
TGA - Allgemein			x		400
Brandschutz	x		x		400
Kanalplanung					400
Außenanlagen				x	400

Tabelle 10: Prüfmatrix LPH5 Teil 4 – Zuordnung Fachmodelle zu Fachplanungen

1.5. Zusammenfassung

Die regelbasierte Prüfung kann in verschiedenen Phasen des Bauprozesses eingesetzt werden, z.B. in der Entwurfsphase, um sicherzustellen, dass die Pläne korrekt und vollständig sind, oder in der Bauphase, um zu überprüfen, ob die ausgeführten Arbeiten mit den Plänen übereinstimmen. Die Ausführungsplanung birgt ebenfalls viele Vorteile, da besonders bei dieser Leistungsphase viele fachspezifische Anforderungen zusammenkommen und als Prüfgegenstände modellbasiert geprüft werden können.

Die baurechtlichen Anforderungen etwa aus den Leistungsbildern der HOAI regeln die Anforderungen an die Ausführungsplanung nur abstrakt, indem dort angeführt wird, dass alle notwendigen Einzelangaben zeichnerisch und textlich zusammengestellt werden müssen, bis zu einer ausführungsfähigen Lösung als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen. Fazit ist deshalb, dass es keine abschließende Aufzählung von Anforderungen für eine Ausführungsplanung eines Bauprojektes geben kann, sondern diese von den konkreten Projekttypologien und den vertraglichen Anforderungen abhängen. Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Prüfanforderungen an die Daten der Ausführungsplanung, die einem Auftraggebenden als Ergebnis der Ausführungsplanungsleistung übergeben werden, anknüpfen sollen. Wer die Prüfung aus der Sicht der Auftraggebenden vornimmt, ob der Auftraggebende die digitale Prüfung selbst durchführt oder durch Dritte durchführen lässt, ist nicht entscheidend. Bedeutsam ist allerdings, dass sich die Prüfausrichtung auf digitale Planungsergebnisse einer Ausführungsplanung bezieht und nicht etwa Zwischenschritte im Prozess der Modellierung und Koordination zum Gegenstand hat. Ein zentrales Problem des Forschungsprojektes war es, dass die Daten eines Planungsmodells mit dem Leistungsstand „Abschluss der Ausführungsplanung“ gesetzlich nicht normiert sind. Beschreibungen dessen, was Planende im Rahmen der Ausführungsplanung vorzunehmen haben, finden sich etwa in den Leistungskatalogen der HOAI bzw. in den Leistungskatalogen diverser Marktteilnehmer für entsprechende Planungsleistungen, etwa auch in der RBBau für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes. Normiert sind allenfalls Teilaspekte von Planungsergebnissen. Etwa Anforderungen des öffentlichen Baurechts und auch die Anforderungen an eine einzureichende Baugenehmigung. Für die abzuliefernden Daten einer Ausführungsplanung existieren derartige Vorgaben indessen nicht. Des Weiteren zeigte die Auswertung der identifizierten Vorgaben im Forschungsprojekt, welche Bauteile für eine modellbasierte Prüfung in der Leistungsphase 5 relevant sind und besonders für eine semantische und/oder geometrische Überprüfung in Frage kommen.

Welche Informationen und Objekte in einer Ausführungsplanung Verwendung finden ist abhängig von dem Planungsinhalt. Der Planungsinhalt und die maßgeblichen Planungsdaten hängen vom Projekttyp, von den vertraglichen Anforderungen an zu erstellende Datenmodelle, von Genehmigungsanforderungen und sonstigen normativen Rahmenbedingungen ab. Alles dies muss im Rahmen einer Ausführungsplanung umgesetzt werden.

- Keine abschließende Aufzählung von Anforderungen für eine Ausführungsplanung eines Bauprojektes möglich, da diese von konkreten Projekttypologien und vertraglichen Anforderungen abhängen.

- Des Weiteren wurden baurechtliche Vorgaben, wie z.B. die HOAI auf Normqualität sowie auf Angaben von Lieferobjekten für die LPH5 überprüft.
- Vorreiter(forschungs)projekte, die sich mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen befassen, wurden analysiert und stellen teilweise Anknüpfungspunkte für das vorliegende Forschungsvorhaben.
- Anhand der Auswertung der Beispielprojekte wurde deutlich, dass eine sinnvolle Struktur und Vorgaben zu Merkmalsgruppen und Merkmalen von großer Bedeutung sind, da nur so sichergestellt werden kann, dass die notwendigen Informationen in den LPH5-Modellen hinterlegt werden.

2. Systematische Kategorisierung von Anforderungen für die Ausführungsplanung

Die betrachteten und teils angeschnittenen Vorgaben in Kapitel 1 wurden zunächst systematisch kategorisiert und priorisiert, da nicht alle Dokumente gleichermaßen relevante Informationen für die Ausführungsplanung beinhalten. So können bspw. Modellierungsrichtlinien und Normen einen starken Fokus auf die *Objektplanung*, *Tragwerksplanung* oder die *technische Gebäudeausrüstung* legen. Alle gesichteten und relevanten Unterlagen wurden daher fortlaufend in einer umfangreichen Tabelle aufgenommen und von der Projektgruppe kommentiert und organisiert abgelegt. Diese Tabelle wird als *Dokumenten katalog* bezeichnet und diente der übergeordneten Strukturierung der Unterlagen für das gesamte Forschungsprojekt und damit sowohl als Vorstufe zur Datenerfassung der darin enthaltenen Merkmale und Merkmalsgruppen mittels eines Excel-Tools als auch als Vorstufe für die Speicherung der Metainformationen mittels einer Eingabemaske.

2.1. Aufbau eines Dokumentenkatalogs für die Ausführungsplanung

Im Rahmen des Projekts wurden Anforderungen aus den erfassten Vorgaben hinsichtlich ihrer Eignung als Datengrundlage für das Forschungsvorhaben analysiert und bei Eignung mit einbezogen. Diese wurden in einen Dokumentenkatalog eingebunden. Bei der Auswertung wurde unter anderem untersucht, welche Beschreibungstechniken (z.B. digitale Checkliste, EDV-Tool usw.) für Planungsleistungen eingesetzt werden.

Der Dokumentenkatalog besteht aus Spalten, deren Einträge zeilenweise sowohl inhaltliche Hinweise als auch beschreibende Metainformationen zu einzelnen Dokumenten und Dokumentengruppen enthält. Als Dokumentengruppe wird hier eine durch Herausgeber gebundene Sammlung von Dokumenten verstanden, deren Betrachtung nur als Gesamtwerk sinnvoll sind, wie bspw. eine Richtlinie und ihre Anhänge oder Korrekturblätter. Es folgt eine Detaillierung der Spalten und ihrer Inhalte. Nicht alle Spalten erfordern eine tiefgreifende Detaillierung. Ausgenommen sind demnach Spalten wie bspw. *Bezeichnung*, *Namen*, *Quelle/Herausgeber*, Datum des *Inkrafttretens* oder die *Version* eines Dokuments.

Nummerierung

Als *Nummerierung* ist die fortlaufende Nummer als ganze Zahl einzutragen mit Minimum drei Stellen. Diese Zahl dient der Identifizierung der betrachteten Dokumente und wird einmalig vergeben. Handelt es sich allerdings um eine Dokumentengruppe (bspw. eine Richtlinie mit Anhängen), dann sollte die Nummer für die gesamte Gruppe gelten und Teildokumente über eine Punktnotation gefolgt von einer zweistelligen Zahl gekennzeichnet werden (siehe Abbildung 3). Jede weitere Verschachtelung der Dokumente kann nach demselben Verfahren hinzugefügt werden.

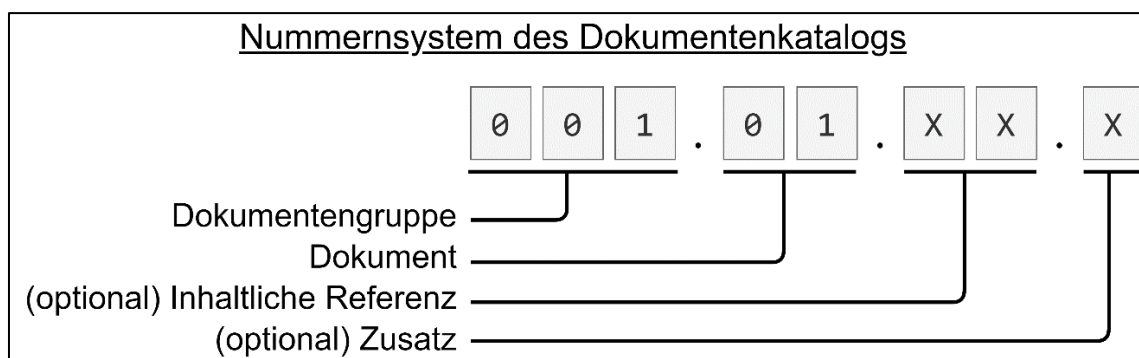


Abbildung 3: Nummernsystem für Einträge des Dokumentenkatalogs

Bezeichnung

Für die *Bezeichnung* eines Dokuments wird die spezifische Dokumentenkennung verwendet. Die Kennung kann alphanumerische Zeichen enthalten. Ggf. kann die Dokumentenart angegeben werden, die Aufschluss über den Typ eines Dokumentes gibt (z.B. VDI 4700 Blatt 1). Die Bezeichnung kann für mehrere Dokumente

derselben Dokumentengruppe gelten, welche sich dann in ihren Namen genauer untergliedern. Diese Untergliederung wird durch die Nummerierung im Datenkatalog verdeutlicht.

Typ

Für den *Typ* des vorliegenden Dokuments wird ausgewählt, ob es sich um ein *Forschungsprojekt*, *Gesetz*, *Norm*, *Positionspapier*, *Regelwerk*, *Richtlinie*, *Verwaltungsvorschrift* oder ein *anderes* Dokument handelt. Eine Dokumentengruppe muss inhaltlich mindestens einem Typ zugeordnet werden können.

Kurzfassung

Bei der Spalte *Kurzfassung* wird eine Zusammenfassung angegeben, welche den Fokus und Inhalt des Dokuments grob beschreiben. Diese ist möglichst knapp mit maximal zwei bis vier Sätzen zu tätigen und soll lediglich einen groben Überblick bereitstellen, und inhaltlich die Angaben in dem Dokument generell beschreiben. Die Kurzfassung umschreibt somit den Zweck des Dokuments und ordnet es einem Thema zu. Die thematische Zuordnung wird zusätzlich in den Spalten *Teilgebiet*, *Anwendungszweck* und *detaillierte Angaben zur Ausführungsplanung* konkretisierend herausgestellt. Wenn möglich, ist die Kurzfassung direkt aus dem jeweiligen Dokument mit Wortlaut zu entnehmen, um eine möglichst stichhaltige Angabe zum Inhalt aufzunehmen.

Gültigkeitsbereich

Mit der Spalte *Gültigkeitsbereich* wird erfasst, ob das vorliegende Dokument *international*, *national* oder *regional* gültig ist. Diese Angabe ist insbesondere für die Priorisierung und den Abgleich der Dokumente untereinander relevant.

Teilgebiet

Mit der Spalte *Teilgebiet* wird zusätzlich angegeben, welches Teilgebiet des Bauwesens (hier: Hochbau, Tiefbau, Sonstiges) das jeweilige Dokument thematisiert. Die Kategorie Hochbau wird zusätzlich in Untergebiete (z.B. Allgemein, Verwaltungs- und Bankengebäude, Wohnbauten usw.) unterteilt.

Anwendungszweck

Als *Anwendungszweck* wird die thematische Richtung des angegebenen Dokumentes festgehalten (z.B. Barrierefreiheit, Nachhaltigkeit, Kostenauswirkungen, usw.). Es handelt sich dabei um Stichpunkte, welche den Fokus des Inhalts nochmal zielgerichtet herausstellen. Diese können differenzierter ausfallen als es die Kurzfassung vorgibt. Findet ein Dokument themenübergreifend Anwendung, so ist dessen Anwendung nicht zwangsläufig auf einen Zweck eingeschränkt. Es sollte jedoch mindestens ein Anwendungszweck herausgestellt und die Angabe möglichst vollständig aufgenommen werden.

Detaillierte Angaben zur Ausführungsplanung

In dieser Spalte werden Angaben mit Bezug zur Ausführungsplanung gemacht. Es ist dabei der direkte Bezug zur HOAI-Leistungsphase 5 herauszustellen. Optional können hierbei genauere Angaben wie *Seiten*, *Kapitel*, *Abbildung* und *Tabellen* getätigt werden, welche als Indikatoren zur genaueren Untersuchung fungieren und bereits bei der ersten Sichtung aufgefallen sind.

Klassen oder Merkmale

Wenn möglich, sollen hier vor allem Angaben über die Granularität der beschriebenen Merkmale und Merkmalsgruppen getätigt werden. Es gilt herauszustellen, wie tiefgreifend die Detaillierung entnommen werden kann. Folgende Leitfragen sind hier zu beantworten:

- Werden lediglich Objekte beschrieben oder bereits konkrete Merkmalsgruppen und Merkmale angegeben?
- Werden Informationen bereits nach der Definition der LOIN aufgefasst?
- Wie vollständig sind die Angaben, in Hinsicht Typisierung, Definition, Enumeration oder Abhängigkeit?

Als konkretes Indiz zur Beantwortung der Fragen sind vor allem Dokumente mit einer tabellarischen Auflistung von Objekten und ihre benötigten Informationen relevant. Sind diese an sich vorhanden, so lässt sich die erste Frage mit *konkretisiert* (hohe Granularität) beantworten. Ist eine Unterteilung in Level of Geometry (LoG) und Level of Information (LoI) erkennbar, so lässt sich die zweite Frage als *LOIN-konform* beantworten. Sind dann auch noch technische Angaben zu den erforderlichen Datentypen und Schreibkonventionen erkennbar, so kann die letzte Frage je nach Detaillierung als *vollständig* beantwortet werden.

Planungsart

Im Bauwesen sind viele verschiedene Planungsarten anzusiedeln, die einen ganz bestimmten Adressaten, wie z.B. den Objektplanenden oder den TGA-Planenden, sowie ein ganz bestimmtes Lieferobjekt, wie z.B. das Fachmodell einer Objektplanung oder einer TGA-Planung, ansprechen. Unter *Sonstiges* fallen alle spezifischen Fachplanungen (z.B. eine Außenanlagen-Planung). Bei der Angabe der Planungsart wird das Dokument kategorisch folgenden Bereichen zugeordnet:

- Objektplanung
- Tragwerksplanung
- Technische Gebäudeausstattung (TGA)
- Sonstiges

Schlagworte

Als *Schlagwort* wird ein prägnanter Begriff verstanden, welchen im Nachgang für die Filterung von betrachteten Dokumenten dient. Für eine hinreichende Detaillierung sind dabei mindestens drei Schlagworte zu erfassen. Der wesentliche Unterschied zu den Angaben des Anwendungszwecks besteht in der Ausprägung der Wörter, welche auch elementare Begriffe und thematische Feinheiten sein können, die nur entfernt eine Bedeutung für das Dokument besitzen.

Seitenanzahl

Eine Angabe über die Anzahl der Seiten, die das vorliegende Dokument besitzt. Dies gibt ein Indiz für die Priorisierung und Relevanz des Dokumentes. Die Dokumente werden abhängig ihrer Seitenanzahl im weiteren Verlauf untersucht und können unter Umständen nur wenige Merkmale und Merkmalsgruppen enthalten, welche für die HOAI-Leistungsphase 5 von Bedeutung sind. Hiermit soll eine erste Einschätzung zum Umfang ermöglicht werden. Die Summe der Seitenanzahl gibt einen Aufschluss über den Umfang und die erbrachte Leistung im gesamten Projekt.

Priorität

Hierbei erfolgt die objektive Einschätzung der Projektgruppe. Das Dokument wird im Nachgang der Sichtung und Eintragung in den Datenkatalog auf Grundlage ihres Inhaltes bewertet. Dabei sind insbesondere die Angaben aus den Spalten *Anwendungszweck*, *Schlagworte*, *Gewerk/Fachmodell*, *Klassen und Merkmale*, sowie *Detaillierte Angaben zur Ausführungsplanung* bedeutsam, da diese eine direkte Einschätzung der vorliegenden Dokumente zulassen. Als Bewertungsrahmen wird eine Bewertungsskala von 3 (niedrige Priorität) bis 1 (hohe Priorität) vorgeschlagen. Mit einer hohen Priorität werden Dokumente bewertet, welche in den genannten Anforderungen eine hohe Granularität (bspw. eine detaillierte Tabelle mit Merkmalen für die Ausführungsplanung) aufweisen. In diesem Arbeitsschritt wurden Vorgaben sowie Anforderungen aus den erfassten Studien und Initiativen hinsichtlich ihrer Eignung als Datengrundlage für das Forschungsvorhaben analysiert und bei Eignung mit einbezogen. Im vorliegenden Berichtszeitraum wurden weitere baurechtliche Vorgaben, wie z.B. die VOB Teil C auf Normqualität sowie auf Angaben von Lieferobjekten für die LPH5 überprüft. Die VOB Teil C beinhaltet die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV), welche gleichzeitig auch als DIN-Normen herausgegeben werden. Diese DIN-Normen wurden in den Dokumentenkatalog eingebunden. Zum Beispiel liefert die DIN-Norm 18306 Entwässerungskanalarbeiten

ausführliche Angaben zur Ausführung der Kanäle, welche in der Ausführungsplanung zu berücksichtigen sind. Die Recherche, Analyse und Auswertung von technischen Vorgaben wird im weiteren Projektverlauf fortgeführt. Der Fokus liegt weiterhin auf der Einbindung von baurechtlichen Vorgaben (Normen, VDI-Richtlinien).

Es wurden Erweiterungen und Anpassungen an dem Katalog vorgenommen, welche überwiegend durch die vorliegende Vielfalt an Informationen und ihrer Notwendigkeit einer Präzisierung bedingt sind. So wurde die Spalte für *Priorität* aufgeteilt in die Spalten *Relevanz* und *Umsetzbarkeit*, wodurch eine genauere Auffassung über die Bewertung des Dokuments begünstigt und zugleich die Bewertung aus unterschiedlichen Perspektiven ermöglicht wird (siehe Abbildung 4).

Relevanz

Hierbei handelt es sich um eine thematische Einordnung des Dokuments, welche mit einer stufenweisen Wertung eine Einschätzung über den Stellenwert des Dokuments im Bereich der Ausführungsplanung vorgibt (z.B. high = explizite Norm zur LPH5; low = ein Positionspapier). Die Einschätzung erfolgt objektiv und orientiert sich im Wesentlichen an dem Typ der Unterlage (Norm, Richtlinie, Positionspapier und weitere). Wird ein Dokument als äußerst relevant eingestuft, dann ist es mit höherer Priorität zu verarbeiten.

Umsetzbarkeit

Bei der ersten inhaltlichen Prüfung der Dokumente ist nachzuprüfen, ob es konkrete Angaben zur Informationslieferung für die LPH5 im Dokument gibt. Als Indiz gelten konkrete Wertetabellen, Auflistungen, Begriffsdefinitionen und Datentypzuweisungen. Zur groben Einordnung werden folgende Stufen in Betracht gezogen:

Stufe 1: Es sind konkrete Regeln vorhanden, die man übersetzen und direkt ablesen kann.

Stufe 2: Es sind eher beschreibende Informationen enthalten, welche erst interpretiert werden müssen.

Stufe 3: Es sind eher Randinformationen vorhanden, welche tiefer analysiert werden müssen.

Dokumentenverzeichnis										
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Daten Tools Erweiterungen Hilfe										
100% € % .0 .00 123 Arial 10 B I A										
Numerierung										
	A	B	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Numerierung	Bezeichnung Dokumentenkennung	Planungsart Objektplanung	Planungsart TGA	Planungsart Tragwerksplanung	Planungsart Sonstiges	Schlagnamen	Seitenanzahl	Relevanz 1 (high) - 3 (low)	Umsetzbarkeit 1 (high) - 3 (low)
15	006.01	IDIS Webinar II	☐	☐	☐	☐	Digitale Normen Maschinenlesbarkeit	25	3	3
16	007.01	10.08.17.7-19.40 Projektbeschreibung	☒	☒	☒	☒	Allgemein	1	1	3
17	008.01	10.08.17.7-13.28 Projektbeschreibung	☒	☐	☐	☐	Tool	1	1	3
18	009.01	10.08.17.7-16.14 Endbericht	☒	☐	☐	☐	Allgemein	35	2	2

Abbildung 4: Anpassung der Priorität im Dokumentenverzeichnis als Relevanz und Umsetzbarkeit

Im Folgenden wird der Stand des Dokumentenverzeichnisses ausgewertet und analysiert. Abbildung 5 zeigt ein Kreisdiagramm, welches die Anteile einzelner Dokumententypen im Dokumentenverzeichnis in Prozent veranschaulicht. Der Dokumententyp "Norm" hat mit 63,4% den höchsten Anteil an dem Dokumentenverzeichnis. Im Vergleich zu den Typen "Norm" (63,4%), "Forschungsprojekt" (13,4%) und "andere Dokumente" (12,2%) haben die übrigen Dokumententypen relativ geringe Anteile. Das Kreisdiagramm in Abbildung 6 veranschaulicht, welchen Anteil die einzelnen Dokumententypen an der gesamten Seitenanzahl aller Dokumente haben. Den größten Anteil haben auch hier wieder Normen (52,7%). Aber auch Forschungsprojekte (23,1%) und Richtlinien (18,9%) liegen vorn. Insgesamt wurden Dokumente mit einer Gesamtzahl von 7541 Seiten in den Katalog eingebunden. Der im Rahmen des Projekts entwickelte Dokumentenverzeichnis ist als digitaler Anhang zur Verfügung gestellt.

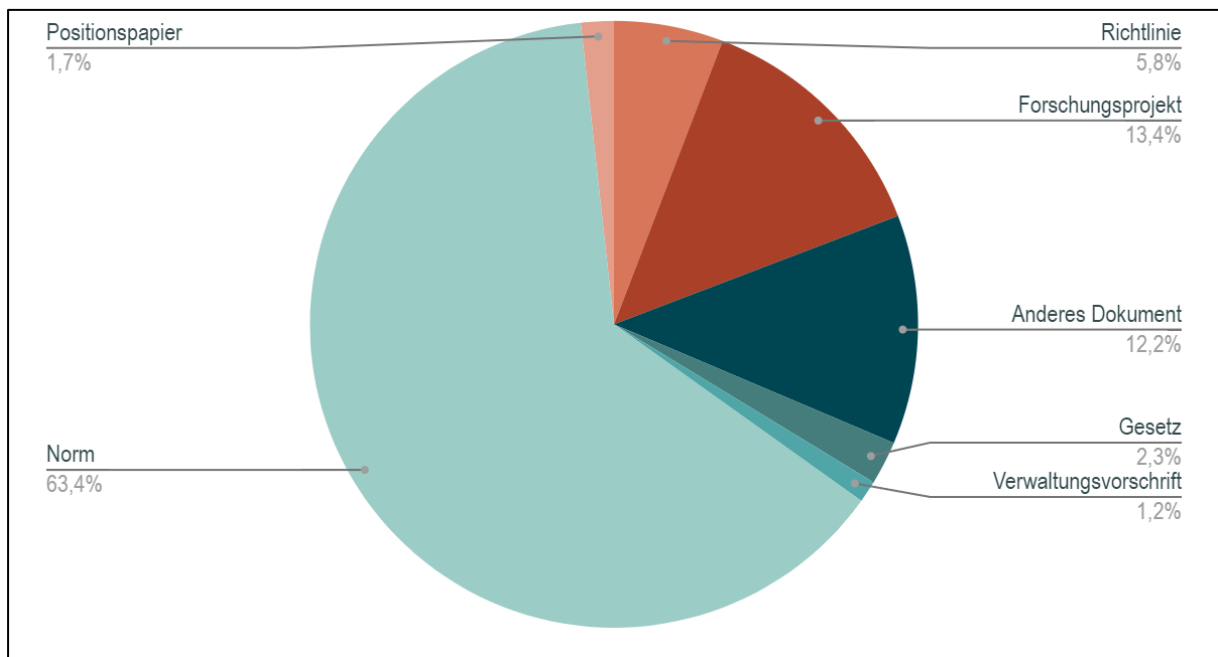


Abbildung 5: Das Kreisdiagramm zeigt die prozentuelle Verteilung der einzelnen Dokumententypen im Dokumentenverzeichnis, die erfasst und eingebunden wurden.

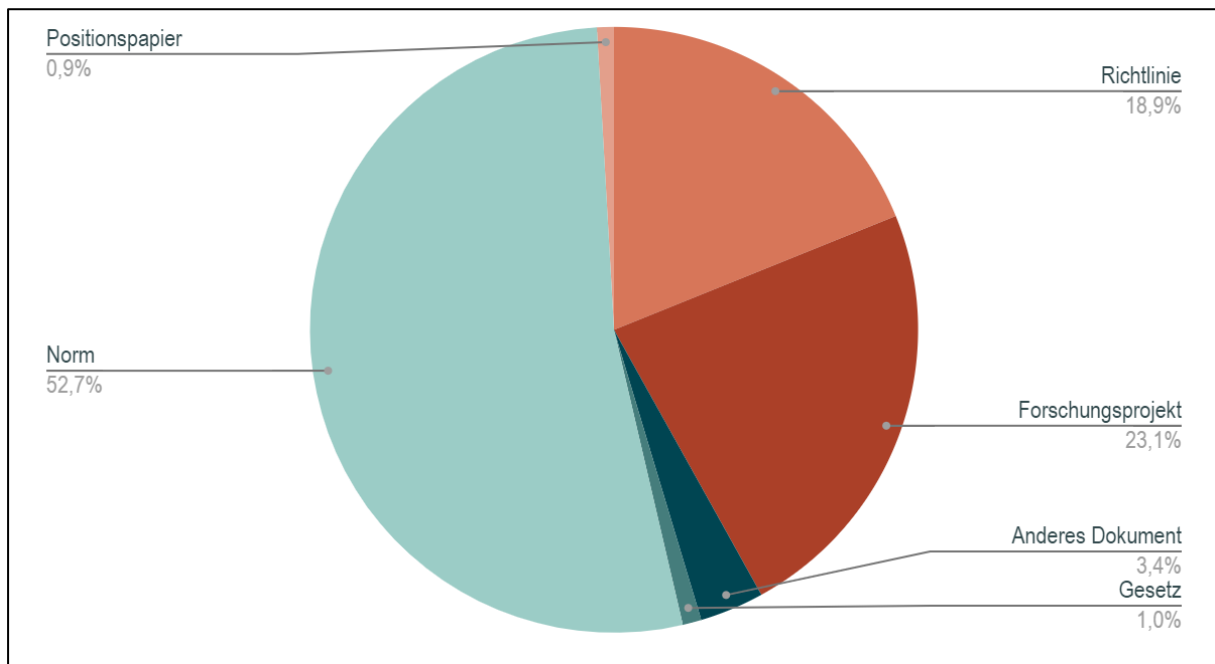


Abbildung 6: Das Kreisdiagramm zeigt, welchen Anteil die einzelnen Dokumententypen an der gesamten Seitenanzahl haben.

2.2. Relevante Standards

Datenkataloge bilden im Bauwesen eine Struktur für die eindeutige Einteilung und Unterscheidung von Objekten und dienen als Grundlage für den standardisierten Austausch von Informationen. Aktuell ist in der Praxis dieser Austausch von Informationen nur bedingt domänenübergreifend möglich und beschränkt sich somit auf das Anwendungsgebiet des jeweiligen Datenkatalogs. Innerhalb der BIM-Methodik ist eine effiziente Verwendung von semantischen Informationen jedoch nur dann möglich, wenn diese einheitlich klassifiziert sind. Insbesondere für die durchgängige Nutzung von Daten über den Bauwerkslebenszyklus hinweg lassen sich Klassifikationen nutzen, um Richtlinien, Gesetzestexte, Planungsdaten und Herstellerinformationen an ein Gebäudemodell, im offenen IFC-Standard, anzuknüpfen und für die Betriebsphase von Bauwerken zur Verfügung zu stellen. Hierbei spielt vor allem die Verwendung von standardisierten und offenen Formaten (OpenBIM) eine entscheidende Rolle. Die Strukturierung und Verknüpfung von Merkmalen und Klassifikationen erfolgt auf Basis der DIN EN ISO 23386:2020-11.

Konzepte und Grundsätze für die Festlegung der Informationsbedarfstiefe (engl. Level Of Information Need (LOIN)) und der Informationsbereitstellungen, die Bestandteil der Informationsaustauschprozesse während des Lebenszyklus von Gebäuden sind, werden in der DIN EN 17412-1:2020 aufgeführt. Die Konzepte beider Normen finden in diesem Projekt Verwendung und werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Die DIN EN ISO 23386:2020-11 umfasst generelle Hinweise, zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen, um einen qualitätsgesicherten, nahtlosen Austausch von Informationen zwischen den Beteiligten von BIM-Prozessen zu gewährleisten. Mit der Umsetzung der Norm und den enthaltenen Definitionen und Managementregeln soll die Interoperabilität zwischen Datenkatalogen und BIM- bzw. digitalen Werkzeugen hergestellt werden.

Im Zentrum steht dabei die Verknüpfung gleichartiger Merkmale in voneinander unabhängigen Datenkatalogen, um Uneindeutigkeiten und Dopplungen zu vermeiden. Die Verknüpfung gleichartiger Merkmale ist jedoch keine Voraussetzung für die Umwandlung eines Datenkatalogs in eine ISO-konforme Klassifikation. Eine Vereinigung von Merkmalen kann und soll nur erfolgen, wenn die Definition zweier Merkmale deckungsgleich ist. Durchgeführte Vereinheitlichungen schaffen Übersichtlichkeit und reduzieren den Mehraufwand in der Datenpflege. Der Zugriff

auf umfangreiche und neutrale Datenbestände soll allen Beteiligten im Bauwesen ermöglicht werden und so die Zusammenarbeit verbessern.

Auf Basis der digital aufbereiteten Merkmale und Merkmalsgruppen lassen sich bspw. für die systematische Erstellung von Informationsanforderungen nutzen. Die Detaillierung der Informationsbedarfstiefe mit Hilfe von Merkmalen befindet sich in Form der DIN EN 17412-1:2020 in der Standardisierung. Grundlage für die Informationsbedarfstiefe sind frei verfügbare Merkmale im ISO-konformen Datenformat.

Begriffe

Im Folgenden werden nur die wichtigsten Begriffe, die in der DIN EN ISO 23386:2020-11 Verwendung finden kurz erläutert. Eine vollständige Aufführung aller Begriffe würden den Rahmen dieses Berichts überschreiten. Für eine umfassende Erläuterung aller Begriffe sei auf den Normungstext verwiesen.

Datenkatalog

Ein Datenkatalog ist eine zentralisierte Sammlung von Daten, die über die Bedeutung, die Herkunft, die Verwendung, das Format und die Beziehung zu anderen Daten informiert. Hierbei ist zu beachten, dass eine Klassifikation bei ausreichender Dokumentationstiefe immer einen Datenkatalog darstellt. Ein Datenkatalog ist, aber nicht zwangsläufig eine Klassifikation.

Merkmal

Ein Merkmal beschreibt die inhärente oder erworbene Eigenschaft eines Objekts oder Gegenstandes. Ein Merkmal kann mehreren Merkmalsgruppen zugeordnet werden. Ein Merkmal stellt eine Ebene eines Klassifikationssystems dar.

Merkmalsgruppe

Eine Merkmalsgruppe stellt eine Sammlung von Merkmalen dar. Eine Merkmalsgruppe ermöglicht die semantische Strukturierung der ihr untergeordneten Merkmale. Eine Merkmalsgruppe kann eine der folgenden fünf Kategorien angehören:

- Klasse (z. B. Gipskartonplatte)
- Domäne (z. B. Wärme)
- Referenzdokument (z. B. Richtlinie DIN EN ISO 23386:2020-11)
- zusammengesetztes Merkmal (z. B. Komposition abhängiger Merkmale)
- alternative Verwendung (für alle Anwendungen, die nicht durch die oberen vier abgebildet werden können)

Die Organisation von Merkmalsgruppen erfolgt in Baumstrukturen. Jedes Merkmal einer Merkmalsgruppe wird an die ihr untergeordneten Merkmalsgruppen vererbt.

Die **DIN EN 17412-1:2020** beschreibt die konkreten Vorgaben für den Austausch von Informationscontainern. Die Norm stellt Konzepte und Prozesse vor, die den LOIN und die zugehörige Informationslieferung festlegen. Der LOIN gibt dabei den Detaillierungsgrad der Informationsbedarfstiefe. Eine spezielle LOIN bezieht sich immer auf einen definierten Anwendungsfall und einen bestimmten Meilenstein an den Informationen auszutauschen sind. Die Definition einer LOIN teilt sich in drei Unterkategorien auf. Den Detaillierungsgrad der Geometrie oder auch LoG (engl. Level of Geometry), den Detaillierungsgrad der gelieferten Informationen oder auch LoI (engl. Level of Information) und die Dokumentation in Form von ergänzenden Dokumenten. Der LOIN konkretisiert somit den Informationsbedarf eines Meilensteins im Lebenszyklus eines Gebäudes und des spezifischen Zwecks, auf Grund dessen eine Informationslieferung erfolgen soll.

Begriffe

Im Folgenden wird eine Auswahl der wichtigsten Begriffe, die in der DIN EN 17412-1:2020 Verwendung finden vorgestellt. Eine vollständige Aufzählung aller Begriffe würden den Rahmen dieses Berichts überschreiten. Für eine umfassende Erläuterung aller Begriffe sei auf den Normungstext verwiesen.

Informationscontainer

Ein Informationscontainer ist eine persistente Zusammenstellung von Informationen, die innerhalb einer Datei eines Systems oder einer Anwendungsspeicherhierarchie abrufbar sind. Unter persistenten Informationen sind alle Arten von Daten und Dokumenten zu verstehen, die innerhalb eines Dateisystems verwaltet werden können. Hierzu gehören auch Unterverzeichnisse oder Teilmengen von größeren Speicherstrukturen. Für die bessere Übersichtlichkeit sollte sich im Rahmen von Informationscontainern auf Benennungskonventionen verständigt werden.

Informationsbedarfstiefe

Die Informationsbedarfstiefe (engl. Level of Information Need) definiert den Umfang und die Detailtiefe von Informationen, die während einer Informationslieferung auszutauschen sind. Ein essenzieller Zweck der Definition einer LOIN ist es die Bereitstellungen von zu vielen bzw. überschüssigen Informationen zu verhindern. Dies sorgt für effizienten und schnellen Datenaustausch während einer Informationslieferung.

Meilenstein der Informationsbereitstellung

Der Meilenstein der Informationsbereitstellung terminiert den Zeitpunkt an dem der Austausch von Informationscontainern auf Basis eines zuvor vereinbarten LOIN.

Alphanumerische Informationen

Beschreibung von Detaillierung und Umfang der Information, die in Form von Zeichen, Ziffern und Symbolen oder Token, wie mathematischen Symbolen oder Interpunktionszeichen angegeben werden kann.

2.3. Implementierung einer Eingabemaske

Innerhalb des Projektes wurde eine Form für die Dokumentation von Anforderungen entwickelt werden. Der Fokus lag auf einem Konzept zur Überführung der gesammelten Vorgaben in eine maschinenlesbare Prüfgelsyntax. Die Aktualisierung von Vorgaben und die daraus entstehenden Anpassungsbedarfe sollen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Datensammlung enthält die wichtigsten Metainformationen des untersuchten und priorisierten Dokumentenkatalogs. Als Vorarbeit für eine maschinenlesbare Prüfgelsyntax sollen die gesammelten Metainformationen in der von der RUB entwickelten Graphdatenbank persistiert werden (Abbildung 9).

Für die Erfassung der Datenkataloge und der zugehörigen Metadaten aus dem Dokumentkatalog wurde im Projekt ein Eingabeformular entwickelt. Ein Auszug dieses Eingabeformulars ist in Abbildung 7 zu sehen. Die Benutzeroberfläche wurde, um eine gute Benutzbarkeit zu gewährleisten, mit Tooltips versehen, die Hilfestellung beim Ausfüllen der Metainformationen leisten (siehe Abbildung 7). Zusätzlich dazu wurde in das Formular eine JiT-Validierung (Just-in-Time) integriert. Diese gibt den Nutzenden während des Ausfüllens konkrete Informationen darüber, ob das jeweilige Feld korrekt ausgefüllt wurde und ob alle als verpflichtend markierte Felder ausgefüllt wurden. Ein Absenden des Formulars ist erst dann möglich, wenn alle Datenfelder des Eingabeformulars konform zur JiT-Validierung ausgefüllt sind. Im Anschluss an das Absenden des Formulars werden die eingegebenen Metadaten verarbeitet und über eine REST-konforme Schnittstelle an die Serverkomponente der Anwendung übergeben. Im Anschluss erfolgen eine erneute serverseitige Validierung der Daten und anschließend die Speicherung in der Datenbank.

The image shows a web form titled "Datenkatalog" with two input fields. The first field is labeled "Bezeichnung" with an information icon (i) and contains the text "z.B. VDI 4700 Bl". The second field is labeled "Name" with an information icon (i) and contains the text "z.B. Begriffe der". A blue tooltip box is positioned over the "Bezeichnung" field, containing the following text: "Für die Bezeichnung eines Dokuments wird die spezifische Dokumentenkennung verwendet. Die Kennung kann numerische sowie alphanumerische Zeichen enthalten. Ggf. kann die Dokumentenart angegeben werden, die Aufschluss über den Typ eines Dokumentes gibt. Die Bezeichnung kann für mehrere Dokumente der selben Dokumentengruppe gelten".

Abbildung 7: Beispiel für einen Tooltip in der Eingabemaske für Datenkataloge

Das zugrundeliegende Datenbankschema ist in der Terse RDF Triple Language (Turtle) beschrieben. Eine schematische Darstellung des Schemas findet sich in Abbildung 8. Die Beschreibung der Daten im Turtle-Format erlaubt eine schnelle und effiziente Abfragbarkeit der gespeicherten Daten. Die erfassten Daten werden in einem Apache Jena Fuseki Server abgespeichert. Ein Fuseki-Server stellt die gespeicherten Daten als Triples dar und über einen SPARQL-Endpunkt (SPARQL Protocol And RDF Query Language) zur Verfügung. Die Kommunikation zwischen der Benutzeroberfläche und der Graphdatenbank erfolgt in Form einer JSON-basierten Serialisierung. Die Wahl fiel auf eine JSON-basierte Datenserialisierung, da aktuelle Forschungen zeigen (Gerhart et al. 2015; Nurseitov et al. 2009), dass sich Daten im JSON-Format im Vergleich mit XML serialisierten Daten schneller verarbeiten lassen und eine höhere Parsingperformanz aufweisen.

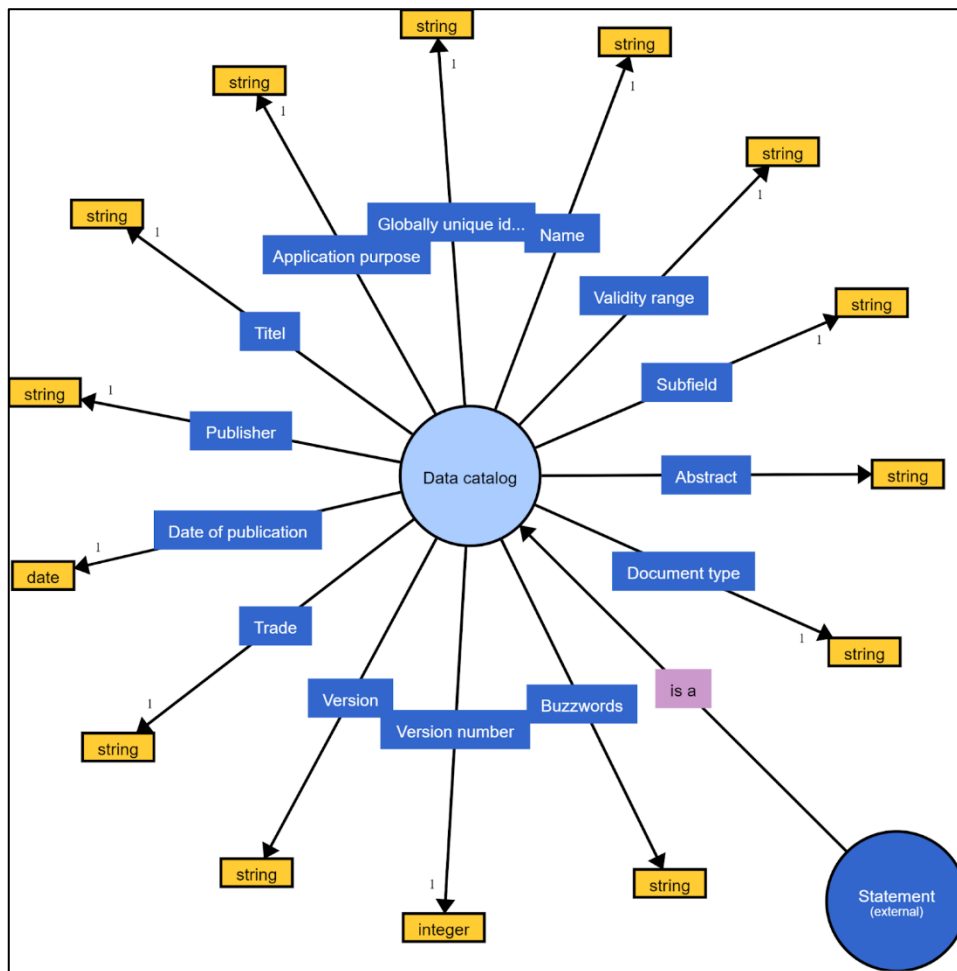


Abbildung 8: Visualisierung des Graphdatenbankschemas für Datenkataloge

Im Anschluss an die Erfassung und Speicherung der Informationen aus dem Dokumentenkatalog als Grundlage für die Überführung von Vorgaben in maschinenlesbare Prüfregrsyntaxen wurde ein Konzept für die initiale Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen nach DIN EN ISO 23386:2020-11 entwickelt.

Merkmale (Eigenschaften)					
Identifikator	Lfd.Nr.	Name (PA016)	GUID (PA001)	Beschreibung (PA018)	Beispiel
aut.	aut.	verpflichtend bitte angeben	GUID generieren	optional	opti
Merkmalsgruppen (Objekte)					
Identifikator	Lfd.Nr.	Name (GA016)	GUID (GA001)	Kategorie der Merkmalsgruppe (GA022)	
aut.	aut.	verpflichtend bitte angeben	GUID generieren	verpflichtend bitte auswählen	

Abbildung 9: Auszüge aus dem Excel-Tool zur Erfassung der Merkmale und Merkmalsgruppen

Am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen entstand im Verlauf früherer Forschungsprojekte zum Thema Merkmalsdatenerfassung ein Excel-Tool, welches eine Erfassung von großen Mengen an Merkmalen und Merkmalsgruppen auf einmal ermöglicht. Alle verpflichtenden und einige optionale Attribute aus dem Datenschema des Standards lassen sich über die Tabellen der Arbeitsmappe erfassen. Eine rudimentäre Erfassung der Beziehungen zwischen Merkmalen und Merkmalsgruppen ist ebenfalls über das Excel-Tool möglich. Eine Übersicht der einzelnen über das Excel-Tool erfassbaren Beziehungen ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Code GA23 beschreibt hierbei das Attribut "übergeordnete Merkmalsgruppe". Die Codes PA020/21 beschreiben die Beziehungen zwischen einem Merkmal und einer Gruppe (Attribut Merkmalsgruppe(n)) und zwischen zwei Merkmalen (Attribut verbundene Merkmale).

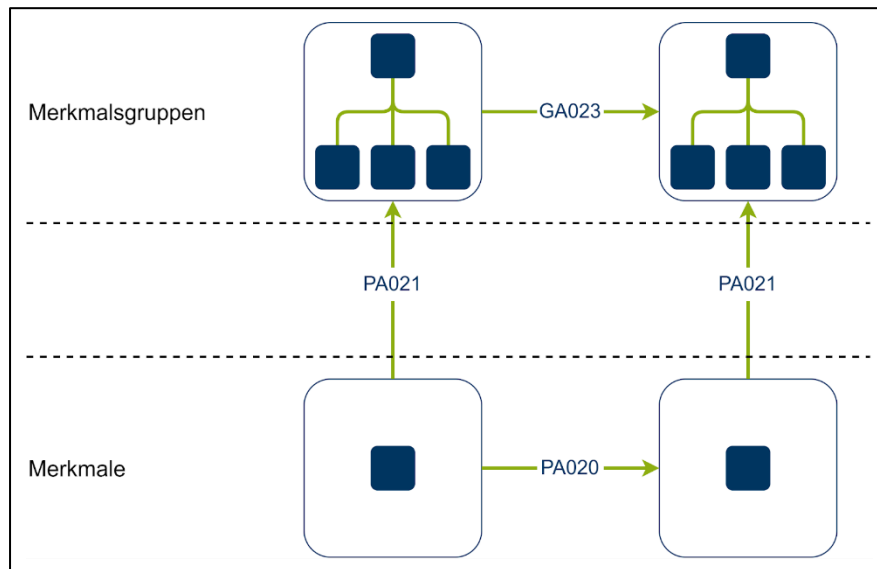


Abbildung 10: Beziehungen zwischen Merkmalen und Merkmalsgruppen

Erfahrungen aus früheren Projekten haben gezeigt, dass gerade die initiale Strukturierung und Erfassung von Beziehungen über das Excel-Tool sehr fehleranfällig ist. Aus diesem Grund befindet sich eine Anwendung in der Konzeptionierung, auf die im Ausblick dieses Berichts genauer eingegangen wird. Für die Erfassung sonstiger Attribute hat sich das Excel-Tool als praktikabel erwiesen und wird deshalb weiterhin innerhalb dieses Projekts Verwendung finden.

Innerhalb der Arbeitsmappen des Tools stellt jede Tabellenzeile ein konkretes Datum dar. Eine Zeile im Merkmalsgruppendatenblatt bildet somit eine konkrete Merkmalsgruppe ab und jede Spalte spiegelt ein Attribut aus dem Datenschema des Standards wider. Auf der Startseite des Tools findet sich neben Schaltflächen für den Export der Daten, auch eine Kurzanleitung, die erläutert, welche Besonderheiten bei der Befüllung einzelner Attribute zu beachten sind. Die Zuordnung von Beziehungen erfolgt über Zeilendropdowns. Innerhalb dieser Zeilendropdowns sind die bisher erfassten Merkmale und Merkmalsgruppen mit dem Namen aufgeführt.

Um die gesammelten und erfassten Attribute der Merkmale und Merkmalsgruppen in ein maschinenlesbares Format konvertieren zu können, verfügt das entwickelte Excel-Tool über einen in Visual Basic implementierten XML-Konverter. Die erzeugten XML-Dateien genügen einem XML-Schema (XSD), welches die Syntax des in der DIN EN ISO 23386:2020-11 vorgestellten Datenmodells widerspiegelt. Die Entwicklung dieses Schemas erfolgte ebenfalls in früheren Forschungsprojekten am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen. Die Verarbeitung und Speicherung der Merkmale und Merkmalsgruppen in einer Graphdatenbank geschieht aktuell noch prototypisch über eine Konsolenanwendung. Die Implementierung eines Benutzerinterfaces befindet sich ebenfalls in der Konzeption.

Neben den in der DIN EN ISO 23386:2020-11 geforderten Informationen werden zusätzlich noch die genauen Angaben erfasst, aus welchem Datenkatalog ein Informationselement stammt. Hierdurch ist gewährleistet, dass nachvollzogen werden kann, woher die jeweiligen Anforderungen aus einer erstellten Prüfregel stammen.

Auf Basis der digital bereitgestellten Merkmale und Merkmalsgruppen gemäß DIN EN ISO 23386:2020-11 lassen sich systematisch Informationsanforderungen erstellen, für die im Anschluss Prüfregeln, für eine formale Prüfung, generiert werden können. Die detaillierte Beschreibung der Informationsbedarfstiefe mithilfe von Merkmalen ist in der DIN EN 17412-1:2020 standardisiert. Grundlage, für die im Standard beschriebene Informationsbedarfstiefe, sind frei verfügbare Merkmale im ISO-konformen Datenformat. Konkret beschreibt die DIN EN 17412-1:2020 Vorgaben für den Austausch von Informationscontainern.

Für die systematische Verarbeitung von LOIN wird eine konkrete Datenbeschreibung benötigt, ähnlich wie es bei Merkmalen und Merkmalsgruppen der Fall ist. Der Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen war innerhalb des Projekts BIM-Deutschland an der Entwicklung eines solchen Datenformats beteiligt. Ergebnis dieser Bestrebungen war ein XSD-Schema mit dessen Hilfe LOIN-konform zur DIN EN 17412-1:2020 maschinenlesbar erzeugt werden können. Ein Auszug aus diesem Schema ist in Abbildung 11 dargestellt. Für ein konkretes LOIN werden neben dem Kontext (Meilenstein, Zweck, Akteur, Anwendungsfall, Fachmodell), die geometrischen Bedarfe, die alphanumerischen Informationen in Form von Merkmalen und Merkmalsgruppen und die benötigten Dokumente erfasst. Die Nutzung dieses Schemas innerhalb des Projekts gewährleistet somit auch, dass die erzeugten LOIN kompatibel zu denen im BIM-Portal sind. Dies erhöht die Akzeptanz der erstellten Daten und vergrößert so auch die Nutzbarkeit der aus den LOIN erzeugten Prüfregeln. Ein nächster Schritt in Bezug auf die Verarbeitung von LOIN ist die Schaffung von Verarbeitungsprozessen ähnlich zu denen der Merkmale und Merkmalsgruppen und die beispielhafte Umwandlung von LOIN in ein geeignetes Prüfregelformat.

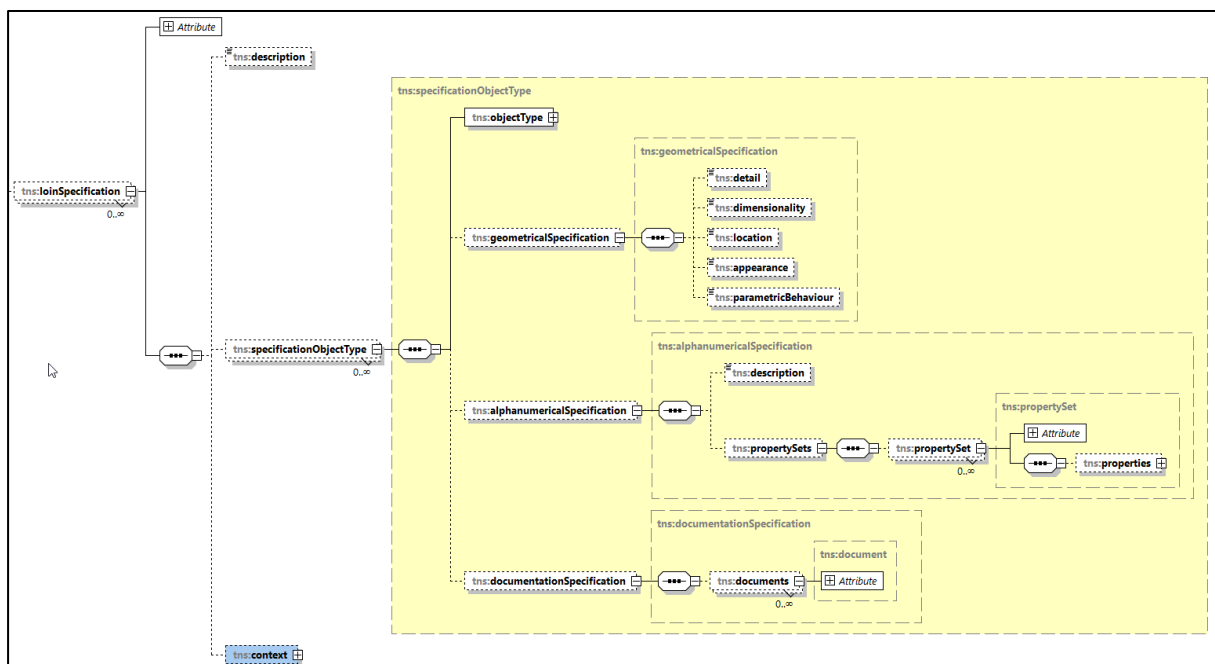


Abbildung 11: Schematische Darstellung des entwickelten LOIN XML-Schemas

2.4. Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen

Im Folgenden wird schrittweise beschrieben, wie ein Dokument bearbeitet wurde, um die Excel-Tabelle mit Merkmalen und Merkmalsgruppen zu füllen. Der Fokus war hierbei nicht die Befüllung der Datenbank, sondern die Vorbereitung dessen. Der wesentliche Arbeitsschritt war somit die Überführung der Vorgaben aus den Dokumenten in eine einheitliche und maschinenlesbare Form.

Schritt 1: Identifizierung des zu bearbeitenden Dokuments

Zunächst ist zu identifizieren welches Dokument als nächstes bearbeitet werden soll. Hierbei ist der Dokumentenkatalog konkret als Nachschlagewerk zu verwenden. Die Angabe der *Priorität* ergibt sich aus den Einschätzungen der ersten Sichtung. Demnach ist die *Priorität* aus den Angaben der *Relevanz* und *Umsetzbarkeit* abzuleiten. Die *Relevanz* wird hierbei höher gewichtet, auch wenn bei diesen Dokumenten nicht mit konkreten Anforderungen gerechnet wird, welche als Merkmal und Merkmalsgruppen übersetzt werden kann. Diese Angaben dienen allerdings als Richtwerte. Demnach wird mit einer Priorisierung von *Dokument A > Dokument B* gerechnet, wenn damit eine eindeutig stärkere Relevanz des Dokuments für die Ausführungsplanung vorliegt.

Schritt 2: Melden des Bearbeitungsstatus

Der aktuelle Bearbeitungsstatus wird in einem separaten Tabellenblatt namens *Statusabelle* hinterlegt. So werden der Fortschritt und mögliche Probleme bei der Bearbeitung sichtbar. Beispielsweise können einzelne Dokumente unter den gesammelten Materialien noch fehlen, sodass diese nachträglich noch gesichtet werden müssen. Sind diese nicht ohne weiteres zugreifbar, müssen diese eventuell zurückgestellt werden, sobald ein Exemplar vorliegt.

Schritt 3: Bearbeiten/Analysieren des Dokuments

Die ausgewählten Dokumente enthalten Informationen, die in einem BIM-Modell hinterlegt und geprüft werden können. Diese Informationen sollen nun im Dokument markiert werden. Auf Basis der Markierung erfolgt anschließend die Überführung in eine digitale Form für die Definition von Prüfregeln. Es müssen zwei zentrale Aspekte in dem Dokument identifiziert werden:

Objekttypen bzw. Klassen (rot): In einem BIM-Modell werden einzelne Objekte modelliert, z.B. Bauteile, Anlagen, Ausstattung, Anschlüsse, Räume und Abschnitte. Darüber hinaus können auch übergeordnete Themen markiert werden. Hierzu gehören beispielsweise Themen (bzw. Domänen) wie "Brandschutz", "Barrierefreiheit" oder "Material". Wichtig sind jedoch im ersten Schritt die eigentlichen Objekte eines BIM-Modells. Gute Indikatoren sind Nominative, welche ein konkretes Objekt (z.B. Wand, Türen, Etage, Gebäude, etc.) bezeichnen. Es handelt sich in der Regel um Begriffe, die mit weiteren Eigenschaften beschrieben werden können. Die identifizierten Begriffe werden später als Merkmalsgruppe definiert.

Eigenschaften (blau): Die Objekte in einem BIM-Modell werden durch weitere Eigenschaften beschrieben. Eine Eigenschaft besitzt immer einen konkreten Wert, z.B. die Eigenschaft "Material" hat den Wert "Stahlbeton". Eigenschaften können auch Abmessungen (z.B. Höhe) oder auch weitere Konkretisierungen sein (z.B. Typ einer Wand = Trockenbauwand). Jede Eigenschaft (auch als Merkmal bezeichnet) muss mindestens einem Objekt (bzw. einer Merkmalsgruppe) zugewiesen werden. Es ist jedoch auch möglich das eine Eigenschaft zu mehreren Objekten gehört.

Die Zusammenhänge zwischen Merkmalsgruppen (Klassen) und Merkmalen (Eigenschaften) kann der folgenden Abbildung 12 entnommen werden.

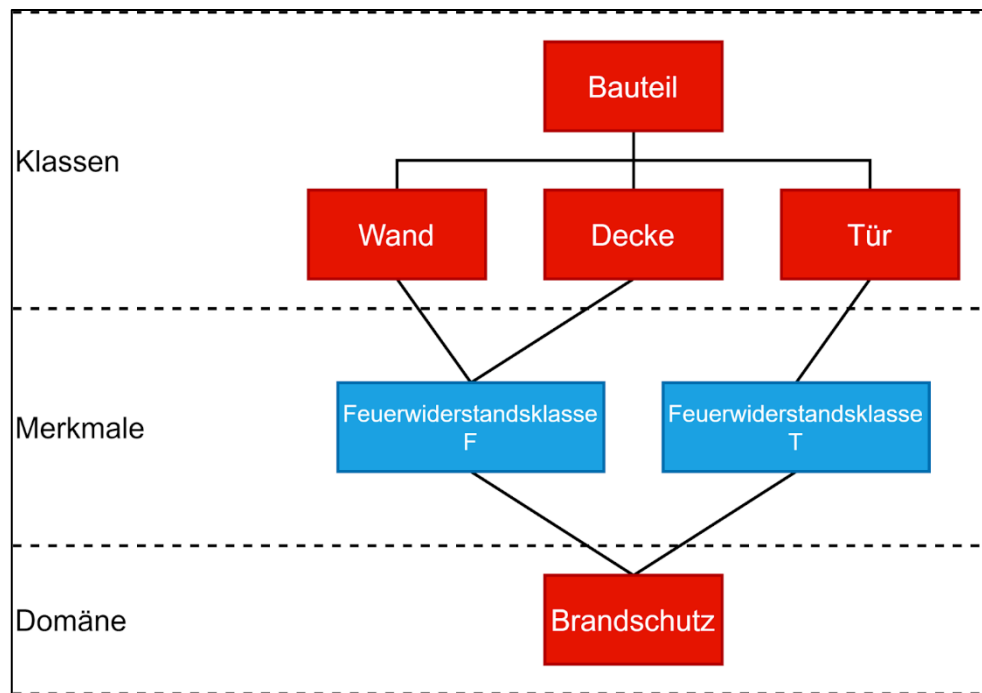


Abbildung 12: Zusammenspiel von Klassen (Merkmalsgruppen) und Merkmalen

Wenn möglich sollen noch zwei weitere Informationen in den Dokumenten markiert werden:

Eigenschaftswerte (Gelb): Jede Eigenschaft (Merkmal) muss ein Wert zugewiesen werden können. Dies können Zahlen, Texte oder Wahrheitswerte sein. Manchmal werden auch nur bestimmte Werte zugelassen oder es werden Einheiten bzw. Dimensionen vorgegeben. Entsprechende Informationen finden sich häufig im Umfeld der Definition zur entsprechenden Eigenschaft. Falls eine entsprechende Information nicht vorhanden ist, muss diese später bei der Überführung in die Datenbank manuell festgelegt werden.

Beziehungen (Grün): Die Texte enthalten häufig auch Hinweise zur Strukturierung der Objekte und Eigenschaften. Dies können Hinweise sein, dass die Objekte (Merkmalsgruppen) eine gewisse Hierarchie besitzen oder Eigenschaften zusammen betrachtet werden müssen. Gute Indikatoren sind Begriffe und Satzbausteine, wie „abhängig“, „für jedes/eines“ oder „zur Bestimmung/Ermittlung von“, also all jene Begriffe, die einen Bezug zwischen mehreren Elementen im Text herstellen.

Häufiger gibt es mehrere Möglichkeiten zur Definition von Klassen und Eigenschaften. Es ist sehr wichtig, dass die markierten PDF-Dokumente gespeichert und verteilt werden. Es können auch Kommentare hinterlegt werden, damit Probleme gezielt diskutiert werden können.

Eine beispielhafte Anwendung der Farbmarkierung ist der Abbildung 13 zu entnehmen.

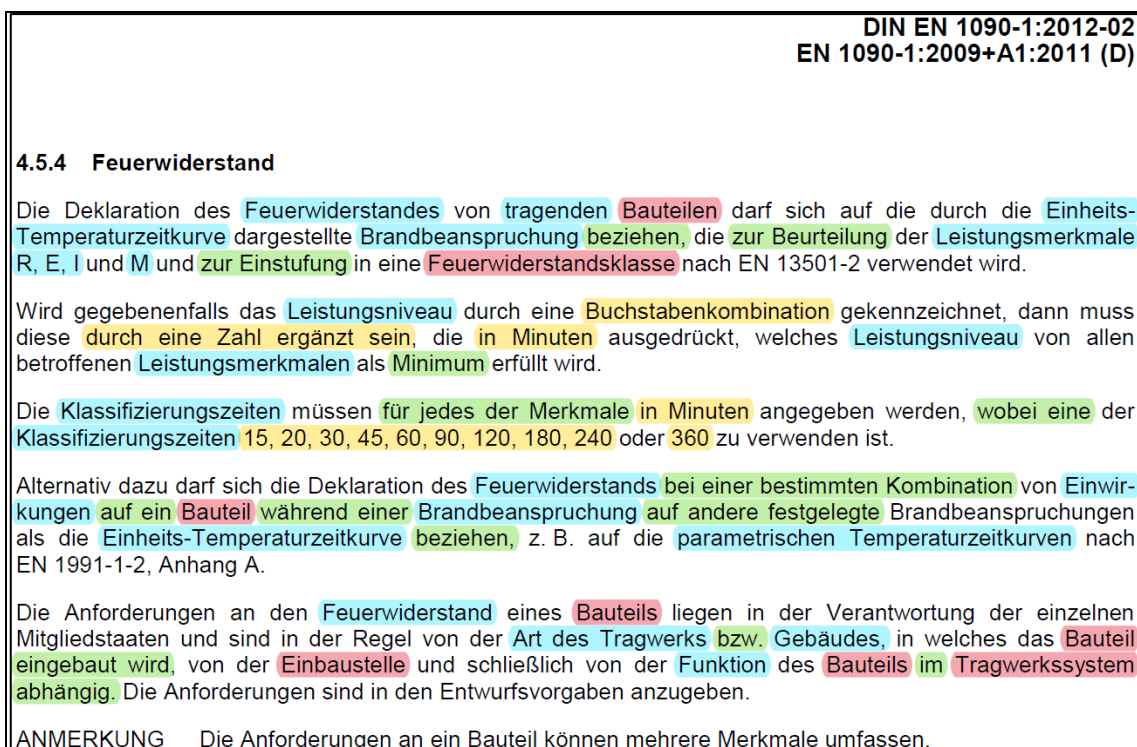


Abbildung 13: Farbllich markierter Text als Vorverarbeitung zur Datenextraktion

Schritt 4: Überführen der Informationen in das Excel-Tool

Nach der erfolgreichen Bearbeitung wird die Statustabelle (siehe Schritt 2) aktualisiert. Die markierten Textstellen gilt es nun stückweise in das Excel-Tool zu übertragen. Wichtig ist vor allem, dass die Beziehungen zwischen Merkmalsgruppen (Klassen, Domänen) und Merkmalen (Eigenschaften) korrekt ist.

2.5. Zusammenfassung

Die in diesem Projekt betrachteten Vorgaben gehen aus Dokumenten hervor, die relevanten Informationen für die Ausführungsplanung enthalten. Um diese Dokumente systematisch zu kategorisieren und zu priorisieren, wurden diese initial gesichtet und von der Projektgruppe kommentiert und organisiert abgelegt. Zur übergeordneten Strukturierung der Unterlagen erfolgt die Erfassung von relevanten Metadaten für jedes der untersuchten Dokumente. Die gesammelten Informationen wurden zentral in einem als Dokumentenkatalog bezeichneten Dokument zusammengefasst.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels findet sich eine Zusammenfassung und Erläuterung der für ein Dokument erfassten Metadaten und eine Erläuterung des Nummerierungskonzeptes, das bei der Erstellung des Dokumentenkatalogs für die Strukturierung verwendet wurde. Des Weiteren wird beschrieben, nach welchen Kriterien die Priorisierung der Dokumente vorgenommen wurde. Abschließend erfolgt eine Analyse, wie viele und welche Dokumente im Projektzeitraum untersucht wurden, um welche Art von Dokumenten es sich handelt und eine Aufstellung wie viele Seiten in den jeweiligen Dokumententypen untersucht wurden.

Um die folgenden Prozessschritte in den Gesamtzusammenhang einordnen zu können, wird im Folgenden eine Einführung in die für das Projekt relevanten Normen gegeben. Hierbei wird im speziellen auf die wichtigsten Begriffe, Inhalte und Konzepte aus den Normen DIN EN ISO 23386:2020-11 und der DIN EN 17412-1:2020 eingegangen und ihre Relevanz für die Nutzung im Prozess der Prüfgelerstellung hervorgehoben. Im Folgenden wird das entwickelte Eingabeformular vorgestellt, mit dem die im Dokumentenkatalog erfassten Spezifikationen in ein maschinenlesbares Format umgewandelt und in einer Datenbank gespeichert werden können. Dazu wird zunächst das Eingabeformular mit den implementierten Funktionen vorgestellt und anschließend das erstellte Graph-basierte Datenmodell, das zur Speicherung der Daten verwendet wird.

Im Anschluss an die Erfassung und Speicherung der Informationen aus dem Dokumentenkatalog als Grundlage für die Überführung von Vorgaben in maschinenlesbare Prüfgelsyntaxen wird das im Projekt entwickelte Konzept für die initiale Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen nach DIN EN ISO 23386:2020-11 vorgestellt. Diese Erläuterungen umfassen eine Übersicht über das von der RUB bereitgestellte Excel-Tool zur Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen und der dazugehörige in Visual Basic umgesetzte XML-Exporter. Auf Basis der digital bereitgestellten Merkmale und Merkmalsgruppen gemäß DIN EN ISO 23386:2020-11 lassen sich systematisch Informationsanforderungen nach DIN EN 17412-1:2020 erstellen, für die im Anschluss Prüfgeln für eine formale Prüfung generiert werden können. Die Beschreibung des Inhalts für die in den Informationsanforderungen enthaltenen LOIN und das im Rahmen von BIM-Deutschland entwickelte Datenformat wird ebenfalls erläutert.

Abschließend wird in Kapitel 2.4 beschrieben, wie ein Dokument zu bearbeiten ist, um die Excel-Tabelle mit Merkmalen und Merkmalsgruppen zu füllen. Der Fokus ist hierbei nicht die Befüllung der Datenbank, sondern die Vorbereitung dessen. Der wesentliche Arbeitsschritt ist somit die Überführung der Vorgaben aus den Dokumenten in eine einheitliche und maschinenlesebare Form.

3. Übersicht zum Thema Regelprüfung im Bauwesen

3.1. Regelprüfung im Bauwesen

Für digitale Arbeitsmethoden im Bauwesen, wie dem Building Information Modeling (BIM), ist das Potential einer teilautomatisierten Prüfung von Vorgaben und Richtlinien ein entscheidender Mehrwert für den Planungsprozess. In einem digitalen Bauwerksmodell werden Geometrie und Semantik vereint. Diese Kombination ermöglicht es fachgerecht zu prüfen, um entsprechend der Vollständigkeit und Korrektheit der Modelle nachzuweisen. Hierbei kommen Regelsprachen zum Einsatz, welche es ermöglichen, solche Prüfungen formal zu definieren und durch Software (Regelinterpreter und -parser, bzw. Engine) auf dem Modell auszuführen.

Für die Erstellung eines Bauwerksmodells werden üblicherweise eine Vielzahl von Vorgaben und Modellierungsrichtlinien in Betracht gezogen. Die modellierte Information kann dabei in unterschiedlichen Facetten dargestellt werden, welche sich sowohl auf den semantischen Informationsgehalt einzelner Objekte als auch auf ihre geometrische und strukturelle Komposition auswirken. Um eine Prüfung dieser komplexen Gegebenheit besser einordnen zu können, wurde im Projekt zwischen formaler und fachlicher Prüfung unterschieden.

3.1.1. Formale Prüfung

Durch die **formale Prüfung** wird die ordnungsmäßige Attribuierung eines Modells nach vorliegender Norm verstanden. Hierbei werden Informationen nach Klasse und vorhandenen Merkmalen untersucht, um eine Aussage über ihre Existenz und vorhandenen Werte zu treffen. Es wird allerdings nicht zwingend die Korrektheit der Werte geprüft, lediglich ihre Typisierung und Existenz nach Vorgabe der Norm. Für die Prüfung werden ausschließlich semantische Informationen verarbeitet, welche entweder direkt an den Objekten attribuiert sind oder über Relationen aus den verknüpften Eigenschaften ausgelesen werden. Dabei kann es sich auch um Kenngrößen handeln, die aus der Planung automatisch auf Basis der Geometrie mitbestimmt werden.

3.1.2. Fachliche Prüfung

Bei der fachlichen Prüfung ist es erforderlich, die Informationslieferung des vorhandenen Modells nachzuweisen und die Ordnungsmäßigkeit zu überprüfen. Dies erfolgt durch die algorithmische Umsetzung fachlicher Vorgaben gemäß den Normen und Richtlinien. Die Ergebnisse werden anschließend mit den Angaben im Modell abgeglichen. In der Regel umfassen fachliche Prüfungen eine komplexe Abfolge von Berechnungen, welche auch die Verarbeitung von Geometrie mit sich zieht, wie das Bestimmen von Schnittkörper, Höhe und Nachbarschaften. Die fachliche Prüfung erfordert daher meistens eine umfangreiche Verarbeitung von Modellinformationen und kann auch Dokumente mit einfließen lassen, die zusätzlich gebraucht werden, wie eine bestehende Bebauung oder Baugrenzen.

3.2. Übersicht über Regelsprachen

Das Thema der Regelsprachen ist eng verbunden mit dem Thema der Abfragesprachen (eng. Query Language). Abfragesprachen haben ihren Ursprung in der Aussagenlogik und Grammatik, welche das theoretische Grundkonstrukt für die deklarative Programmierung bilden. Als deklarative Programmierung wird ein Programmierparadigma bezeichnet, welches die Beschreibung eines Problems in den Vordergrund stellt, ohne den Lösungsweg im Detail zu beschreiben. Gemäß der Chomsky-Hierarchie sind Abfragesprachen zu gliedern in die Sprachkonstrukte: *rekursiv aufzählbar*, *kontext-sensitiv (Typ-1)*, *kontext-frei (Typ-2)* und *regulär (Typ-3)*. Diese zeichnen aus, wie einzelne Regeln der Grammatik abgeleitet werden.

Die Abfragesprache ist dabei immer auf den abgefragten Datensatz optimiert. Demnach ist eine Abfragesprache ein Sprachkonstrukt mit eindeutiger Syntax, ähnlich zu einer herkömmlichen Programmiersprache, welche es erlaubt Mengen auf einer Datengrundlage zu selektieren, filtern und zu bearbeiten. So werden Abfragesprachen in Datenbanken eingesetzt, um Informationen nach einer formulierten Anfrage zu finden. Eine Abfragesprache terminiert mit einer Menge von Elementen und Informationen. Im Gegensatz dazu, ist das Ergebnis einer Regelsprache immer eine klare Aussage, die mit *wahr* oder *falsch* zu beantworten ist. Abfragesprachen können Teil einer Regelsprache sein und üblicherweise lassen sich Abfragesprachen zu einer Regelsprache erweitern, da sie inhärent Regeln zur Definition ihrer Abfrage nutzen. Hierbei sind die Abfragen als eine Vorverarbeitung der zu prüfenden Elemente zu verstehen, welche dann durch eine Regel zu verarbeiten sind.

3.2.1. Model View Definition

Bei den Model View Definition (MVD) handelt es sich um eine von buildingSMART entwickelte Lösung zur Prüfung und Filterung von IFC basierten Modellen (Hietanen 2006). Eine MVD besteht aus den Hauptkomponenten der Konzeptvorlagen (eng. Concept Templates) und Austauschforderungen (eng. Exchange Requirements). Diese Komponenten werden in MVD getrennt formuliert, was eine klare Trennung von Abfragen auf den Modellen und darauf operierenden Regeln bewirkt. Durch die Konzeptvorlage wird eine Auswahlmenge identifiziert, auf derer die Regeln angewandt werden. Zusätzlich werden Beschreibungen mit angegeben, welche erläutern, wie mit den identifizierten Daten in Softwarelösungen umzugehen ist, bspw. als Objektreferenzierung oder Filterung eines Fachmodells beim Importieren (siehe Abbildung 14). Das Format wird unter anderem bei der Zertifizierung von BIM-basierten Anwendungen eingesetzt, um Implementierung und Konformität zu prüfen (Steinmann 2018).

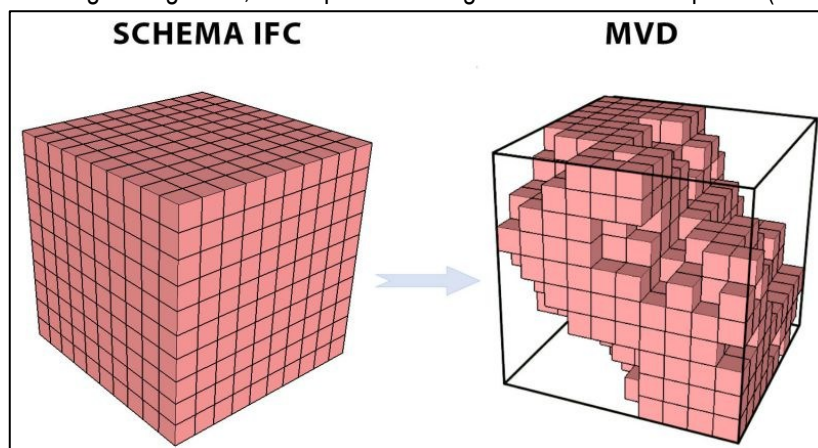


Abbildung 14: Schematisierung der MVD (Baldwin 2019)

Traditionell wurden MVD entwickelt, um das breite Spektrum der Anforderungen an Klassen und Objekten im IFC-Schema zu adressieren, da viele Werkzeuge, die mit IFC arbeiten, oftmals nur Teile des Schemas umsetzen. Die Flexibilität, Offenheit und Zugänglichkeit des Schemas haben es als wichtiges Werkzeug zur regelbasierten Prüfung für IFC-Modelle herausgestellt. Insbesondere zur Prüfung von Informationslieferungen der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) werden MVD häufig genutzt und stellen sich auch in diversen Forschungsprojekten (Ruhr-Universität Bochum 2020) als entscheidendes Werkzeug heraus.

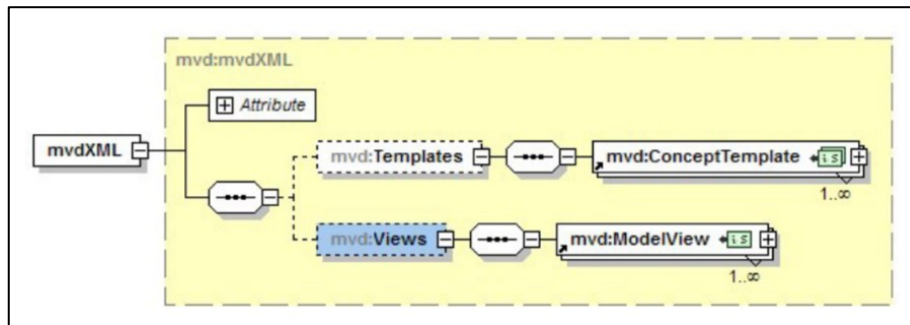


Abbildung 15: Top-Level Hierarchie des MVD Schemas

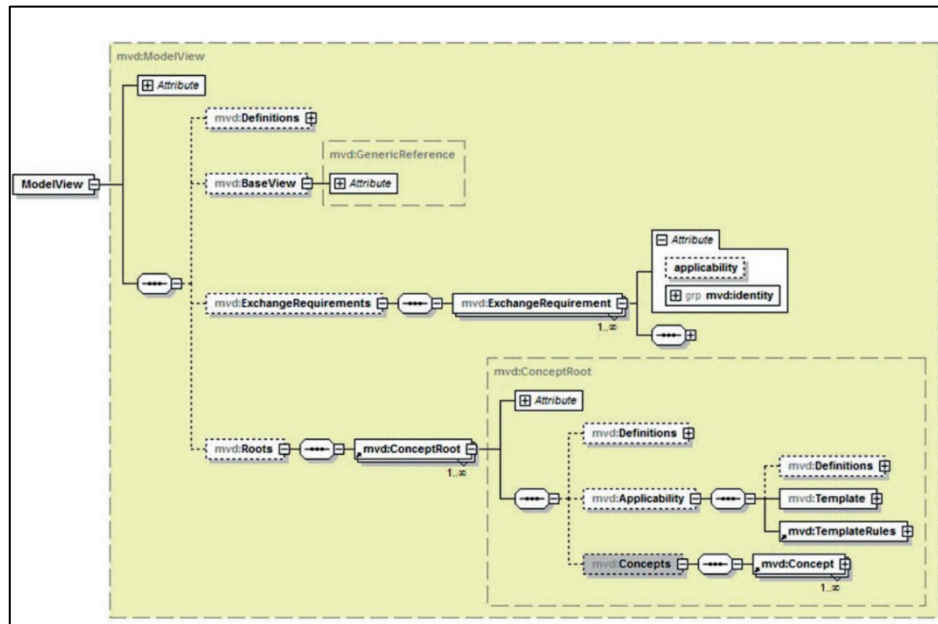


Abbildung 16: Detailansicht der ModelView Komponente

Das Schema wird als XSD entwickelt und publiziert (siehe Abbildung 15), welches von den Softwareherstellern in deren Softwarelösungen integriert wird. Die Top-Level Hierarchie des Schemas teilt sich grob in eine Auflistung von Komponenten des Typs *ConceptTemplate* und *ModelView* auf. Ersteres definiert den Modellzugriff, auf derer Basis Informationen nach definiertem Schema entnommen werden sollen. Zweites enthält konkrete Regeln und Anforderungen an den Austausch von Informationen. Im Kern eines *ModelView* stehen hier die Komponenten *ExchangeRequirement* und *Concept* (siehe Abbildung 16), welche die anzuwendenden Regeln definieren. Begleitet wird das Schema von Informationen über die Anwendbarkeit durch die Komponente *Applicability*, die dazu dient die Zugriffsbeschränkung zu definieren und somit den Fokus nur auf eine relevante Untermenge von Objekten zu legen. Ein *Concept* enthält hierbei eine Auflistung konkreter Regeln als *TemplateRule/s*. Diese Regeln prüfen einzelne semantische Inhalte der Objekte. Je nachdem wie das Schema der *ConceptTemplate* definiert wurde, können diese Information die Inhalte der Eigenschaftssätze am Modellobjekt (PropertySets) sein, was eine formale Prüfung von Anforderungen erlaubt.

3.2.2. Information Delivery Specification

Die *Information Delivery Specifications* (IDS) werden von buildingSMART entwickelt (buildingSMART Technical 16.11.2022) und sind eng mit der Entwicklung der MVD verbunden. Das Konzept der regelbasierten Prüfung formaler Anforderungen wurde dem MVD-Standard erst nach seiner Entwicklung durch praktische Anwendung der Modellfilterung zugetragen. MVD ist darauf jedoch nicht beschränkt und operiert auf Basis des IFC-Schemas und ihrer inhärenten Modellstruktur. Um den Aspekt der formalen Prüfung besser und eindeutiger adressieren zu können, wird mit IDS ein auf die Prüfung von Modelleigenschaften und Informationslieferungen spezialisiertes Format entwickelt, welches sich durch eine schlanke Datenstruktur des Schemas und zusätzlichen

Einstellungsmöglichkeiten der Prüfdokumente auszeichnet. Demnach ist es möglich, Anforderungen auch an Einheiten oder Muster (eng. *Pattern*, wie Reguläre Ausdrücke) im Wertebereich zu prüfen. Der konkrete Anwendungsfall von IDS sieht es vor, das Format als Werkzeug zur Validierung im Prozess des Informationsaustausches zwischen Projektpartnern (Kunden, Modellierern, Softwarebetreibern) zu verankern (siehe Abbildung 17).

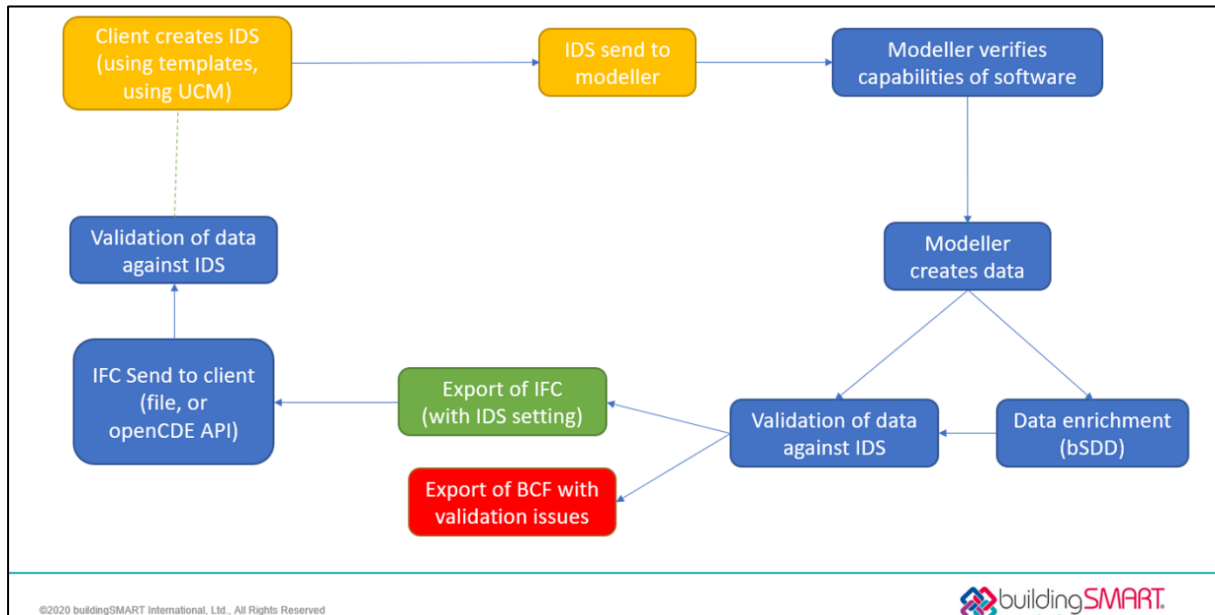


Abbildung 17: Basis Konzeptgrafik zum Anwendungsbereich der IDS⁴

Die IDS ermöglichen es die buildingSMART Data Dictionary (bSDD) in den Prüfprozess mit einzubeziehen, indem es Verweise durch Uniform Resource Identifier (URI) zulässt und ihre Informationen als relevante Vorlage betrachtet. Eine direkte Anbindung an die bSDD steht noch aus, ist aber nach dem Entwicklungsplan vorgesehen. In der ersten Phase der Entwicklung wurden ausschließlich Anwendungsfälle identifiziert, um die Randbedingungen des Schemas herauszustellen. In der aktuellen zweiten Phase der Entwicklung (seit Januar 2022) wird ein XSD entsprechend der zuvor herausgestellten Anwendungsfälle und Erkenntnisse der Industrie und Anwendenden entworfen, welches parallel von Softwareherstellern implementiert und getestet wird. Das bisher entwickelte Schema ermöglicht es bereits Eigenschaften von unterschiedlichen Typen zu prüfen (SingleValue, Enumeration, Liste, etc.). Darüber hinaus bindet das Schema die Prüfung von Einheiten (eng. *measures*) direkt mit ein und vereinfacht die Angabe der Anwendbarkeit (eng. *Applicability*) wodurch die beschriebenen Anforderungen in den Prüfdokumenten menschenlesbar formuliert werden.

3.2.3. OpenBimRL

OpenBimRL ist ein aus der Forschung hervorgegangenes Format zur Prüfung von formalen und fachlichen Anforderungen an Bauwerksmodelle. Das Format ist im Rahmen diverser Projekte zu Digitalisierung an der Ruhr-Universität Bochum entstanden und veröffentlicht (GitHub 16.11.2022). Im Rahmen der Projekte wurde das Format eingesetzt, um Anforderungen der Richtlinien als Prüfung zu dokumentieren und exemplarisch zu prüfen. Das OpenBimRL Format hat den Anspruch die formale und fachliche Prüfung zu vereinen, indem es ermöglicht beliebige Funktionen zu verketteten und Informationen abzurufen, welche komplexe Abfolgen und Algorithmen verarbeiten. Dabei können auch geometrische Informationen extrahiert und entsprechend verarbeitet werden. Das Schema beschreibt hierbei keine konkreten Funktionen, sondern repräsentiert eine Vorlage nach denen eine Funktion definiert werden kann. Demnach ist es erforderlich, dass die Implementierungen von OpenBimRL und

⁴ 2020 buildingSMART International Ltd

dazugehörige Regel-Engins die Bibliotheken von umgesetzten und verfügbaren Funktionen dokumentieren und teilen.

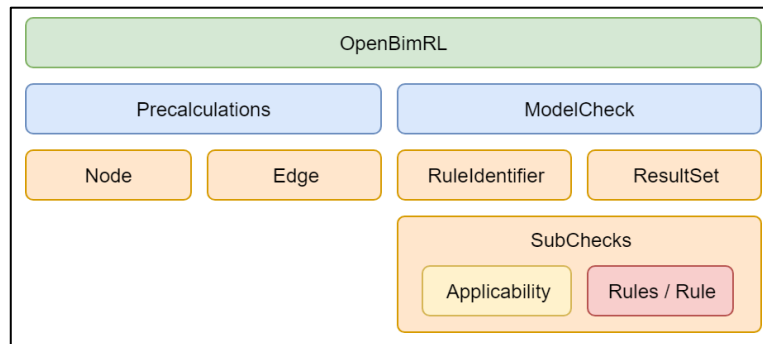


Abbildung 18: Veranschaulichung der Komponenten, aus denen OpenBimRL besteht

Ein Prüfdokument nach OpenBimRL zeichnet sich durch die Teilung von Vorberechnungen (eng. precalculation) und dem Prüfvorgang (eng. model check) aus. Die Vorberechnung von OpenBimRL setzt dabei auf einen Graph-basierten Aufbau, bestehend aus Knoten und Kanten, welche es ermöglichen fachliche Vorgaben kontrolliert abzurufen. Der ModelCheck hingegen ist in mehrere Bereiche unterteilt, welche sukzessiv aufeinander aufbauen (siehe Abbildung 18).

Ein OpenBimRL Prüfdokument setzt dabei eine konkrete Arbeitsabfolge ihrer Komponenten voraus, welche grob in die Prozesse der *Vorberechnung* und *Prüfvorgang* zu gliedern sind (siehe Abbildung 19). In der Vorberechnung wird der Graph ausgeführt und die Zwischenergebnisse pro Knoten/Funktion bereitgestellt. Für den Prüfvorgang notwendige Ergebnisse werden über Referenzobjekte (RuleIdentifier) aus dem Graphen extrahiert und verfügbar gehalten. Diese Teilergebnisse unterliegen anschließend der Regelprüfung (SubChecks), wodurch konkrete Angaben aus Normen und Richtlinien inhaltlich geprüft werden. Ergebnisse aus dem Prüfvorgang werden dann kontrolliert als erwartete Ergebnismengen zwischen gehalten (ResultSet), welche es ermöglichen Sichten auf das Modell zu erzeugen und so die Prüfungsergebnisse nachzuvollziehen.

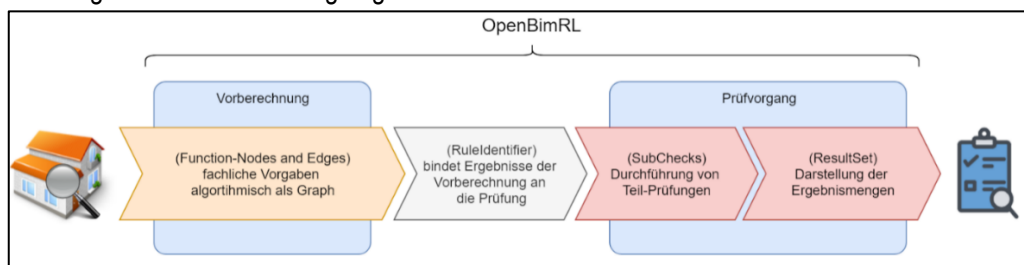


Abbildung 19: Abfolge des Prüfvorgangs mit OpenBimRL

3.2.4. Semantic Web Technologien

Im Bereich des *Semantic Web* gibt es eine Reihe von Technologien zur regelbasierten Prüfung unterschiedlicher Informationen mit breitem Anwendungsbereich für das Bauwesen. Bei der *SPARQL Protocol And RDF Query Language (SPARQL Query Language for RDF 09.10.2018)* handelt es sich um eine Graph-basierte Abfragesprache zur Filterung, Bearbeitung und Prüfung von Inhalten, welche im *Resource Description Framework (RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax 23.01.2018)* beschrieben sind. Die Abfragesprache wurde vom World Wide Web Consortium entwickelt und standardisiert. Ebenso wie RDF, zählt SPARQL zu einem der wichtigsten Instrumente des Semantic Web, was dem Vorhaben folgt, Informationen (unabhängig ob im Web oder nicht) zu Kontextualisierung und darüber hinaus zu verknüpfen. Um dies zu ermöglichen, ist die im RDF verwendete Tripel-Notation das wesentliche Werkzeug zur Formalisierung von Informationen. Ein Tripel setzt sich zusammen aus Objekt, Prädikat und Subjekt (siehe Abbildung 20).

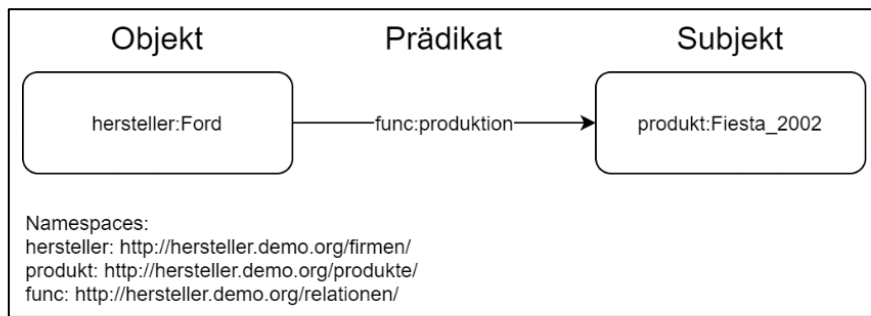


Abbildung 20: Einfaches Triple-Beispiel wie es in RDF vorkommt

SPARQL erinnert von der Syntax her stark an SQL, indem beide Sprachen den grundlegend selben Aufbau folgen und dieselben Operatoren verwenden. So können beispielsweise mit „SELECT ... WHERE { ... }“ Daten aus einem RDF-Graphen ermittelt werden, die nach einer beschriebenen Relation gefiltert werden. Im Gegensatz zu SQL oder anderen Vertretern von Abfragesprachen, setzt man bei SPARQL und RDF insbesondere auf eine URI basierte Beschreibung elementarer Ressourcen. Knoten in RDF können allerdings auch Literale beinhalten, welche im Rahmen von RDF durch besondere Namespace-Notationen zusätzlich typisiert werden können. SPARQL besitzt einen hohen Grad der Erweiterbarkeit. Das bedeutet, dass neben Semantik auch Funktionale Erweiterungen vorgenommen werden können und darauf aufbauend publiziert werden. Zwei bekannte Erweiterungen sind GeoSPARQL (Perry and Herring) und BIMSPARQL (Zhang et al. 2018).

Für die Prüfung von Konformität und Validierung von RDF Graphen werden vorwiegend Prüfdokumente durch die *Shape Constraint Language* (*Shapes Constraint Language (SHACL)* 31.01.2018) definiert. In SHACL werden Konditionen/Bedingungen an den RDF-Datensatz als sogenannter *shape graph* formalisiert und gegen den Datensatz als *data graph* validiert. Als Ergebnis erhält man einen Validierungsbericht (eng. Validationreport), welcher die Übereinstimmung von *shape graph* auf den *data graph* beschreibt. Die Syntax von SHACL baut auf dem Sprachkonstrukt von SPARQL auf.

Es ist übliche Praxis bestehende Standards in die RDF-Schreibweise zu überführen. Um dies zu ermöglichen, werden mit dem *Resource Description Framework Schema* (RDFS) und ihrer semantischen Erweiterung der *Web Ontology Language* (OWL 2 *Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)* 02.10.2017) entsprechende Ontologien formuliert, die als Schema für den Aufbau und Übersetzung fungieren. So kann beispielsweise ein IFC-Modell in eine RDF konforme Struktur überführt werden, durch Anwendung der ifcOWL Ontologie (Pauwels and Terkaj 2016). Die ifcOWL Ontologie findet bereits vorwiegend Einsatz in diversen Forschungsprojekten rund ums Thema Linked Data. Aufgrund der allgemein zugänglichen und flexibel gestalteten Struktur von RDF-Datensätzen und Schema werden solche Formate zunehmend angepasst und ergänzt, je nachdem welcher Anwendungszweck im Vordergrund der Fragestellung steht.

3.2.5. RuleML

Die RuleML Inc. fungiert als organisatorische Leitung der RuleML-Initiative (Boley et al. 2010). Die von der RuleML-Initiative entwickelte Technologie umfasst Darstellungs- und Serialisierungssyntaxen, konfigurierbare Sprachen, Transformationen, modelltheoretische Semantik und Engines. Die zum Portfolio der Initiative enthaltene Web-Regel-Spezifikation von RuleML ist ein System zur Darstellung von Web-Wissen, welches eine Verbindung zwischen z.B. RIF, SWRL, SWSL, TPTP, Common Logic und LegalRuleML herstellt. Die Spezifikation gliedert sich in drei Familien, Deliberation RuleML, Consumer RuleML und Reaction RuleML, sowie in einen Familienzweig, Deliberation PSOA RuleML (PSOA = Positional-Slotted Object-Applicative).

RuleML wird syntaktisch durch Schemasprachen (normativ, in Relax NG) spezifiziert, die ursprünglich für XML entwickelt wurden und auf andere Formate wie JSON übertragbar sind. Als forschungsbasiertes Sprachsystem untersucht RuleML die Modularisierungen einer Vielzahl großer Sprachkonstrukte und fungiert als Bindeglied zwischen ihnen, wie beispielsweise bei Prolog und N3, F-Logik und TPTP, RIF und Common Logic, etc. Als industrieorientierter Standard deckt RuleML alle industriell relevanten Arten von Regeln ab, wodurch es zur

übergeordneten Spezifikation von Webregeln geworden ist, die sich mit entsprechenden OMG-Spezifikationen (hauptsächlich SBVR, PRR und API4KP) kreuzt und die Grundlage einer OASIS-Spezifikation (LegalRuleML) bildet. RuleML hat bereits andere Regelsprachen aufgenommen, erweitert und Interoperationsbrücken zwischen ihnen gebaut, darunter auch Sprachkonstrukte von W3C (SWRL und SWSL). RuleML fungiert somit als Knotenpunkt für die Wissensinteraktion (Papier, Folien), der ein breites Spektrum an Regeln von kontrollierter natürlicher Sprache (vgl. RuleML Primer) bis hin zu objekt- und graphenrelationalen Daten und Programmen (vgl. PSOA RuleML) umfasst.

3.2.6. BIMQL

Mit BIMQL ist es möglich IFC-Modelle als Datengrundlage abzufragen. Die Abfragesprache wurde mit dem Ziel eines offenen und von Herstellern losgelösten Standards entwickelt (Mazairac and Beetz 2013). Erstmals wurde die Sprache auf Basis der Plattform *bimserver.org* entworfen und implementiert, obwohl sie generisch genug ist, um in anderen Implementierungen von IFC-basierten Modellierungs- und Entwicklungswerkzeugen angepasst zu werden. Dabei orientiert sich die Syntax der Sprache stark an die SPARQL Notation, sodass eine sichtlich bemerkbare Ähnlichkeit zwischen den Sprachen existiert. Das grundlegende Konstrukt der Sprache ist in der Backus-Naur Form Notation beschrieben (siehe Abbildung 21) und umfasst in ihrer ersten Fassung bereits Instruktionen zum Filtern (select) und Setzen (set) von Daten.

BIMQL	::= select
select	::= 'Select' VARIABLE where? cascade* set?
cascade	::= 'Select' VARIABLE ':=' VARIABLE ('.Attribute.' STRING '.Property.' STRING) where?
where	::= 'Where' statement
set	::= 'Set' VARIABLE '.Attribute.' STRING ':=' (INTEGER REAL STRING)
statement	::= relation ('And' relation 'Or' relation)*
relation	::= relationleft ('=' relationright '/=' relationright '<' relationright '<=' relationright '>' relationright '>=' relationright)
relationleft	::= (VARIABLE '.EntityType' VARIABLE '.Attribute.' STRING VARIABLE '.Property.' STRING VARIABLE PLUGIN)
relationright	::= (INTEGER REAL STRING)
VARIABLE	::= '\$' STRING
PLUGIN	::= ':' STRING
INTEGER	::= '0..9'+
REAL	::= INTEGER+ ('.' INTEGER+)?
STRING	::= ('0..9' 'A..Z' 'a..z' '!' '#' '\$' '%' '&' '^' ' ' '*' '+' ',' '-' '.' '/' ':' ';' '<' '=' '>' '?' '~' ' ' '@' '_')+

Abbildung 21: Backus-Naur Form der BIMQL Abfragesprache (Mazairac and Beetz 2013)

Der primäre Anwendungsfall von BIMQL ist die Abfrage von Daten aus dem IFC-Modell, wodurch Instruktionen notwendig für die Formulierung stichhaltiger Regeln (bspw. *ask*, wie vorhanden in SPARQL) nicht vorgesehen sind. Indirekt können jedoch Ergebnisse der Abfragen als Ergebnismenge einer Prüfung verstanden werden.

3.2.7. XPath, XQuery und XSLT

Für BIM-basierten Prozessen wird die Serialisierung von Unterlagen im XML-Format immer relevanter. Beispielsweise sind Autoren-Werkzeuge (bspw. XBim, Revit, usw.), welche die Modelle im *Industry Foundation Classes* Format (IFC, bzw. ifcXML) verarbeiten, zunehmend mit Optionen für eine XML-basierte Verarbeitung ausgestattet. So wird erwartet, dass zukünftige Versionen der IFC die XML-Serialisierung der STEP-Variante bevorzugen, was vor allem daran liegt, dass Entwickler und Anwendende mit XSD/XML mehr Erfahrungen besitzen als mit Express/STEP (van Berlo et al.). Dieser Trend entwickelt sich vor allem auch wegen der daraus folgenden Kompatibilität mit *Semantic Web* Technologien, welche überwiegend mit JSON- und (RDF-)XML-Formaten hantieren. Hierfür sind Sprachkonstrukte wie XQuery und XSLT relevant, welche im Kern auf der XML Path Language (XPath) Standard aufsetzen (*XML Path Language (XPath)* 02.10.2017). Bei XPath handelt es sich um eine Abfragesprache, mit welcher sich über spezielle XPath-Ausdrücke Daten aus einer XML-Datei adressieren lassen. Zusätzlich lassen sich bei der Beschreibung der Pfade auch Operatoren auswerten, wodurch Bedingungen an die Abfrage vereinfacht formuliert werden können. Bei XQuery (*XQuery 3.1: An XML Query Language*

06.04.2021) handelt es sich hingegen um eine ausdrucksorientierte Programmiersprache, welche teilweise die Syntax von XPath mit integriert. Angelehnt an SQL unterstützt die XQuery Notation FLWOR-Ausdrücke (FOR, LET, WHERE, ORDER BY, RETURN). Mit XSLT hingegen können Transformationen für XML-Dokumente beschrieben werden. Elemente werden mit XPath-Ausdrücken adressiert und nach vorgegebenem Schema geändert. So ist es möglich, beispielsweise beliebige XML-Dokumente in RDF zu konvertieren. Vorausgesetzt es existiert eine passende Ontologie, welche den Aufbau des RDF-Dokuments beschreibt.

3.2.8. Weitere nennenswerte Sprachkonstrukte für die regelbasierte Prüfung

Es existieren eine Vielzahl weiterer relevanter Abfrage- und Regelsprachen für das Bauwesen, welche jedoch aufgrund spezifischer Eigenheiten jetzt schon weitestgehend aus dem Raster des Projekts fallen. Diese Sprachkonstrukte erfüllen anwendungsspezifische Anforderungen und sind nur bedingt für den Einsatz von BIM-basierten Regeln anwendbar.

Mit LDQL (Hartig 2015) wird eine deklarative Sprache definiert, welche speziell für Linked Data im Web vorgesehen ist. Die Abfragesprache QL4BIM ist speziell für die Anwendung für BIM Modelle vorgesehen und ermöglicht es auf Basis räumlicher Beziehungen Abfragen zu formulieren. Dafür wurden topologische Operatoren implementiert (Daum et al. 2014), welche die Beziehungen zwischen Elementen im Modell auflösen. Mit GraphQL (Taelman et al. 2018) steht eine offene und universell einsetzbare Komplettlösung für Abfragen bereit. Ihre auf JSON basierte Syntax vereinfacht die Abfragen durch explizite Angaben von deskriptiven Pfaden innerhalb einer Datenbank, welche dann bei Abfrage zu einem Datensatz aufgelöst werden. Damit eignet sich das Sprachkonstrukt hauptsächlich zur Verwaltung und Manipulation von Datenschema und -struktur, neuerdings aber auch zur Anwendung von Linked Data Ansätzen (Werbrouck et al. 2019). Neben der Vielfalt von Sprachen und Konzepten gibt es dann auch noch die klassischen Ansätze, wie die *Structured Query Language* (SQL) und die *Object Constraint Language* (OCL). Diese bieten die Basis vieler der vorgestellten Konzepte, sind jedoch im Rahmen von IT-Anwendungen nicht auf die Problemstellungen in der BIM-basierte Bearbeitung vorbereitet, weshalb diese zunehmend in den Hintergrund rücken.

3.3. Anforderungen an die Modellierung zur Regelprüfung

Wie ersichtlich wird, gibt es zahlreiche Regelsprachen mit unterschiedlichen Anwendungszwecken, welche auf unterschiedlichen Datengrundlagen/Faktenbasen operieren. Nicht jede Regelsprache eignet sich gleichermaßen für eine umfassende Umsetzung aller Vorgaben einer Regelsprache. Auch wenn in der Praxis die Grenzen zwischen dem, was mit einzelnen Regelsprachen machbar ist, sich nicht eindeutig festlegen lässt, so kann doch anhand vorgegebener Anwendungszwecke klar zugeordnet werden, wofür diese primär konzipiert wurden. Das wird spätestens deutlich, wenn die Anwendungsfälle für Regelsprachen im Bereich des *Building Information Modeling* (BIM) in einem Spektrum von generalisierenden Kategorien genauer betrachtet werden (*Abbildung 22*). Der Einsatz von Regel- und/oder Abfragesprachen lässt sich so grob in vier Anwendungsbereiche aufteilen. Diese Bereiche umfassen die Abfrage von *Modellsemantik*, *Modellgeometrie*, *Linked Data*, sowie *Datenstrukturen und Schema*. Für eine Einordnung muss hierbei herausgestellt werden, auf welcher Datengrundlage die Sprache operiert, welche Eigenheiten die Syntax mit sich bringt und wofür diese im Bauwesen eingesetzt wird. Für eine vereinfachte Darstellung wird bei dieser Zuordnung angenommen, dass *Modellsemantik* und *Linked-Data*, sowie *Modellgeometrie* und *Datenstruktur und Schema*, in fundamentaler Opposition stehen. Wobei es Fälle gibt, vor allem beim Verarbeiten von IFC-Modellen, wo diese Oppositionen eher komplementär zu betrachten sind und sich ergänzen. Beispielsweise werden bei *Linked Data* Ansätzen semantische Informationen vorausgesetzt und für die Verarbeitung von Geometry ist eine Untersuchung struktureller Gegebenheiten im Modell notwendig.

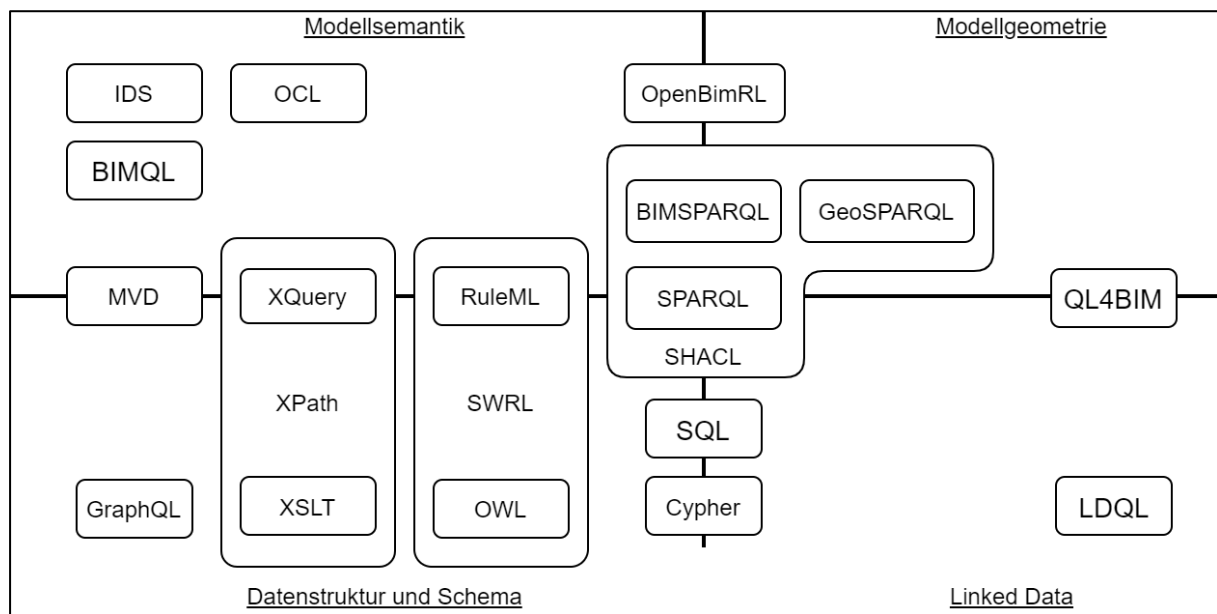


Abbildung 22: Primäre Anwendungsbereiche der einzelnen Schemata und Sprachen für die Regelprüfung

Um diese kategorische Zuordnung zu ermöglichen, wurden eine Reihe von Leitfragen untersucht. Die hier betrachteten Kriterien zielten darauf ab Regelsprachen zu identifizieren, welche sich für die Prüfung und Formalisierung von einheitlichen Regelsätzen formaler und fachlicher Anforderungen eignen, entnommen aus Normen und Richtlinien. Dabei sind vor allen die Prüfung von Modell Semantik und Geometrie entscheidend, da diese als Grundvoraussetzung modellspezifischer Anforderungen verstanden werden und den objektiv größten Teil der Richtlinien ausmachen.

Es wurden folgende **Leitfragen** gestellt und erläutert, um die Regelsprachen zu evaluieren:

1. Was sind die konkreten Fallbeispiele potenzieller Regelprüfung?
2. Welche Vorteile ergeben sich aus der Ableitung und Anwendung von maschinenlesbaren Objektvorlagen und Regelsätze?
3. Wie sind Vorgaben aus Richtlinien und Normen zu formalisieren?
4. Welche Dokumente dienen als Grundlage für eine Faktenbasis?
5. Warum offen Standards gegenüber geschlossenen Lösungen bevorzugen?
6. Wie ist eine nachhaltige Pflege von Regelsätze zu bewerten?

3.3.1. Fallbeispiele für die Regelprüfung

Die Leistungsphasen nach der *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* (HOAI) beschreibt die Leistungen in neun prägnante Bereiche. Jedem Bereich wird eine Reihe von Tätigkeiten zugeschrieben, welche verbindlich von der Projektkoordination, über die Planung bis zur Abnahme beschrieben sind. Dabei wird gewissen Bereichen mehr Aufwand und damit ein höherer Kostenpunkt zugeschrieben (Abbildung 23).

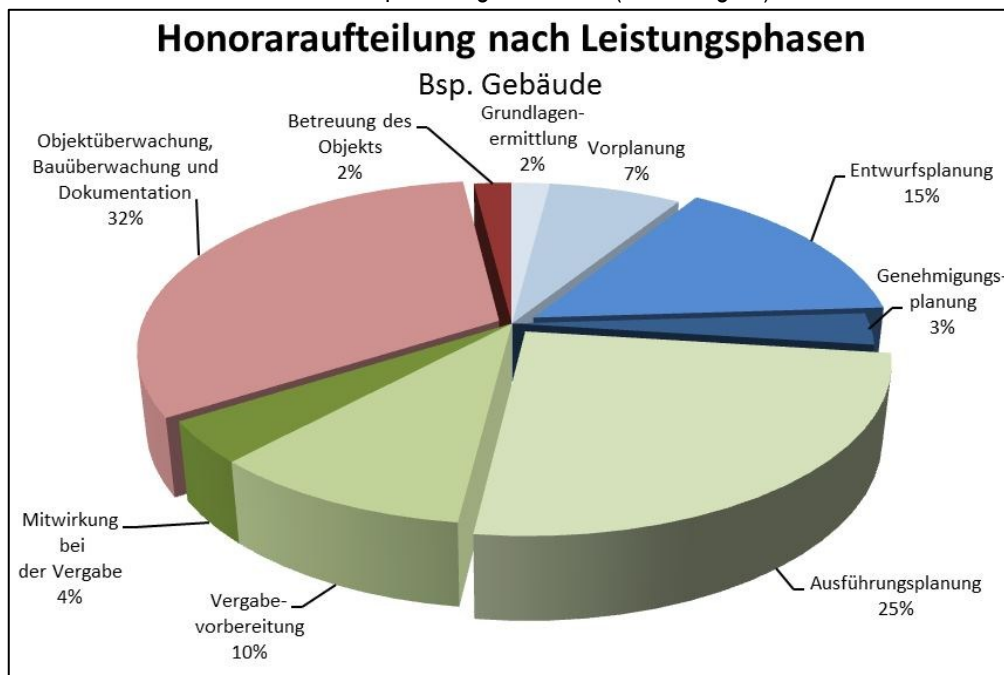


Abbildung 23: Honoraraufteilung nach Leistungsphasen⁵

Zur Herausstellung konkreter Fallbeispiele kann im Bauwesen eine Zuordnung von potentiellen im Vergleich zur HOAI betrachtet werden. Eine Gegenüberstellung zu den Anforderungen und der Potentiale ist in Tabelle 11 zu entnehmen. Die aufgezeigten Potenziale beschreiben jedoch nicht alle möglichen Facetten, sondern nur Highlights, die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte herausgearbeitet wurden oder schon in Werkzeugen zur Bauwerksprüfung Anwendung zu finden sind. Wesentliche Erkenntnis aus dieser Übersicht ist jedoch, dass die Potentiale einer regelbasierten Modellprüfung am stärksten aus Sicht der LPH3 – LPH5 herausgestellt werden. Also eben jene Leistungsphasen, welche einen direkten Bezug zur Planung am Modell voraussetzen. Somit liegt der Fokus einer BIM-basierten Regelsprachen auf die Erfüllung von Vorgaben im Bezug zur Modellierung und Abnahme dessen.

⁵ <https://www.ingenieur.de/karriere/gehalt/hoeheres-honorar-neue-regelung-fuer-ingenieure-und-architekten/#leistungsphasen> (Zuletzt geprüft: 23.02.2023)

HOAI-Leistungsphase (LPH)	Allgemeine Anforderungen	Potentiale einer Regelprüfung
LPH1 Grundlagenermittlung	• Standortanalyse • Budgetberechnung • Projektkoordination	• Abfrage und Prüfung geologischer Rahmenbedingungen (GIS) • Automatisierte Budget-Prüfung • Entscheidungsfindung für Risiko Bewertung
LPH2 Vorplanung	• Erste zeichnerische Darstellung • Alternativen aufzeigen • Verhandlungsebene	• Variantenvergleich • Prüfung der Einhaltung von Zwangsbedingungen
LPH3 Entwurfsplanung	• Entwurf des Bauvorhabens • Modellierung von Gebäude und Grundriss • Bauzeichnung • Kostenberechnung/Schätzung	• Formale Prüfung aller Modell-Attribute und Eigenschaften (Objektvorlagen) • Konformität mit Richtlinien und Normen • Fachliche Prüfung konkreter Regeln und Zusammenhänge • Fehlerfindung im Entwurf • Automatische Bewertung des Entwurfsstandes • Sicherheit bei der Einhaltung der Auftraggeber Informations-Anforderungen (AIA)
LPH4 Genehmigungsplanung	• Antragstellung und Baugenehmigung • Unterlagen Zusammenstellung	• Vorprüfung durch Planende • Prüfung der Verknüpfung aller Unterlagen (Linked Data) • Vereinfachte Auswertung von Routine-Prüfungen • Synchronisierung der Prüfung zwischen Planende und Behörde
LPH5 Ausführungsplanung	• Konkretisierung von LP3 und LP4 • Finalisierung des Objektkatalogs, Materials und Beschaffen • Detailzeichnungen • Expertenbefragung	• Einhaltung weiterer Regelwerke • Automatische Überprüfung der Vollständigkeit des gesamten Objektkatalogs • Hilfestellung bei der Zeitplanung (Hersteller, Lieferzeiten) • Ermittlung und Anpassung von Kostenkalkulationen bei Anpassungen (bspw. teures Material)
LPH6 Vergabevorbereitung	• Ausschreibungsprozess	• Prüfung der Verknüpfung aller Unterlagen (Linked Data) • Prüfung der Auftraggeber Informations-Anforderungen
LPH7 Mitwirkung bei der Vergabe	• Koordination nach Vergabe • Einbindung externer Gewerke	• Akzeptanz der Aufträge Externer durch die Prüfung Vorgaben
LPH8 Objektüberwachung, Bauüberwachung und Dokumentation	• Baubeginn • Koordination auf der Baustelle (Überwachung und Prognose) • Fortlaufende Rechnungsstellung	• Entscheidungsfindung auf der Baustelle • Kollisionsprüfung von Zeit und Kosten
LPH9 Betreuung des Objekts	• Maintenance • Abnahme, bzw. Übergabe • Gutachten • Endabrechnung	• Prüfung digitaler Dokumente (Arbeitskarten, Etagenpläne, etc.) • Prüfung von Gesamt-Kosten • Unterstützung einer digitalen Auswertung von Gutachten

Tabelle 11: Ermittelte Potentiale einer Regelprüfung auf Basis der HOAI

3.3.2. Vorteile maschinenlesbarer Objektvorlagen und Regelsätze

Regelwerke, Normen und Gesetze werden derzeit in Schriftform zur Verfügung gestellt und in die Modelle bei der Planung eingearbeitet. In der Regel werden hierbei Anforderungen formuliert, welche als Objektvorlagen übersetzt werden können. Solche Objektvorlagen werden derzeit vom jeweiligen Planungsbüro manuell aus den Dokumenten entnommen, wodurch individuelle Objektkataloge entstehen, welche Unterschiede in der *Bezeichnung*, *Schreibweise*, *Granularität*, *Datentyp* und dem angehefteten *Objektträger* aufweisen können.

Deshalb, wird derzeit die Überführung der definierten Vorgaben in Modellierungsrichtlinien praktiziert, als Zwischenschritt von Norm bis zur Information im Modell und ein klarer Schritt in Richtung Smart Standards (DIN Juni 2021). So geschehen beispielsweise in Forschungsprojekten wie der *Digitalisierung der Musterbauordnung*⁶ oder im Rahmen von Initiativen wie dem 2022 veröffentlichten Online-Portal mit Merkmalen und Merkmalsgruppen von *BIM Deutschland*⁷. Durch die Berücksichtigung maschinenlesbarer Formate wird Klarheit bei der Formulierung vorgeschrieben und Begriffe in Form von Glossaren auflöst.

Objektvorlagen im Kontext von Planungsprozessen

Als maschinenlesbares Format werden häufig XML-basierte Dokumente publiziert, da diese recht einfach durch XML-Schema aufgeschlüsselt werden können. Aber auch Tabellen basierte Formate, wie CSV oder Excel-Sheets, werden genutzt, um ganze Kataloge von Objektvorlagen und Objektinstanzen zu erzeugen. Diese Tabellen werden häufig als Modell-Element-Matrix (MEM) betitelt und konzentrieren sich gänzlich auf die Anforderungen zur Abbildung von Objektvorlagen im Modell. Wird IFC als Grundlage für das Modell in Betracht gezogen, dann wird vorzugsweise ein Modell-nahes Format zur Verarbeitung von Objektvorlagen genutzt, wie die Template-Klassen als ifcXML oder die Spezifikation der *Property-Set Definition* (PSD).

Objektvorlagen halten fest, dass diese Informationen notwendigerweise anzugeben sind, damit nicht nur Informationen, sondern auch Randbedingungen für die Regelprüfung automatisiert ermittelt werden können. Durch die Einbindung der Objektvorlagen als maschinenlesbares Format wird zudem ermöglicht, dass eine teilautomatisierte Attribuierung der Mindestanforderungen in Autorentools erfolgen kann. Besonderes Beispiel hierfür sind die standardisierten Eigenschaftssätze der IFC-Spezifikation, welche mit dem Präfix „Pset“ (Property Set) eine ganze Reihe internationaler Semantiken für Bauteile abbilden (Abbildung 24). Aber auch standardisierte Kenngrößen der geometrischen Eigenschaften und Mengen eines Bauteils lassen sich so automatisiert ableiten und darstellen. Diese sind üblicherweise durch das Präfix „Qto“ (Quantity) am Bauteil angegeben. Es ist jedoch wichtig hierbei herauszustellen, dass diese „Qto“-Eigenschaften der Software-Zertifizierung unterliegen und ohne Anwenderinteraktion erzeugt werden. Da Anwendende sich selten hierbei auf die Software-spezifischen Angaben verlassen, werden häufig alternative Eigenschaftssätze formuliert nach planungskonformen Vorschriften.

Die meisten Autorentools exportieren darüber hinaus auch Erweiterungen dieser standardisierten Eigenschaftssätze oder ergänzen diese durch völlig neue. Diese heben sich ab durch variierende Präfixe oder abweichende Namensgebungen. Manchmal kann anhand der Benennung identifiziert werden aus welchem Autorenwerkzeug diese stammen. Anwendende haben meist Einfluss darauf, welche Objektvorlagen und wie diese ins Modell geschrieben werden. Oftmals werden allerdings im Rahmen des Planungsprozesses diese mit herausgeschrieben, um die Informationen für potentielle Prüfungen zwischenzuhalten.

⁶ <https://mbo2bim.de/> (Zuletzt geprüft: 22.03.2023)

⁷ <https://www.bimdeutschland.de/leistungen/bim-portal> (Zuletzt geprüft: 22.03.2023)

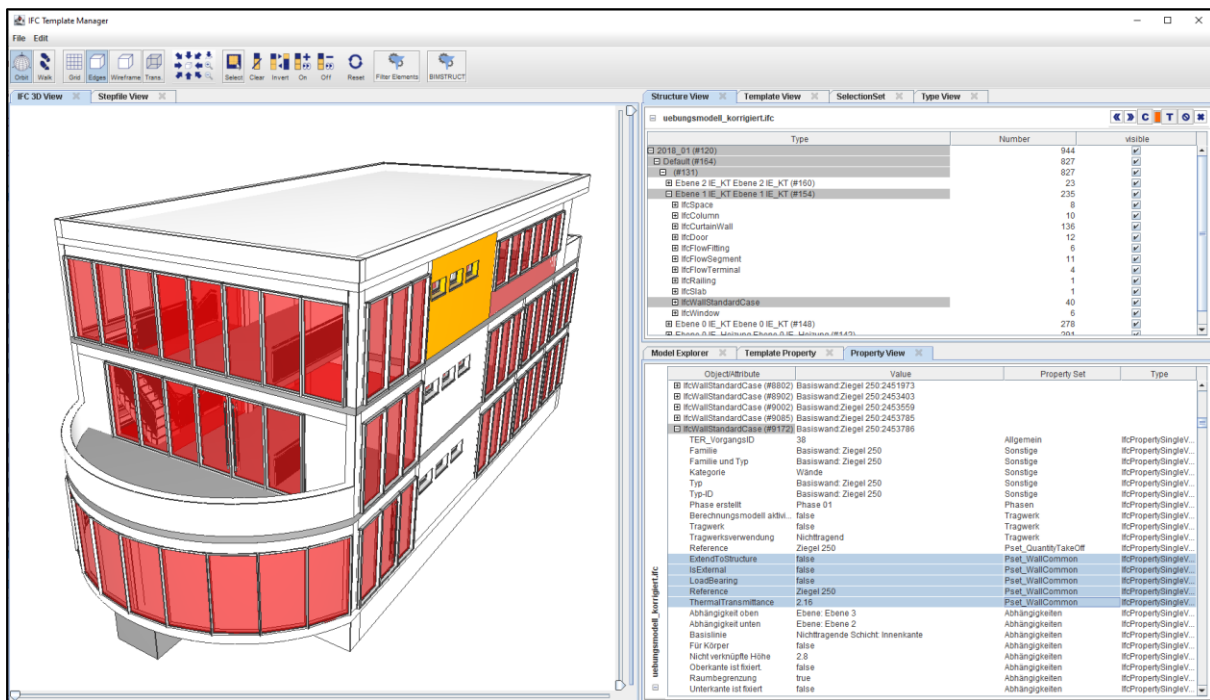


Abbildung 24: Darstellung von Informationen als Eigenschaftssätzen am Beispiel Bauteil einer Wand im Apstex IFC Viewer

Regelsätze im Kontext von Planungsprozessen

Der Nachweis über die vollständige Attribuierung eines Modells wird durch die formale Prüfung von Vorgaben einer Richtlinie (Modellierungsrichtlinie) durchgeführt und ist eine elementare Voraussetzung für die Formulierung von fachlichen Regelsätzen, welche die Richtigkeit der angegebenen Eigenschaften und deren Zusammenhänge, nachvollziehbar überprüft. Eine einzelne Objektvorlage ist jedoch unter Umständen nicht in der Lage alle notwendigen Informationen zu einer ganzheitlichen Bauwerksprüfung zu tragen. Viele Vorschriften und Anforderungen beschreiben eine Verflechtung von Informationen, welche aufeinander aufbauen oder voneinander abhängen. Dadurch ergeben sich teilweise komplexe Zusammenhänge, welche nur im Zusammenhang von aufgestellten Regeln aufschlussreich nachzuvollziehen sind (Abbildung 25). Diese Vorgaben bauen aufeinander auf, sodass deren Regeln einen Graphen mit Abhängigkeiten zwischen den Eigenschaften und Zuständen ergeben. Die systematische Auflösung solcher abhängigen Vorgaben ist ein Schwerpunkt der fachlichen Prüfung.

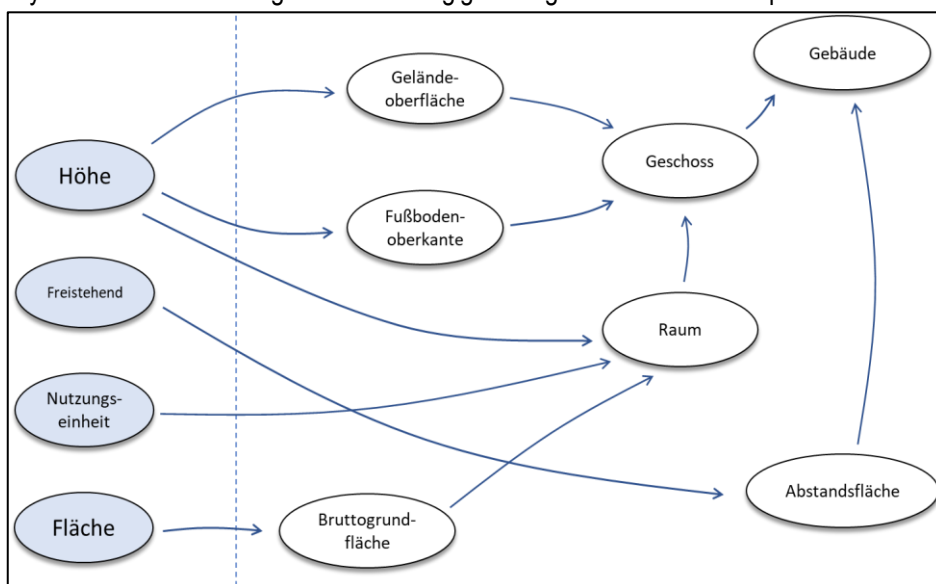


Abbildung 25: Ausschnitt eines Abhängigkeitsgraphen zwischen Begriffen wie diese in der Musterbauordnung vorkommen

Ein Regelsatz kapselt die qualitative Anforderung an ein Modell, sodass diese nachweislich und einheitlich validiert werden kann. Werden Regelsätze durch digital und maschinenlesbare Formate genutzt, so erlaubt es den Auftraggebenden und Auftragnehmenden beispielsweise gleichermaßen die kommunizierten Vorgaben teilautomatisiert im Rahmen einer Vorprüfung zu evaluieren. Ein Regelsatz und deren Prüfung wird nicht nur zur Selbstkontrolle verwendet, sondern kann vielseitig genutzt werden, wie beispielsweise zur Planungsoptimierung, Reduktion der Komplexität, Ermittlung von Fehlerquellen und Generierung von Prüfkörpern (Rettungswege, Abstandsflächen, usw.).

3.3.3. Ermittlung von Regeln aus Anforderungen der Normen

Entscheidend für die Ermittlung von Regelsätzen ist, ob eine Vorgabe der Richtlinie sich im Kern durch elementare Teil-Anforderungen strukturieren und auflösen lässt. Anders ausgedrückt, ist festzustellen, ob ein Prüfvorgang durch ein Struktogramm (Nassi-Schneider-Diagramm) dargestellt werden kann (Abbildung 26). Ein Struktogramm lässt sich direkt in Quellcode übersetzen, da es eine sehr nahe Beschreibung zu Programmierung darstellt und aufeinander aufbauenden Anforderungen deterministisch auflöst.

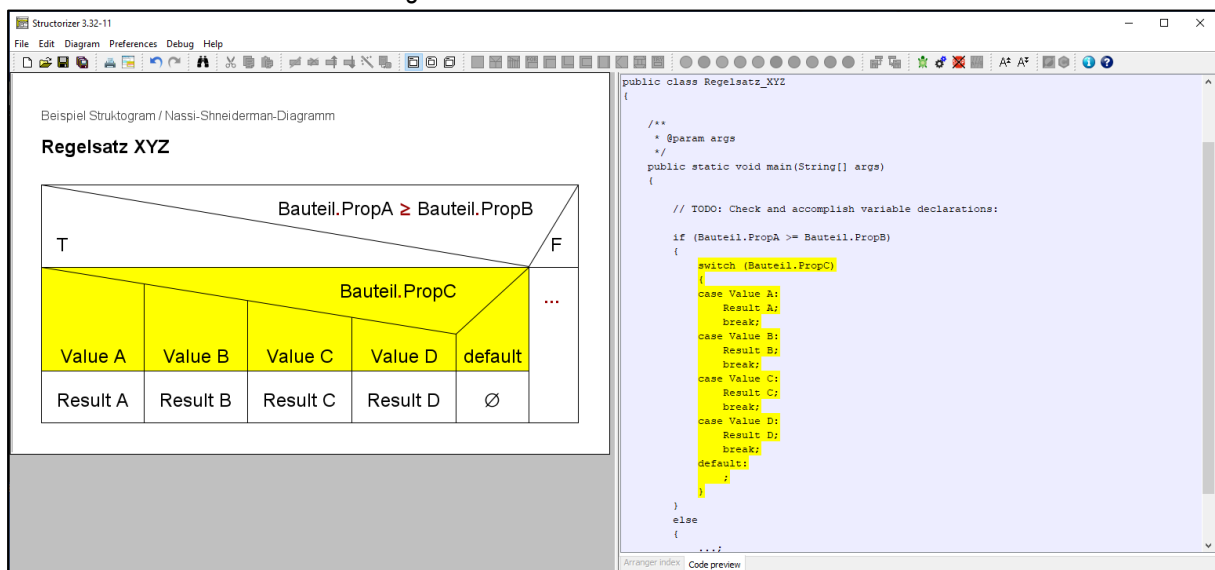


Abbildung 26: Beispiel eines Nassi-Schneider-Diagramms im Programm Structorizer

Prinzipiell sind Struktogramme als fachliche Prüfvorgänge zu verstehen. Die formale Prüfung setzt dabei als Prüfung einen Schritt früher an und ermittelt, ob die benötigte Voraussetzung (*PropA*, *PropB* und *PropC*) prinzipiell existieren, sodass der Vorgang validiert werden kann. Die Validierung einzelner Teilanforderungen kann jedoch sehr komplex ausfallen. Das ist beispielsweise immer der Fall, wenn Geometrie als Teil der Vorgabe verarbeitet werden muss. Im Kontext eines Struktogramms kann das bedeuten, dass es verschachtelte (eng. „Nested“) Struktogramme gibt mit eigenen Prüfvorgängen oder mindestens ein funktionaler Aufruf von Operatoren und Algorithmen gefordert wird. Eine fachliche Regelsprache muss also flexibel genug sein, um solche Funktionalitäten der Formalisierung zu erlauben.

3.3.4. Kommentar zur Faktenbasis im Bauwesen

Als Faktenbasis für die regelbasierte Modellprüfung werden digitale Planungsunterlagen und Modelle in Betracht genommen. Wichtig hierbei klarzustellen ist, dass für ein Faktum im Kontext der Modellprüfung generell erstmal die Annahme getroffen wird, dass die Informationen vollständig angegeben sind, ohne die Richtigkeit zu hinterfragen. Damit ist jede Information, die im Modell hinterlegt ist faktisch vorliegend und kann nachweislich ausgelesen werden. Erst die fachliche Prüfung löst auf, ob ein Faktum im Modell als richtig oder falsch zu bewerten ist. Im Rahmen von Building Information Modeling wird IFC als grundlegende Datenbasis für Modelle betrachtet. Informationen sind dort sowohl semantisch als auch geometrisch nachgehalten und werden in zwei unterschiedlichen hierarchischen Klassenstrukturen und Relationen zwischengehalten. An relevanten Entitäten

wird über ein Relationsobjekt jegliche zusätzliche Semantik definiert und ans Element geheftet (siehe Abbildung 27). Die Geometrie einer Entität wird hingegen attributiv angegeben, nämlich über die direkte Angabe einer Repräsentation am Element (siehe Abbildung 28). Dabei kann die Repräsentation sowohl implizit als auch explizit erfolgen. Abhängig vom benötigten Detailgrad der Geometrie, ist diese erst von einem Interpreter zu übersetzen, bevor die Repräsentation Anwendung findet in einer Prüfung. Der Aufbau des Modells selbst orientiert sich an räumlichen Strukturen und gruppiert physikalische Elemente durch Relationen (Abbildung 29). Diese drei Konzepte sind der wesentliche Bestandteil der IFC-Datenstruktur und erlauben es ganzheitlich ein Modell darzustellen und zu untersuchen. Eine Sprache zur regelbasierten Modellprüfung sollte mindestens diese drei Bereiche verarbeiten können, oder sich zumindest auf einem dieser Strukturen verstärkt spezialisieren, um effizient Konzepte und Teilprüfungen umzusetzen zu können.

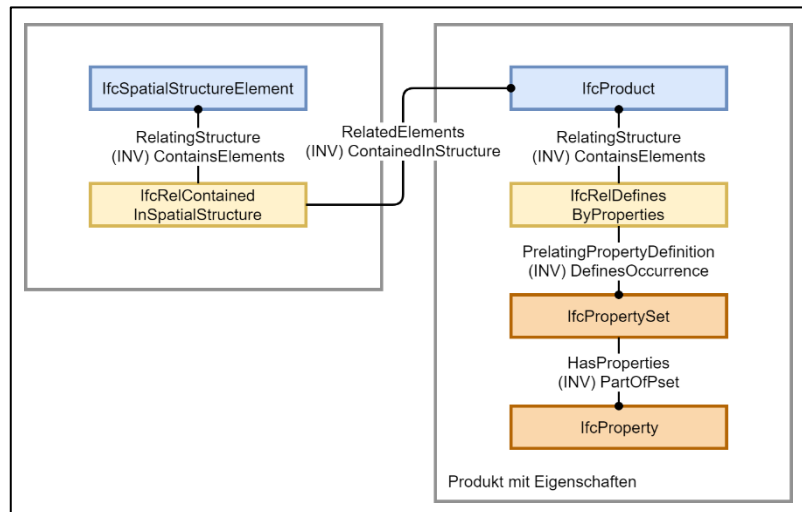


Abbildung 27: Hierarchische Beziehung von Produkt zur Eigenschaft in IFC

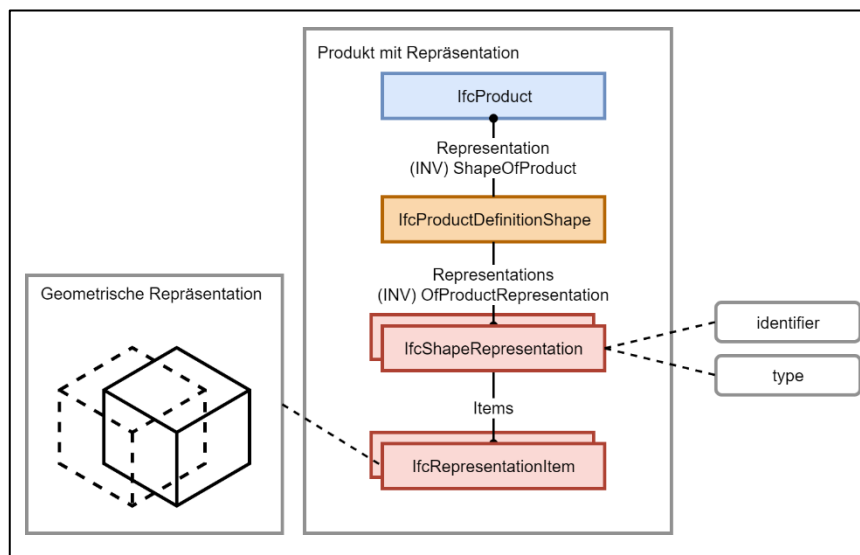


Abbildung 28: Hierarchische Beziehung von Produkt zur Repräsentation in IFC

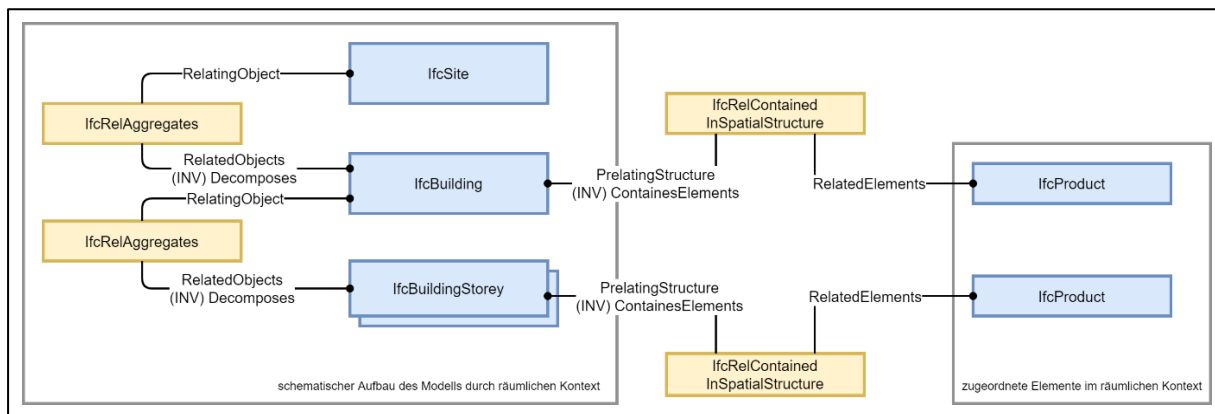


Abbildung 29: Strukturierung des Modells durch räumliche Elemente

3.3.5. Nutzung offener Standards

Am Markt erhältliche Software, wie beispielsweise der Solibri Model Checker⁸, priorisieren vorwiegend native und herstellergebundene Formate, welche wenig Einblick und Flexibilität in der Regeldefinition zulassen, dafür aber robust und zuverlässig funktionieren. Solche Anwendungen werden als eine „Black-Box“ bezeichnet, aufgrund ihrer Undurchsichtigkeit bei der Durchführung und Formulierung der Prüfung. Alternative Softwaresysteme, wie beispielsweise DESITE BIM md⁹, erlauben es Prüfungsvorgänge offen zu formulieren, nutzen aber dabei keine offenen Datenformate. Die Formulierung einer Prüfung erfolgt durch manuelle Programmierung einzelner Regeln, was eine enorme Einstiegshürde selbst für Fachpersonal bedeutet.

Für Anwendungsfälle der regelbasierten Modellprüfung ist ein Austausch von offenen Datenformaten entscheidend für das öffentliche Verständnis und deren Akzeptanz als Werkzeug im Wertschöpfungsprozess des Bauwesens. Das liegt vor allem daran, dass in öffentlich aufgetragenen Projekten keine explizit herstellergebundenen Softwaresysteme ausgeschrieben werden. Auch bei Normen und Richtlinien, welche als Beiwerk digitale Vorgaben und Regelsätze pflegen, wird darauf verzichtet native und Software gebundene Formate zu verwenden, um deren Anwendung unabhängig von Marketing der Hersteller zu publizieren, bzw. davon zu trennen.

Hinzu kommt, dass Softwarehersteller in der Regel keine Garantie für eine langzeitige Unterstützung ihrer nativen Formate bereitstellen. Eine Abwärtskompatibilität könnte durch zukünftige Versionen einer Anwendung verfallen und damit den Prüfungsvorgang sowie definierte Regelsätze verändern oder im schlimmsten Fall zerstören. Schließlich, einzelne Regeln enthalten routinierte Aufrufe für Funktionen und Operatoren. Im Ideal sollte Anwendenden einer Prüfung bekannt sein, was und wie die Überprüfung der enthaltenen Regeln genau abläuft, um nachweislich begründen zu können, ob etwas richtig oder falsch geprüft wurde. Das bedeutet, da native Formate keinen tiefgreifenden Einblick erlauben, dass abhängig von der Zugänglichkeit der genutzten Software die Prüfung auf längerer Sicht entweder gar nicht oder nur mühsam nachvollzogen werden.

Ein durch offene Formate formulierter Regelsatz ermöglicht es zumindest auch nach Jahren diesen einzusehen, um nachzuvollziehen was und wie dort genau geprüft wurde.

3.3.6. Nachhaltige Pflege von Objektvorlagen und Regelsätze

Mit zunehmender Digitalisierung und damit verbundener Optimierung der BIM-Prozesse wird auch eine nachhaltige Pflege der digitalen Richtlinien und dazugehörigen Objektvorlagen notwendig. Die nötige Infrastruktur ist jedoch kein entscheidender Bestandteil zur Auswahl einer Regelsprache. Dennoch, eine parallele Publikation eines Objektvorlagenkataloges zu den Vorschriften aus Richtlinien, Normen und Gesetzen ermöglicht es einheitliche Modelle zu erzeugen und Mehraufwand für Planende zu vermeiden. Zur Unterstützung dieser Vorgehensweise gibt es bereits Initiativen, welche die zentralisierte Verfügungsstellung solcher Objektvorlagen vorgesehen haben (BIM Deutschland, buildingSMART bSDD). Auf den Plattformen werden ebenfalls die gängig beschriebenen Formate

⁸ <https://www.solibri.com/> (Zuletzt geprüft: 10.03.2023)

⁹ <https://thinkproject.com/de/produkte/desite-bim/> (Zuletzt geprüft: 10.03.2023)

zur Verfügung gestellt (XML, PSD, ifcXML) und sehen es vor auch zukunftsorientiert weitere Formate mit einzubeziehen.

3.4. Zusammenfassung

Aus der Anforderungsanalyse geht hervor, dass für eine regelbasierte Modellprüfung die Regelsprachen und Formate aus den Anwendungsbereichen der Kategorien *Modellsemantik*, *Modellgeometrie* und deren *Datenstruktur* besonders relevant sind. Das liegt vor allem an der Tatsache, dass die meisten betrachteten Vorgaben am Modell selbst zu prüfen und nachzuhalten sind. Dies wird insbesondere deutlich, wenn man sich die aufgelisteten Potentiale zwischen LPH3 – LPH5 in Tabelle 11 genauer betrachtet. Die meisten Potentiale beziehen sich auf Informationen aus dem Modell.

Der Teilbereich des *Linked Data* setzt voraus, dass mehr Dokumente als nur das Bauwerksmodell in Betracht gezogen werden. Auch wenn *Linked Data* Ansätze durchaus über Anwendungsfälle in der regelbasierten Modellprüfung verfügen, so liegt der Fokus klar darauf Relationen zwischen Dokumenten und Modellen herzustellen und zu prüfen.

Unabhängig von der Funktionalität und dem Anwendungszweck einer Regelsprache muss diese zumindest in der Lage sein ein Bauwerksmodell zu verarbeiten, um als Regelsprache zur regelbasierten Modellprüfung zu gelten. Als Basis für die Bauwerksmodelle wurde IFC herausgestellt, welches als Industrie weiter und offener Standard sich zunehmend durchgesetzt hat und von dem gängigen Autorenwerkzeugen verarbeitet werden kann.

3.4.1. Auswertung einer formalen Regelsprache

Wie festgestellt wurde, müssen die untersuchten Regelsprachen über die Möglichkeit verfügen Objektvorlagen umfassend zu verarbeiten oder zumindest deren Anforderungen zu referenzieren, um dadurch eine formale Prüfung nach Vorgabe zu erlauben. Hier kann potenziell eine Anbindung an den Bestand von Objektvorlagen der Planungsbüros und Standards zurückgegriffen werden, welcher dann auch automatisch in Regeln überführt werden können.

Für eine formale Prüfung nach den gestellten Anforderungen kommt hauptsächlich MVD (siehe 3.2.1) und IDS (siehe 3.2.2) zum Einsatz. Wobei MVD nicht primär für die Prüfung entwickelt wurde und einen generischen Ansatz zur Prüfung umsetzt, welcher auch über IFC-Modelle hinaus Einsatz findet. Die Rolle einer IFC-spezialisierten formalen Prüfung wird daher dem IDS-Standard zugeschrieben, welches mit der Idee einer IFC-spezifischen Prüfung von Vorgaben entwickelt wurde. In der direkten Abgrenzung zu MVD, wird dabei kein „*Concept*“ für den Datenzugriff angegeben, sondern direkt Spezifikationen für Bauteile eines IFC-Modells definiert. Es ist zu erwarten, dass aufgrund der Kompaktheit des Schemas eine automatisierte Integration und Freigabe zu ausgearbeiteten Modellierungsrichtlinien erfolgen kann.

3.4.2. Auswertung einer fachlichen Regelsprache

Die formale Prüfung wird für die fachliche Prüfung als eine Vorbedingung betrachtet, welche sicherstellt, dass alle Eingaben vorliegen und ausführbar sind. Denn, wie aufgezeigt wurde, sind die Vorgaben die fachlich geprüft werden müssen durch deutlich komplexere Regeln definiert und erfordern es Abhängigkeiten aufzulösen und sogar geometrische Bedingungen zu berücksichtigen. Eine dafür geeignete Regelsprache muss also eine sehr Programmierung nahe Definitionen erlauben, ähnlich eine Skript-basierten Programmiersprache.

Als Software und Programmiersprachen unabhängige Lösung wird OpenBimRL (siehe Kapitel 3.2.3) als fachliche Regelsprache eingesetzt. Das Schema ermöglicht es im Rahmen einer Vorberechnung beliebige Abläufe, Prozesse und Algorithmen als ein Knoten und Kanten orientierten Graphen zu formalisieren. Ermittelte Teilergebnisse werden dann klassische durch Regeln aufgelöst und erlauben es Bauteile anhand deren Zustände zu Ergebnismenge zuzuordnen. Der Ansatz gleicht dabei der Graph-basierten Programmierung, welche in der Praxis im Bauwesen durch Anwendungen wie *Dynamo Sandbox* und *Revit* bekannt sind. So können unabhängig von implementierten Funktionen Knoten als Vorgaben erstmal funktional definiert und geteilt werden, wodurch Anforderungen an Softwarehersteller für Regelprüfungen indirekt mit ausgeschrieben werden können.

3.4.3. Potentiale von generalisierten Ansätzen

Wie in Abbildung 22 dargestellt, wird allumfassend SPARQL und SHACL in jedem Anwendungsbereich verortet. Semantische Webtechnologien (siehe Kapitel 3.2.4) eignen sich im Allgemeinen für eine umfassende regelbasierte Modellprüfung, müssen aber mit einigen Einschränkungen umgehen. Im Bauwesen werden Semantik Web Technologien zunehmend für die Implementierung von Linked Data Ansätze verwendet, welche Information über die Dokumente im Resource Description Format (RDF) vorhält. So kann im Rahmen von Semantik Web Technologien ein IFC-Modell nicht nativ verarbeitet werden, sondern erfordert es das Modell in eine ifcOWL konforme RDF-Datenstruktur zu übersetzen. SPARQL und SHACL sind zudem äußerst generisch und Programmiersprachen nahe aufgebaut, sodass die Sprachkonstrukte einer herkömmlichen Datenbanksprache (wie SQL) ähnelt. Für die Implementierung als Regelsprache bedeutet dies, dass eine automatische Überführung von Objektvorlagen und fachlichen Vorgaben prinzipiell möglich ist, aber nicht ohne Kenntnisse eines Experten durchgeführt werden kann.

Durch Erweiterungen wie BIMSPARQL und GeoSPARQL sind Bibliotheken für die Verarbeitung von IFC und GIS konformen Datengrundlagen vorhanden, welche aktuell jedoch fast ausschließlich in der Forschung Anwendung finden. Das Potential besteht jedoch, Regeln und Vorgaben anhand von Semantik Web Technologien modellbasiert zu prüfen. Aufgrund der strikten Voraussetzungen wird diese Option jedoch nur alternativ aufgenommen.

4. Zusammenstellung von digital prüfbaren Anforderungen für die Ausführungsplanung

Da es nicht die Ausführungsplanung gibt und die Vielfältigkeit der Projektanforderungen von bestimmten Projekttypologien und vertraglichen Konzepten wie auch projektspezifischen normativen Anforderungen abhängt, kann es kein einheitliches gesamtheitliches Prüfschema für eine Ausführungsplanung geben. Der Versuch, ein solches Prüfschema für alle Arten von Projekttypen und vertraglichen Anforderungen zu entwickeln, müsste von vornherein scheitern.

Vor diesem Hintergrund erscheint es zutreffend, an die auftraggeberseitigen Vorgaben für ein Datenmodell der Planung anzuknüpfen, also an die LOIN-Vorgaben für die Ablieferung einer Ausführungsplanung. Nicht abstrakt das, was generell zu einer Ausführungsplanung gehören könnte, sollte Gegenstand von Überlegungen für digitale Prüfscenarien sein, sondern die konkreten Forderungen an ein entsprechendes Datenmodell, wobei diese sowohl geometrisch wie auch alphanummerisch ausgeprägt sein können.

Des Weiteren wird es darum gehen, die LOIN-Anforderungen aus dem Planungsvertrag mit dem erstellten konkreten digitalen Gebäudemodell abzugleichen und zudem mit den normativen Anforderungen an die Baulösung, nach den Normen des öffentlichen Baurechts und insbesondere auch den Vorgaben für die zu verwendenden Materialien digital zu überprüfen. Denkbar ist dabei ein unterschiedlicher Prüfraum, speziell bei der fachlichen Prüfung, denn es kann auch ganz unterschiedliche Standards geben, die für eine bestimmte Projekttypologie zu berücksichtigen sind. Beispielhaft seien hier Nachhaltigkeitsanforderungen genannt, die für ein bestimmtes Projekt vorgegeben werden können. Unterschiedliche Festlegungen zu den Ergebnissen eines möglichen Zertifizierungsprozesses führen zu entsprechend unterschiedlichen Prüfanforderungen.

Da in diesem Forschungsprojekt nicht alle (normativen) Anforderungen an eine Ausführungsplanung entwickelt werden können, geht es darum, anhand von Standardmerkmalen aufzuzeigen, wie einzelne digitale Planungsergebnisse (z.B. BIM-Objekte) mit digitalen Prüfwerkzeugen überprüft werden können.

Nachfolgend wird deshalb anhand von Einzelfällen aus dem Bereich der Statik geprüft, wie Anforderungen an die Herstellung von Stahlbetondecken digital überprüft werden können.

4.1. Prüfung der Mindestbetondeckung nach DIN 1992-1-1

Parallel dazu wurde eine Prüfregel in der Koordinationsoftware DESITE BIM md erstellt, die verschiedene Funktionen zur Modellprüfung zur Verfügung stellt. Es können u.a. zur Modellprüfung eigene Routinen in Form von Skripten hinterlegt werden, die auf der Programmiersprache JavaScript beruhen. Während eines Prüflaufs wird dieses Skript für jedes Bauteil in der Prüfmenge ausgeführt. Außerdem bietet DESITE BIM md die Möglichkeit Formulare zu erstellen, durch die eine individuelle Benutzeroberfläche mit HTML-Code erzeugt werden kann.

Diese beiden Funktionen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens genutzt, um beispielhaft eine Prüfregel so umzusetzen, dass sie in der Praxis genutzt werden könnte. Gewählt wurde hierzu die Überprüfung der Mindestbetondeckung. Dazu wurde das entsprechende Kapitel 4.4.1 im Eurocode DIN EN 1992-1-1:2011-01 abgebildet. Dabei wurden die relevanten Parameter erfasst und in Modellmerkmale und Normvorgaben unterteilt (Tabelle 12).

Die Normvorgaben wurden als digitale Norm in einer JSON-Datei abgebildet. Zum Testen wurde ein Modell eines Fundaments herangezogen, das gemäß den ermittelten Anforderungen attribuiert wurde.

Für die Benutzeroberfläche wurde ein Formular in DESITE BIM md erstellt (Abbildung 30). Über diese Oberfläche kann die digitale Norm ausgewählt und in DESITE BIM md eingeladen werden. Hier wurde bereits exemplarisch ein Auswahlfeld für den Nationalen Anhang ergänzt. Dieser findet jedoch in der Auswertung noch keine

Berücksichtigung. An dieser Stelle soll nur darauf hingewiesen werden, dass unter realen Umständen teils mehrere Normen zu berücksichtigen sind.

Modellmerkmale	Normvorgaben
• Expositionsklasse • Anforderungsklasse • Stabdurchmesser	• Mindestwert Betondeckung (10mm) • Anforderung an die Dauerhaftigkeit $c_{min,dur}$ • Additives Sicherheitselement $DC_{dur,g}$ • Abminderung für nichtrostenden Stahl $DC_{dur,st}$ • Abminderung für zusätzlichen Schutz $DC_{dur,add}$ • Vorhaltemaß DC_{dev}

Tabelle 12: Relevante Parameter zur Überprüfung der Betondeckung und deren Verortung nach DIN EN 1992-1-1:2011-01

Im Formular können außerdem die Namen der Merkmale vorgegeben werden, um die Modellprüfung flexibler zu gestalten. Zuletzt werden die zu prüfenden Bauteile festgelegt. Hierbei werden Bewehrungsstäbe und Betonbauteile zwei verschiedenen Prüfmengen zugeordnet, damit die Bewehrungsstäbe gezielt gegen die Betonbauteile geprüft werden können.

Sobald die Prüfung startet, wird für jeden Bewehrungsstab ein Skript ausgeführt, das zum einen überprüft, in welchem der Betonbauteile der Stab liegt und zum anderen, ob die Mindestbetondeckung eingehalten wurde. Dazu muss zunächst die erforderliche Mindestbetondeckung ermittelt werden. Hierfür werden die notwendigen Merkmale des Bauteils ausgelesen und in Abhängigkeit davon die Werte der digitalen Norm entnommen. Mit den ermittelten Werten wird die Mindestbetondeckung berechnet. Die Berechnung gemäß Eurocode ist hierzu im Skript hinterlegt. Um zu überprüfen, ob die Mindestbetondeckung eingehalten ist, wird die vorhandene Mindestbetondeckung mittels geometrischer Funktionen, die von der API von DESITE BIM md bereitgestellt werden, ermittelt und mit der berechneten erforderlichen Mindestbetondeckung verglichen. Wenn die vorhandene Mindestbetondeckung größer als die erforderliche Betondeckung ist, erhält das Prüfobjekt den Status „passed“ und hat somit die Prüfung bestanden. Falls dies nicht der Fall ist, ist die Mindestbetondeckung nicht eingehalten und der Status „failed“ wird vergeben.

Sobald die Prüfung für alle zu prüfende Bauteile erfolgt ist, wird das Ergebnis farbig im Modell dargestellt (Abbildung 30).

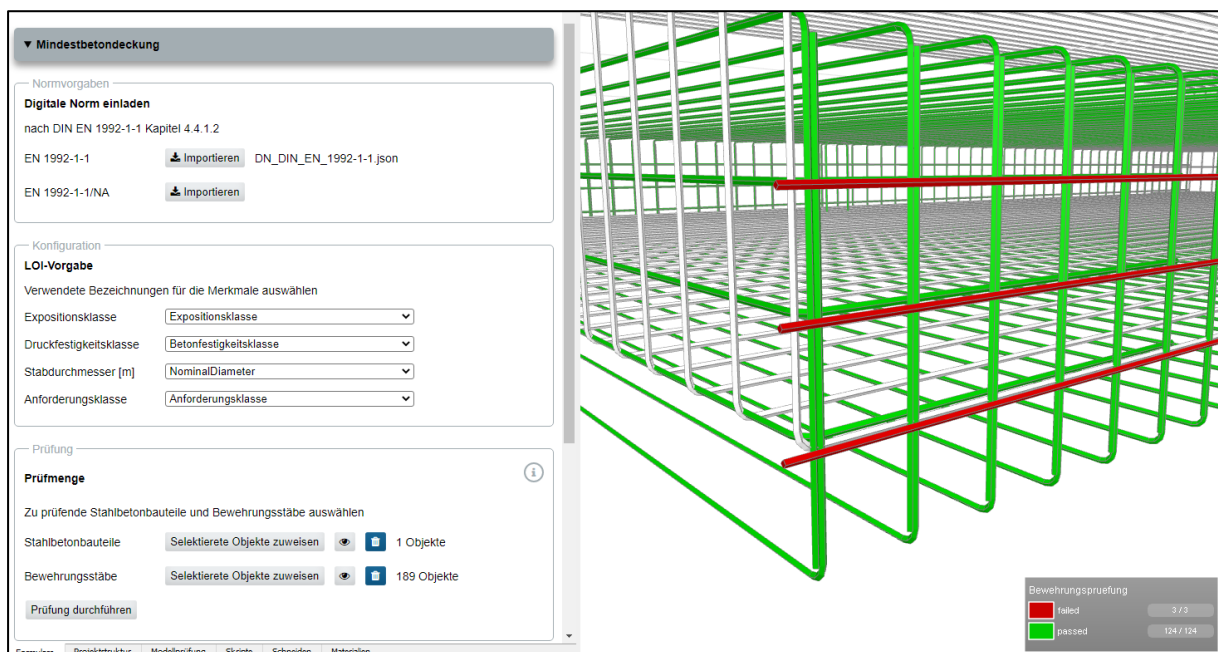


Abbildung 30: Formular zur Prüfung der Mindestbetondeckung und farbige Darstellung der Ergebnisse im Modell

4.2. Prüfung von Nutzlasten nach DIN EN 1991-1-1:2010-12

Die Anforderungen der Nutzlasten bestimmter Bauteile auf Decken, Balkone und Treppen werden in der DIN EN 1991-1-1:2010-12 beschrieben und sind z.B. für die Durchführung eines Gebrauchstauglichkeitsnachweises relevant. Laut Norm sind Nutzlasten veränderliche freie Einwirkungen und als quasi-statische Lasten anzusehen. Eine Nutzlast teilt sich dabei in die Betrachtung der Flächen- und Punktlast, welche individuell für unterschiedliche Nachweise anzugeben sind. So wird beispielsweise für den örtlichen Nachweis vorgeschrieben mit der Punktlast zu rechnen. Je nach Bauteil wird eine unterschiedliche kategorische Klassifizierung für die Randwerte der Flächen- und Punktlasten vorgenommen. Diese Randwerte beschreiben prüfbare Grenzen für spezifische Bauteile, deren Überschreiten eine erhöhte Last bedeutet. Diese Grenzwerte für die Nutzlasten sind beschrieben in der DIN EN 1991-1-1:2010-12 Tabelle 6.2 (Abbildung 31).

Nutzungskategorien	q_k kN/m ²	Q_k kN
Kategorie A		
— Decken	1,5 bis <u>2,0</u>	<u>2,0</u> bis 3,0
— Treppen	<u>2,0</u> bis 4,0	<u>2,0</u> bis 4,0
— Balkone	<u>2,5</u> bis 4,0	<u>2,0</u> bis 3,0
Kategorie B	2,0 bis <u>3,0</u>	1,5 bis <u>4,5</u>
Kategorie C		
— C1	2,0 bis <u>3,0</u>	3,0 bis <u>4,0</u>
— C2	3,0 bis <u>4,0</u>	2,5 bis 7,0 (<u>4,0</u>)
— C3	3,0 bis <u>5,0</u>	<u>4,0</u> bis 7,0
— C4	4,5 bis <u>5,0</u>	3,5 bis <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> bis 7,5	3,5 bis <u>4,5</u>
Kategorie D		
— D1	<u>4,0</u> bis 5,0	3,5 bis 7,0 (<u>4,0</u>)
— D2	4,0 bis <u>5,0</u>	3,5 bis <u>7,0</u>

Abbildung 31: Nutzlasten für Decken, Balkone und Treppen

Die Nutzungskategorien sind klassifiziert nach den Flächen als Nutzungsmerkmal. Die Kategorie A umfasst demnach alle Wohnflächen, die Kategorie B alle Büroflächen, die Kategorie C Flächen mit Personenansammlungen und die Kategorie D Verkaufsflächen. Spezifischer wird nach Kategorie C eine Detailierung in der DIN EN 1991-1-1:2010-12 vorgenommen, welche beispielsweise als Kategorie C1 Flächen mit Tischen (Schulen, Restaurants, usw.) und mit Kategorie C2 Flächen mit fester Bestuhlung vorsieht. Diese Vorgaben werden genutzt, um beispielsweise Abminderungswerte für Deckenkonstruktionen zu kalkulieren und die Belastung aus Stützen und Wände zu bemessen.

Aufbereitung eines Bauwerks zur Bestimmung von Nutzlasten

Als Beispiel wird ein einfaches Bauwerksmodell betrachtet, welches aus zwei Geschossen und einer einfachen Anordnung von Einrichtungsgegenständen (IfcFurniture als Tische, Stühle und Regale) besteht. Die Anforderungen der DIN EN 1991-1-1:2010-12 richten sich jedoch nicht direkt an die Einrichtungsgegenstände, sondern an die Flächen, die diese einnehmen. Jeder Gegenstand wird demnach in einen eigenen Raumkörper (IfcSpace) umhüllt, welcher die eingenommene Fläche auszeichnet, auf der die Nutzlast sich auswirkt. Diese Raumkörper werden nach den Vorgaben der DIN EN 1991-1-1:2010-12 attribuiert und deren Merkmale können wie folgt als Eigenschaften beschrieben werden:

Eigenschaften

Entität	Eigenschaftsgruppe	Eigenschaft	Listentyp	Datentyp
Raum	Raum_Nutzlast	Kategorie	Auswahlliste	Text
Raum	Raum_Nutzlast	Nutzflächenlast	Einzelwert	Gleitkommazahl
Raum	Raum_Nutzlast	Nutzpunktlast	Einzelwert	Gleitkommazahl

Eigenschaft	Wertebereich	Wertbeschreibung
Kategorie	A	Räume in Wohngebäuden und -häusern, Stations- und Krankenzimmer in Krankenhäusern, Zimmer in Hotels und Herbergen, Küchen, Toiletten
	B	Büroflächen
	C1	Flächen mit Tischen usw., z. B. in Schulen, Cafés, Restaurants, Speisesälen, Lesezimmern, Empfangsräumen.
	C2	Flächen mit fester Bestuhlung, z. B. in Kirchen, Theatern, Kinos, Konferenzräumen, Vorlesungssälen, Versammlungshallen, Wartezimmern, Bahnhofswartesälen.
	C3	Flächen ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen, z. B. in Museen, Ausstellungsräumen usw. sowie Zugangsflächen in öffentlichen Gebäuden und Verwaltungsgebäuden, Hotels, Krankenhäusern, Bahnhofshallen.
	C4	Flächen mit möglichen körperlichen Aktivitäten von Personen, z. B. Tanzsäle, Turnsäle, Bühnen
	C5	Flächen mit möglichem Menschengedrange, z. B. in Gebäuden mit öffentlichen Veranstaltungen, wie Konzertsälen, Sporthallen mit Tribünen, Terrassen und Zugangsbereiche und Bahnsteige.
	D1	Flächen in Einzelhandelsgeschäften
	D2	Flächen in Kaufhäusern
Nutzflächenlast	Bspw. 2.5 kN/m ²	Die Angabe der Nutzlast die auf der Fläche sich auswirkt.
Nutzpunktlast	Bspw. 2.5 kN	Die Angabe der Nutzlast die auf dem Mittelpunkt der Fläche sich auswirkt.

Beispiel

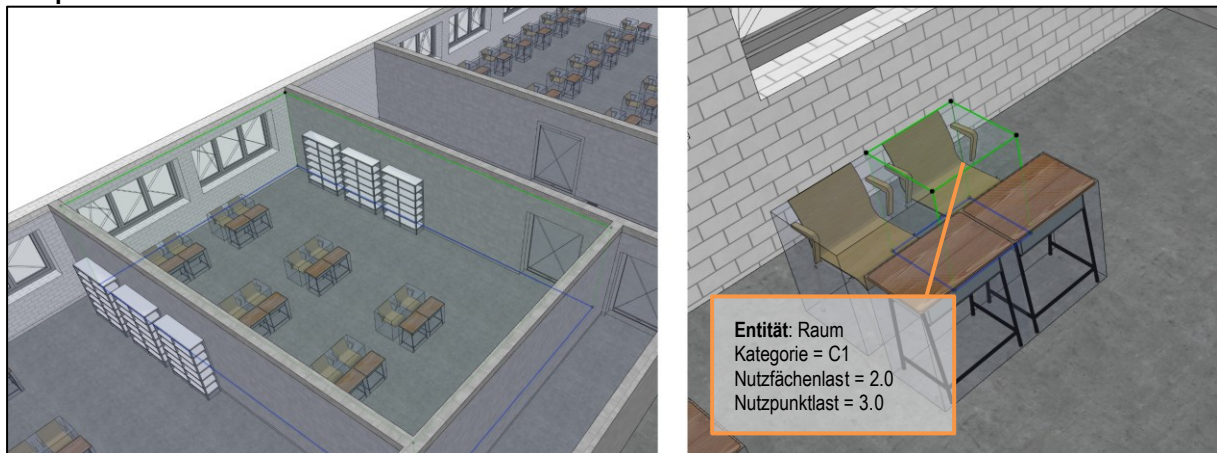


Abbildung 32: Raum mit Anordnung einer einfachen Einrichtung (links), Raumkörper zur Attribuierung von Nutzlasten der Einrichtungsgegenstände (rechts)

Prüfung der Nutzlasten

Als Vorbereitung zur Berechnung von beispielsweise Abminderungswerten und Belastungen von Stütz- und Wandbauteilen ist die Prüfung der Nutzlastgrenzwerte entscheidend. Der Prüfablauf sieht dabei vor die Raumkörper der Einrichtungsgegenstände nach ihrer attribuierten Kategorie zu filtern. Die Nutzflächenlast und Nutzpunktlast dieser Teilmengen sind entsprechend ihrer Grenzwerte aus der Vorgabe zu prüfen. So können Nutzlasten außerhalb der Rahmenwerte ermittelt werden und potenzielle Fehler und Fehlverhalten aus Sicht der Statik festgestellt werden.

Die implementierte Prüffregel setzt eine überschaubare Vorberechnung (Abbildung 33, a) zur Filterung und Sortierung der Nutzlast-Informationen voraus. Diese vorberechneten Teilergebnisse (Abbildung 33, rote Knoten) werden dann im Rahmen einer Fallentscheidung anhand der Grenzwerte überprüft (Abbildung 33, b).

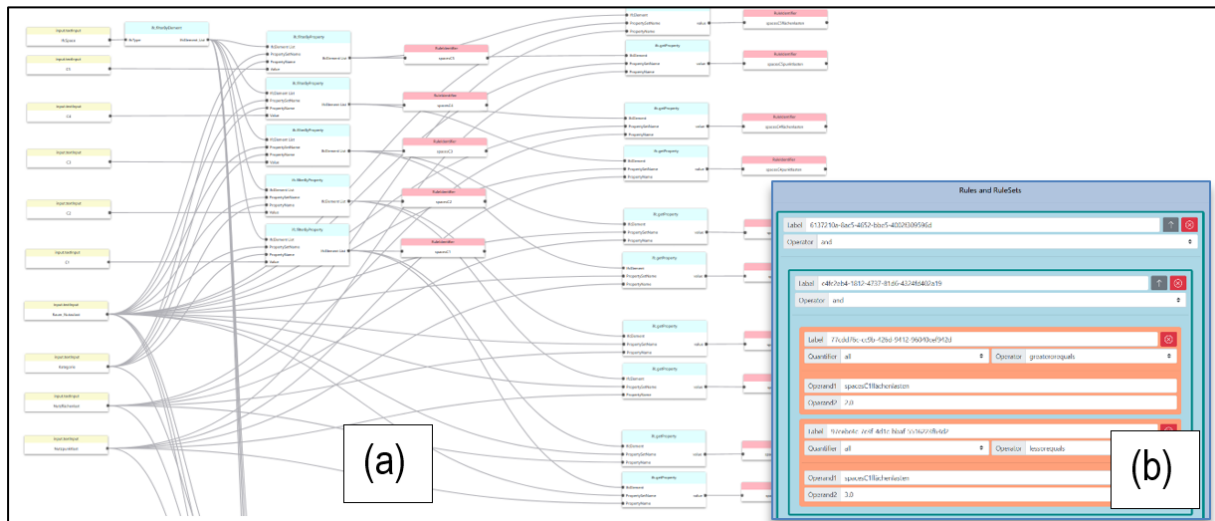


Abbildung 33: Die Vorberechnung der Prüfung zur Filterung und Sortierung der Nutzlast-Informationen als OpenBIMRL Graph (a) und ein Ausschnitt des Fallentscheidung für die Regelprüfung (b)

Die Durchführung der Prüfung der Nutzlasten erkennt so automatisiert welche Bauteile den Vorgaben der DIN EN 1991-1-1:2010-12 entsprechen und welche nicht. Die Ergebnisse der Regelprüfung selbst können als Filter für Bauteilmengen (Raumkörper/Einrichtungsgegenstände) genutzt werden, wodurch erfolgreiche und nicht erfolgreiche Teilmengen identifiziert werden können.



Abbildung 34: Identifizierte Raumkörper nach der Prüfung der Nutzlasten Grenzwerte

4.3. Zusammenfassung

Aufgrund der Vielfalt von Projekttypen, vertraglichen Konzepten und normativen Anforderungen gibt es kein allgemeingültiges Prüfschema. Stattdessen wird vorgeschlagen an die auftraggeberseitigen Vorgaben für ein Datenmodell anzuknüpfen. Dabei sollen konkrete Anforderungen an das Datenmodell, sowohl geometrisch als auch alphanumerisch, überprüft werden. Die Überprüfung bezieht sich auf die LOIN-Vorgaben, den Planungsvertrag, die normativen Anforderungen des öffentlichen Baurechts und die Vorgaben für Materialien. Unterschiedliche Prüfrahmen können für verschiedene Projekttypologien angewendet werden, insbesondere bei fachlichen Prüfungen wie Nachhaltigkeitsanforderungen.

Das Kapitel demonstriert die Überprüfung von digitalen Planungsergebnissen anhand von Standardmerkmalen, speziell für die Statik. Es zeigt, wie Anforderungen an Stahlbetondecken digital überprüft werden können. Dazu wurden Prüfregele erstellt, die auf normativen Anforderungen basieren und mit Hilfe von Modellprüfungen und Skripten umgesetzt wurden. Die Prüfung der Mindestbetondeckung und die Prüfung von Nutzlasten wurden exemplarisch behandelt. Für jede Prüfung wurden digitale Normvorgaben in JSON-Dateien abgebildet. Diese Normen wurden in die Koordinationssoftware DESITE BIM md pro integriert, um eine praktische Anwendung zu ermöglichen. Die Prüfergebnisse wurden farbig im Modell dargestellt, um potenzielle Fehler visuell zu kennzeichnen.

Das Kapitel betont die Bedeutung der kontextbezogenen Prüfung von digitalen Planungsergebnissen anhand von konkreten Anforderungen und Normen. Es zeigt auf, wie durch die Verwendung von digitalen Prüfwerkzeugen Fehler identifiziert und die Qualität der Ausführungsplanung verbessert werden kann.

5. Koordination mit BIM-Deutschland und Standardisierungsorganisationen

Im Rahmen von BIM-Deutschland werden zwei relevante Fragestellungen bearbeitet. Hierzu gehören zum einen die Muster-AIA für den Hochbau und zum anderen die Entwicklung des BIM-Portals mit den Modulen AIA und Prüfwerkzeuge. Das generelle Ziel ist es, dass alle Muster-AIA auf Basis einer einheitlichen Struktur erstellt werden, welche am Ende der Erarbeitung eine Übernahme in das BIM-Portal ermöglicht. Die Grundlage hierfür bilden die Muster für die AIA-Erstellung, die von BIM4INFRA 2020 im Rahmen der Handreichungen veröffentlicht wurden, sowie die Ergebnisse aus den bisherigen Erkenntnissen aus der Anwendung der BIM-Methodik in Projekten in den Bereichen Hochbau, Straße, Wasserstraße und Schiene. Für die Bereitstellung der spezifischen Anhänge der Muster-AIA mit den Informationsbedarfen der Fachmodelle mit den Modellelementen und Merkmalen (LOIN-Anhänge) wird sowohl die Methode der DIN EN ISO 29481-1:2018 als auch die Struktur der DIN EN 17412-1:2020 zugrunde gelegt. Die Muster-AIA für den Hochbau umfasst die Objektplanung eines Verwaltungsbaus. Die folgenden BIM-Anwendungsfälle (AWF) werden dabei für die Leistungsphasen 2 bis 5 sowie 8 berücksichtigt:

- AWF 010 Bestandserfassung und -modellierung
- AWF 040 Visualisierung
- AWF 050 Koordination der Fachgewerke
- AWF 080 Ableitung von Planunterlagen
- AWF 100 Mengen- und Kostenermittlung
- AWF 190 Bauwerksdokumentation

Es werden folgende BIM-Rollen und Verantwortlichkeiten im Rahmen des Projektes vorgesehen:

- Management und Steuerung – BIM-Manager (AG-seitig)
- Modellkoordination und Qualitätssicherung – BIM-Gesamtkoordinator (AN-seitig)
- Modellerstellung und Qualitätssicherung – BIM-Koordinator und BIM-Konstrukteur (AN-seitig)

Insbesondere die Umsetzung der BIM-Anwendungsfälle für die Leistungsphase 2 bis 5 mit ihren spezifischen Vorgaben zum Informationsbedarf sind sehr relevant. Leider liegen aktuell noch keine konkreten LOIN für den Verwaltungsbau vor. Die Muster-AIA werden so erstellt, dass diese später automatisch in das BIM-Portals des Bundes integriert werden können. Hierzu wurden für den Import der LOIN (inkl. Merkmale und Merkmalsgruppen) ein geeignetes Datenformat spezifiziert, welches die DIN EN 17412-1:2020 vollständig abbildet. Das Schema wurde in Abstimmung mit der CEN/TC 442/WG 2 zur prEN 17412-3 entwickelt. Es gibt eine spezielle Erweiterung von BIM Deutschland für das IFC-Mapping. Über die GUID (globalID) erfolgt die Verknüpfung von Kontextinformationen sowie Merkmalen und Merkmalsgruppen. Ein Auszug des Schemas ist in der folgenden Abbildung 35 dargestellt.

Koordination mit buildingSMART

Die Vorgehensweise zur Datenextraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen basieren auf den von buildingSMART International entwickelten Standards. Zur Pflege bereits existierender Eigenschaftssätze und Klassen der Industry Foundation Classes (IFC) veröffentlichte buildingSMART International das buildingSMART Data Dictionary (bSDD). Beim bSDD handelt es sich um eine Web-Plattform zum Suchen von Klassen und Eigenschaftssätze. Neben internationalen und nationalen Klassifikationssystemen (Uniclass¹⁰, Minnd¹¹, etc.) und anwendungsspezifischen Standards (ETIM¹², UniversalTypes¹³, etc.) können auch projektspezifische, nationale und unternehmensspezifische Standards in bSDD gespeichert werden. Das bSDD wurde in den letzten Jahren grundlegend überarbeitet und basiert nun auf den Standards DIN EN ISO 12006-3:2022-10 und DIN EN ISO 23386:2020-11. Daher ist eine Integration der Ergebnisse mit dem bSDD möglich. Neben einem web-basierten Zugang über eine zentrale Plattform wird auch eine API (Application Programming Interface) zur Verfügung gestellt. Die Dokumentation ist auf Github¹⁴ frei zugänglich. Auf Basis der API wurde bereits ein Import der Merkmale und Merkmalsgruppen aus dem BIM-Portal des Bundes realisiert. Dies war nur möglich, da sowohl das bSDD als auch das BIM-Portal des Bundes die DIN EN ISO 23386:2020-11 unterstützt. Auch im Rahmen von buildingSMART Deutschland (bSD) wird aktuell eine Merkmalsdatenbank aufgebaut, um einheitliche Klassifikationen und Eigenschaften zusammenzustellen. Als System wurde BIMQ der Firma AEC3 Deutschland GmbH ausgewählt. Die Strukturierung des Merkmalservers erfolgt gemäß DIN EN ISO 23386:2020-11, DIN EN ISO 23387:2020-12, DIN EN ISO 12006-3:2022-10 und VDI 2552-9. Verschiedene Arbeitsgruppe beschäftigen sich gerade mit der Zusammenstellung und Übertragung von wesentlichen Merkmalen und Merkmalsgruppen. Detaillierte Ergebnisse dazu wurden bisher noch nicht veröffentlicht. Die Inhalte können auch ins buildingSMART Data Dictionary übertragen werden.

Für die Prüfung von Merkmalen und Merkmalsgruppen kann der buildingSMART-Standard zu Model View Definition (MVD) eingesetzt werden. Aktuell befindet sich jedoch mit den Information Delivery Specification (IDS) ein neuer Standard in der Entwicklung, welcher einen stärkeren Fokus auf die gezielte Prüfung von Eigenschaftssätzen (Merkmalen und Merkmalsgruppen) am Modell ermöglicht (siehe Kapitel 3.2.2). Es wurde die Kompatibilität der für diese Forschungsarbeiten extrahierten Merkmale und Merkmalsgruppen mit dem IDS-Standard sichergestellt.

Die Fachgruppe von buildingSMART Deutschland zur regelbasierten Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung von BIM-Modellen beschäftigt sich mit Entwicklung einer einheitlichen Vorgehensweise zur Umsetzung und Prüfung einer geforderten Qualität von BIM-Modellen (je Anwendungsfall) unter Berücksichtigung von einheitlichen Definitionen des LOIN (LoG, LoI) und unter Berücksichtigung der Honorarordnungen, zusammengefasst unter verschiedenen Leveln der Koordination. Konkrete Ergebnisse wurden aktuell noch nicht veröffentlicht.

Mit dem Use Case Management von buildingSMART International (UCM) besteht die Möglichkeit, BIM-Anwendungsfälle der gesamten Wertschöpfungskette Bau auf einer zentralen Plattform zusammenzutragen und allen Interessenten weltweit kostenlos zugänglich zu machen. Der Service steht den internationalen Arbeitsgruppen von buildingSMART¹⁵ sowie den nationalen Chapters zur Verfügung. Ziel des Use Case Management ist es, BIM-Anwendungsfälle anhand einer vorgegebenen Struktur einheitlich zu beschreiben. Das einheitliche, strukturierte Vorgehen bei der Beschreibung der Anwendungsfälle sorgt dafür, dass entsprechende Information Delivery Manuals (IDM) gemäß DIN EN ISO 29481-1:2018-01 effizienter entwickelt werden können. Spezielle Anwendungsfälle zur Ausführungsplanung sind nicht zu finden. Des Weiteren besitzen nur sehr wenige Anwendungsfälle detaillierte Informationen zu Merkmalen und Merkmalsgruppen. Zwar gibt es eine einheitliche Strukturierung, jedoch sind die Inhalte unterschiedlich detailliert. Insgesamt fehlt hier eine Qualitätssicherung und viele Überschneidungen sind vorhanden.

Die Fachinformation Bundesbau¹⁶ im Auftrag des BMVg und BMWBSB stellt auf ihrer Website eine Arbeitshilfe zur Erstellung von LOIN zur Verfügung. Das Dokument richtet sich an die öffentlichen Vorhabensträger im Bereich der Bundesbauten, die Auftraggeber-Informationsanforderungen für die Ausschreibung von Planungs- und Bauleistungen erstellen müssen. Im Rahmen dieses Dokuments werden grundlegende Begriffe erläutert, Vorgehensweise zum Aufbau und der Erstellung von LOIN beschrieben sowie praktische Hilfsstellungen zur Anwendung von LOIN gegeben. Das Dokument fasst die bestehenden Konzepte zur Erstellung und Nutzung von LOIN zusammen (siehe Abbildung 36). Es baut dabei auf den bestehenden Normen und Richtlinien auf. Leider werden nur sehr einfache und wenig detaillierte Beispiel aufgezeigt.

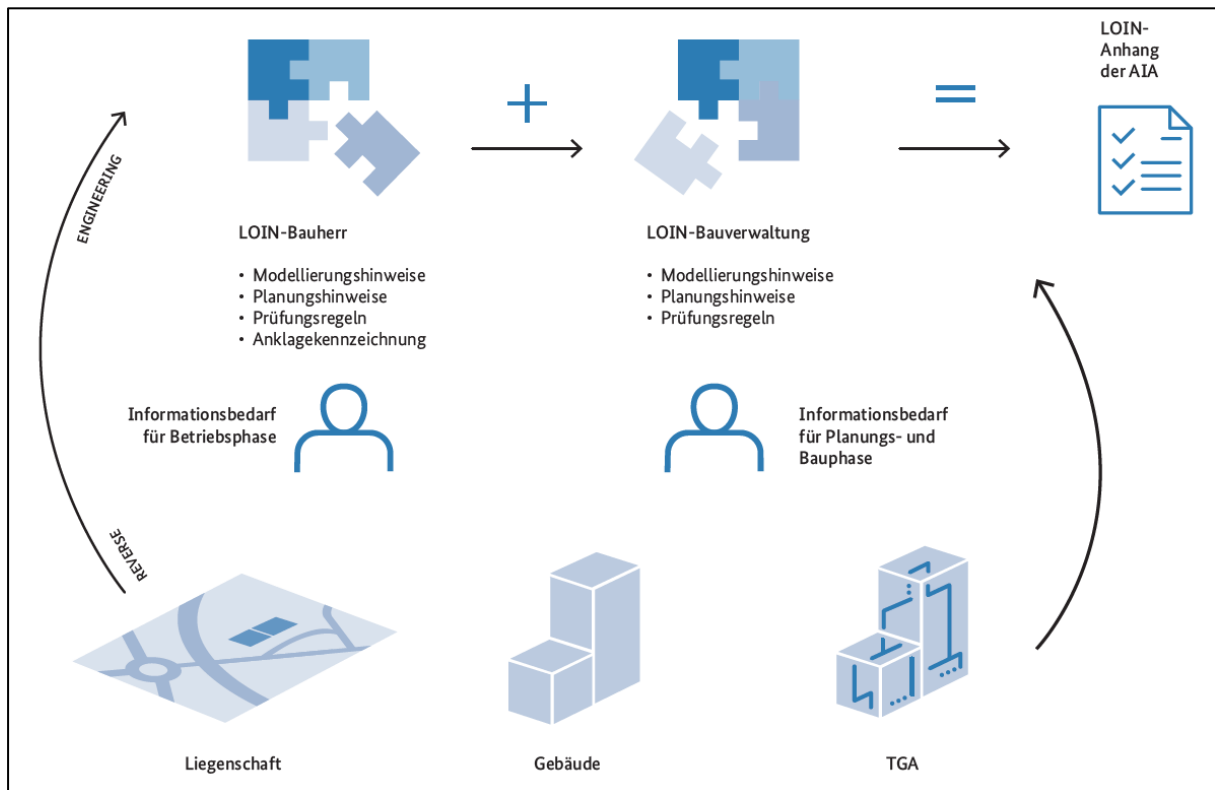


Abbildung 36: Einflüsse auf die LOIN-Erstellung durch Bauherren, Maßnahmenträgern und Bauverwaltungen (Quelle: https://www.fib-bund.de/Inhalt/Themen/BIM_fuer_Bundesbauten/BIM_AH_LOIN-Konzept.pdf)

¹⁰ Uniclass, National Building Specification (NBS)

¹¹ <https://minnd.fr/> (Zuletzt geprüft am: 28.08.2023)

¹² <https://etim.de/> (Zuletzt geprüft am: 28.08.2023)

¹³ <https://www.buildingsmart.org/users/services/universaltypes/> (Zuletzt geprüft am: 28.08.2023)

¹⁴ <https://github.com/buildingSMART/bSDD/blob/master/Documentation/bSDD%20API.md> (Zuletzt geprüft am: 23.03.2023)

¹⁵ www.buildingsmart.org (Zuletzt geprüft am: 23.03.2023)

¹⁶ https://www.fib-bund.de/Inhalt/Themen/BIM_fuer_Bundesbauten (Zuletzt geprüft am: 28.08.2023)

5.1. Zusammenfassung

Aktuell beschäftigen sich sehr viele Initiativen (BIM Deutschland, buildingSMART, BIM für Bundesbauten) mit der Strukturierung und Erstellung von Informationsanforderungen für verschiedene Leistungsphasen. Alle Initiativen bauen auf den gleichen Standards und Richtlinien auf. Hierzu gehören insbesondere die DIN EN ISO 29481-1:2018-01, DIN EN ISO 23386:2020-11, DIN EN 17412-1:2020 und Spezifikationen von buildingSMART International (mvdXML, IDS). Im Rahmen des Projektes wurde daher auch diese Strukturierungen und Vorgaben gewählt, um eine direkte Nutzung der Ergebnisse im Rahmen der genannten Initiativen zu ermöglichen. Dadurch können die Teilergebnisse automatisch ins BIM-Portal des Bundes überführt werden.

Aktuell liegen jedoch kaum Informationen vor, die zur Prüfung der Ausführungsplanung anhand von digitalen Bauwerksmodellen genutzt werden können. Die wenigen vorhandenen Informationen aus den genannten Initiativen wurden berücksichtigt und integriert. Somit ergänzen die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes die vorhandenen Initiativen zielgerichtet.

6. Empfehlungen zur Vorgehensweise

Eine *digitale Norm* soll alle relevanten Informationen für eine Normungs- und Standardisierungsaufgabe umfassen und stellt diese in einer für die Anwendung passenden Weise und Umfang bereit. Sie kann sowohl von Menschen als auch von Maschinen initiiert, erstellt, aufbereitet, umgesetzt und angepasst werden. Hierzu wurde ein Whitepaper entwickelt, welches ein gemeinsames Verständnis beschreibt und Szenarien zur Umsetzung einer digitalen Norm erläutert. In den Szenarien werden die unterschiedlichen Stände hinsichtlich des Reifegrades, der Lesbarkeit, Umsetzbarkeit, Interpretierbarkeit von Normen und deren möglichen Erstellung durch Maschinen, geschildert. Entsprechend beschreiben sie die damit verbundenen unterschiedlichen Autonomieeigenschaften bei der Erstellung und Nutzung von Normen und Standards. Es wurden folgende Level definiert:

Level 0

Papierformat. Nicht geeignet für eine direkte maschinelle Verarbeitung oder Verwendung.

Level 1

Digitales Dokument. Das Dokument kann maschinell verwaltet und angezeigt werden (WORD, PDF).

Level 2

Maschinenlesbares Dokument. Die Struktur des Dokuments kann maschinell erfasst und bestimmte granulare Inhalte können ausgelesen werden (Kapitel, Grafiken, Begriffe usw.). Eine Trennung von Inhalt und Darstellung ist erfolgt.

Level 3

Maschinenlesbare Inhalte. Alle wesentlichen granularen Informationseinheiten können eindeutig identifiziert, die Beziehungen untereinander erfasst und zur Weiterverarbeitung oder Teilausführung bereitgestellt werden.

Level 4

Maschineninterpretierbare Inhalte. Die Informationen einer Norm sind mit Ausführungs- und Anwendungsinformationen verknüpft, sodass diese von Maschinen direkt ausgeführt oder interpretiert und mit anderen Informationsquellen kombiniert werden, sodass komplexe Handlungen und Entscheidungsprozesse automatisiert durchgeführt werden können.

Level 5

Maschinensteuerbare Inhalte. Die Inhalte einer Norm können durch Maschinen selbstständig angepasst und durch automatisierte (verteilte) Entscheidungsprozesse verabschiedet werden. Die so verabschiedeten Inhalte werden automatisiert geprüft und über die Veröffentlichungskanäle der Normungsorganisationen veröffentlicht.

Für die Umsetzung von Regeln für die automatisierte Prüfung von Bauwerksinformationsmodellen mit Fokus Ausführungsplanung wären *digitale Normen* mindestens im Level 3 notwendig. Optimal wäre natürlich eine Umsetzung auf Basis von Level 4. In Abbildung 37 sind die Prozesse und wesentlichen Fragestellungen zum Level 3 dargestellt.

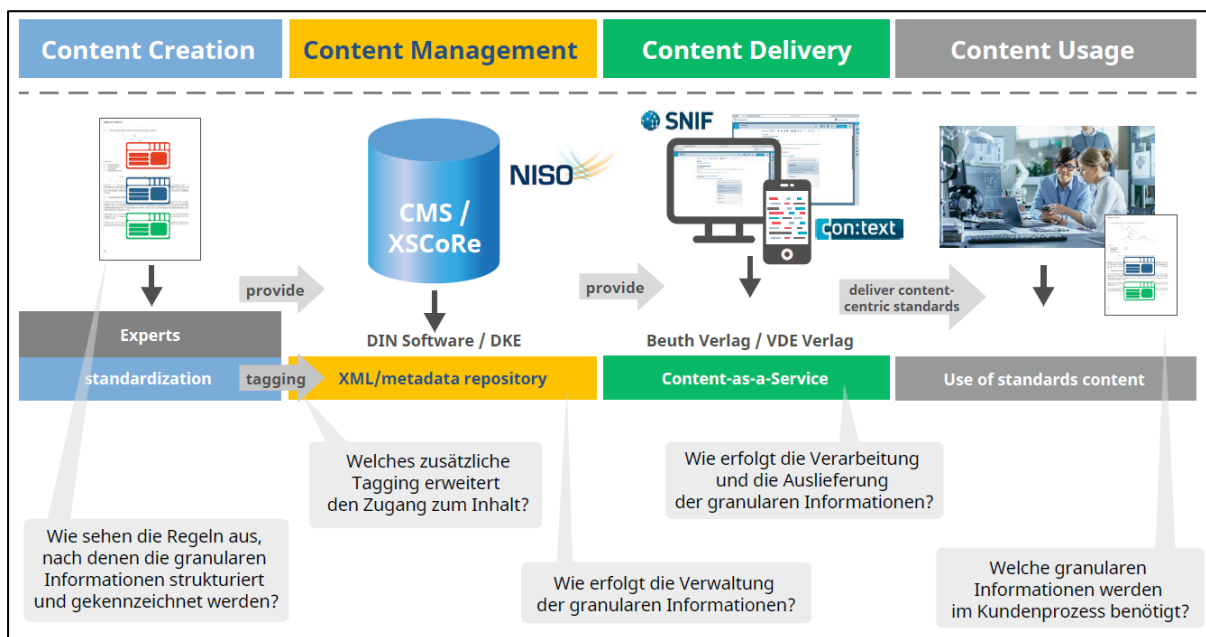


Abbildung 37: Level 3 Prozess und wesentliche Fragestellungen (Quelle: DIN e.V.)

Die Entwicklung von *digitalen Normen* auf Basis von Level 3 wird laut DIN e.V. bis Ende 2023 angestrebt. Die Weiterentwicklung in Richtung Level 4 soll dann schrittweise bis 2030 erfolgen. Die Arbeiten zu *digitalen Normen* werden kontinuierlich gesichtet. Zur Umsetzung sollen auch RDF-basierte Strukturen erzeugt und durch SPARQL abfragbar zur Verfügung gestellt werden. Die vorhandenen Konzepte der Auftragnehmer basieren auch auf RDF-Ansätzen und sollten somit kompatibel sein.

6.1. Vorgehensweise zur teilautomatisierten Generierung von Prüfregelelementen

Die im Projekt „Zusammenstellung von digital prüfbar Anforderungen aus rechtlichen und technischen Vorgaben für die Ausführungsplanung“ entwickelten und erprobten Prozesse und Arbeitsweisen bieten Normungsgremien und Herausgebern von regulatorischen Dokumenten bei richtiger Anwendung die Möglichkeit, ihre Regelwerke in digitale Standards des Levels 4 zu konvertieren. Als Basis für die Regelerstellung dienen offene Formate zur Formulierung von formalen und fachlichen Regeln, welche in unterschiedlicher Komplexität und Umfang durch den Prozess des Projekts teilautomatisiert erstellt werden können. Gerade formale Vorgaben eignen sich für die Generierung von Regeln, da diese in der Regel eine klare und systematische Struktur für die Regelformulierung besitzen und als Konformitätsprüfung zur Norm und Richtlinie eine sinnvolle Ergänzung bieten. Das wird durch die Tatsache bestärkt, dass fachliche Regeln auf formalen Regeln aufbauen und deutlich komplexer in ihrer Formulierung ausfallen können. So werden bei der fachlichen Prüfung Entscheidungen von Nutzenden verlangt, wie die Auswahl und Anwendung spezifischer Funktionen zur Lösung von Teilproblemen. Aktuell wird angenommen, dass gerade deshalb Schulungen von Personal eine zentrale Rolle im Prozess der regelbasierten Prüfung einnehmen werden.

Im Folgenden wird eine detaillierte Handlungsempfehlung beschrieben, mit der regulatorische Dokumente, die in Level 1 bzw. Level 2 vorliegen, teilautomatisiert in Prüfregelelemente umgewandelt werden können. Im ersten Schritt wird beschrieben, wie Eingabedokumente in Level 1 oder 2 aufbereitet werden müssen, um den Autonomieeigenschaften von Level 4 in Bezug auf die Erstellung und Nutzung zu genügen. Eine solche Aufbereitung ist notwendig, um im weiteren Verlauf effizient Prüfregelelemente teilautomatisiert erzeugen zu können. Im Anschluss an die Handlungsempfehlung zur teilautomatisierten Erstellung von Prüfregelelementen wird eine Handlungsempfehlung für ein Versionierungskonzept vorgestellt, das beschreibt, wie in Zukunft die Versionierung eines digitalen Standards abläuft und wie die durchgeführten Änderungen in die Prüfregelelemente übertragen werden.

6.1.1. Erstellung einer Datengrundlage

Das Ziel des ersten Teilprozesses bei der teilautomatisierten Erstellung von Prüfregelelementen ist die Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen aus einem regulatorischen Dokument im Level 1 und die Schaffung einer Datenbasis, aus der im zweiten Teilprozess dann Prüfregelelemente für die formelle und fachliche Prüfung für die Kontrolle von Informationsanforderungen generiert werden. Eine schematische Darstellung des Prozesses ist in Abbildung 38 dargestellt. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass zur Bearbeitung ein Normdokument im Level 1, also ein Dokument im PDF-Format, verwendet wird. Die beschriebenen Prozesse lassen sich aber auch analog auf ein Dokument im Level 2 anwenden.

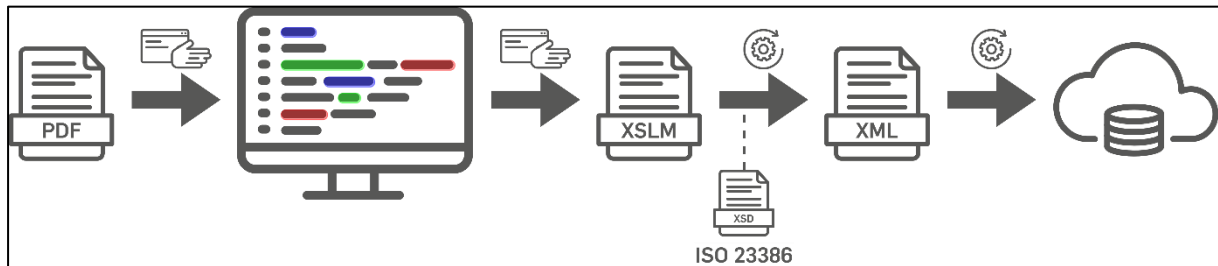


Abbildung 38: Schematische Darstellung des Teilprozesses zur Schaffung einer Datenbasis aus Merkmalen und Merkmalsgruppen

Im ersten Schritt wird damit begonnen innerhalb des Dokuments alle relevanten Informationen zu markieren die benötigt werden, um das Excel-Tool für die Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen befüllen zu können. Hierbei ist die Empfehlung den Fokus auf die Markierung von Objekttypen bzw. Klassen (Merkmalsgruppen), Eigenschaften (Merkmale), Eigenschaftswerte (Merkmalsausprägungen), Beziehungen (Grün) zu legen. Eine detaillierte Beschreibung, wie eine solche Farbmarkierung in einem Dokument durchzuführen ist findet sich in Kapitel 2.4 dieses Berichts. Nach der farblichen Kennzeichnung der markierten Informationen lassen sich diese im Anschluss in das Excel-Tool zur Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen übertragen. Bei der initialen Erfassung ist es empfehlenswert für jedes untersuchte Dokument ein einzelnes Excel-Dokument für die Erfassung anzulegen. In späteren Harmonisierungen können die Merkmale und Merkmalsgruppen aus verschiedenen Standards zusammengefasst werden, wenn dies fachlich sinnvoll ist.

Name (PA016)	Beschreibung (PA018)
<i>verpflichtend bitte angeben</i>	<i>optional</i>

Abbildung 39: Verpflichtende und optionale Attribute im Excel-Tool

Beim Ausfüllen des Excel-Tools ist darauf zu achten, dass bei jedem erfassten Informationselement alle verpflichtenden Attribute angegeben sind (siehe Abbildung 39 links), dass alle Hinweise zum Ausfüllen befolgt werden, dass jedes Merkmal mindestens einer Merkmalsgruppe zugeordnet ist und dass eine Merkmalsgruppe nur eine Elterngruppe besitzen darf. Für die spätere Nutzung der Merkmale in der formalen und fachlichen Prüfung sind besonders die Attribute *Datentyp* (PA030), *physikalische Größe* (PA027), *Dimension* (PA028), *Einheit* (PA033), *Wertebereich* (PA040) und *Liste möglicher Werte in Sprache N* (PA039) relevant. Die drei zuletzt genannten Attribute sind laut Norm optionale Attribute sollten aber zwingend ausgefüllt werden, wenn der Eigenschaftswert des Merkmals diese erfordert. Das Attribut *Wertebereich* (PA040) ist ausschließlich für Merkmale erforderlich, die mit einem numerischen Eigenschaftswert belegt werden können. Hierbei spielt es keine Rolle, ob es sich um ganzzahlige oder reelle Werte handelt. Mit der *Liste möglicher Werte in Sprache N* können Merkmale beschrieben werden, deren Eigenschaftswert eine Enumeration darstellt. Die DIN EN ISO 23386:2020-11 sieht

zusätzlich noch die Attribute *Name der definierenden Werte (PA034)* und *Definierende Werte (PA035)* vor, die dazu genutzt werden können, um Eigenschaftswerte auszuformulieren, die ein zweidimensionales Feld (Array) beschreiben. Die Erfassung solcher Felder ist über das Excel-Tool zur Erfassung von Merkmalen und Merkmalsgruppen nicht möglich, diese müssen nachträglich händisch in die XML-Datei eingearbeitet werden. Detailliertere Beispiele für die Verwendung dieser beiden Attribute finden sich in der Norm DIN EN ISO 23386:2020-11 und den in diesem Projekt entwickelten Beispielen für die Generierung von Prüfregeln. In Tabelle 13 sind alle weiteren Attribute aufgeführt, die mit der aktuellen Version des Excel-Tools nicht erfasst werden können. Abschließend ist festzuhalten, dass je gewissenhafter und detaillierter Excel-Tool mit Anforderungen befüllt wird, desto qualitativer werden die Prüfregeln, die aus ihnen generiert werden können.

Attribut	Erläuterungen
Ersetzung (GA/PA011-013)	Modellierung von Ersetzungen bei Versionierungsprozessen. (Bei initialer Befüllung nicht relevant)
Symbolzuordnung (PA022)	Symbol eines Merkmals in einer gegebenen Merkmalsgruppe
Digitales Format (PA037)	Paar für den digitalen Texttyp (Präzision, Maßeinheit) Präzision ist die Anzahl signifikanter Stellen
Textformat (PA038)	Paar für den Texttyp (Verschlüsselung, Anzahl der Zeichen)
Sprachen	Alle sprachabhängigen Attribute können nur in deutscher Sprache angegeben werden

Tabelle 13: Limitationen des Excel-Tools zur Erfassung von Merkmalen

Nach Abschluss der Attributerfassung erfolgt die Abbildung der Beziehungen zwischen den Merkmalen und Merkmalsgruppen. Bevor dies durchgeführt werden kann muss die auf der Startseite des Excel-Tools befindliche Schaltfläche *Alles aktualisieren*. Im Anschluss daran generiert das Excel-Tools global eindeutige IDs (GUID) für alle erfassten Informationselemente. Die Generierung der GUID kann alternativ auch über die *GUID generieren* Schaltflächen in der Arbeitsmappen Merkmalsgruppen/Merkmal angestoßen werden. Eine Erläuterung über die möglichen Beziehungen zwischen einzelnen Informationselementen und die vorhandenen Restriktionen sowie eine fachliche Einführung wie Merkmale und Merkmalsgruppen zu strukturieren sind, findet sich in Kapitel 2 dieses Berichts.

Im Anschluss an die Abbildung der Beziehung kann der Export in das DIN EN ISO 23386:2020-11 konforme XML-Format erfolgen. Abbildung 40 zeigt einen Auszug der Startseite des Excel-Tools. Eine erneute Betätigung der Schaltfläche *Alles aktualisieren* (Drop down im Status *nein*) garantiert, dass wirklich alle Elemente eine GUID besitzen. Die Schaltfläche *Exportieren* stößt den in Visual-Basic entwickelten XML-Exporter an. Nach Abschluss des Exports wird in im Feld Status angezeigt, wo und unter welchem Namen die erstellte XML-Datei abgelegt. Standardmäßig befindet sich die XML-Datei im *Dokumentordner* der Nutzenden unter dem Verzeichnis *XML-Export_ISO-23386*.

XML-Exporttool ISO 23386-2020		
Nach der Eingabe in den Tabellenblättern Kataloge, Merkmale und Merkmalsgruppen folgendes ausführen:		
1.	nein	Alle Guids der Merkmale und Merkmalsgruppen neu setzen
2.	Alles aktualisieren	IDs und Daten aktualisieren vor dem Export
3.	Exportieren	Exportieren in Datenbankabfrage

Abbildung 40 Bedienelemente für den XML-Export des Excel-Tools

Die erzeugte XML-Datei genügt dem XSD-Schema der DIN EN ISO 23386:2020-11 und kann ohne weiteres neben den Systemen des Lehrstuhls für Informatik im Bauwesen auch für einen Import in das BIM-Portal des Bundes genutzt werden. Hierzu muss die XML-Datei an das jeweilige Autorensystem übergeben werden. Beide Systeme führen vor dem Import eine syntaktische und semantische Prüfung der übergebenen Daten durch, um zu gewährleisten, dass nur valide Daten, die den Vorgaben des Standards genügen in das System eingespielt werden. Fehler können durch falsche Eingaben im Excel-Tool oder bei inkorrektur Nachbearbeitung der XML-Datei entstehen.

Der erfolgreiche Import in eines der beiden Autorensysteme beendet den ersten Teilprozess und stellt sicher, dass die Merkmale als Datenbasis für die Erstellung für LOIN dienen können, aus denen im folgenden Prozessschritt Prüfregeln erstellt werden können.

6.1.2. Ableitung von Prüfregeln

Die im vorherigen Prozessschritt erstellte Datenbasis kann nun dazu genutzt werden, um Prüfregeln für die formale und fachliche Prüfung von Anforderungen zu definieren. Aus der Datenbasis wird im ersten Schritt die Informationsbedarfstiefe definiert und als LOIN formalisiert. Eine Beschreibung des Datenmodells für LOIN findet sich in Kapitel 2. Die genauen Definitionen für die formale und fachliche Prüfung sind Kapitel 3.1 dieses Berichts zu entnehmen. Aus der Informationsbedarfstiefe lassen sich mit Softwarelösung, wie DESITE BIM md Prüfregeln für eine formale Prüfung definieren und direkt an einem Gebäudemodell prüfen. Diese Vorgaben sind jedoch in den meisten Softwarelösungen nur durch aufwendige Programmierung oder an proprietäre Formate gebunden. Im Rahmen des Projekts wurde abseits von einigen Tests eine Umsetzung und sogar teilautomatisierte Generierung von Prüfregeln durch offene Formate umgesetzt. Dazu konnten formalen Vorgaben der extrahierten Merkmale und Merkmalsgruppen in Standards wie den Model View Definitions (MVD) und dem zukünftigen Information Delivery Spezifikation (IDS) überführt werden. Für die Umsetzung fachlicher Prüfregeln wird an der Ruhr-Universität Bochum das offene Format OpenBIMRL umgesetzt und gepflegt.

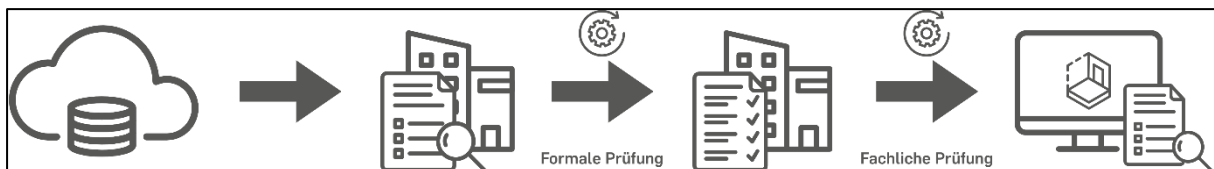


Abbildung 41: Schematische Darstellung des Teilprozesses zur Ableitung von Prüfregeln für die formale und fachliche Prüfung

Die ersten Ergebnisse zeigen einen vielversprechenden Trend zur teil-automatisierten Ableitung von maschinenlesbaren Prüfregeln aus Richtlinien und Normen. Eine Prüfung der Anforderungen der Lol nach der LOIN-Definition wird bereits in Teilen praktiziert, wenn auch nur unter der Voraussetzung die Vorgaben an den Eigenschaften einer BIM-basierten Modells zu adressieren. Dieser Vorgang wird durch die formale Prüfung abgedeckt.

Im Gegensatz zu der Prüfung der formalen Vorgaben, sind für die Ableitung komplexer fachlicher Anforderungen in der Regel deutlich mehr, aus mehreren Quellen stammende und vor allem zusammenhängende, zu verarbeitende Informationen notwendig. Für eine fachliche Prüfung sind je nach Anwendungsfall verschiedene komplexe Vorabberechnungen möglich. Die Vorgaben, die innerhalb der fachlichen Prüfung kontrolliert werden müssen, benötigen neben den Eigenschaftswerten von Merkmalen oft auch geometrische Informationen aus dem Modell selbst. Ein wesentlicher Bestandteil der fachlichen Prüfung besteht darin, geometrische Informationen (LoG) systematisch in einem BIM-basierten Modell zu verarbeiten. Gerade diese Tatsache stellt eine gravierende Herausforderung dar, selbst für die teil-automatische Ableitung einer fachlichen Prüfregel. Fachliche Prüfregeln mit Anforderungen und starken Abhängigkeiten zwischen Geometrien erfordern es aktuell diese Zusammenhänge durch menschliches Verständnis zu interpretieren. Es müssen zum Beispiel Abstände zwischen Bewehrungen und Betonschichten berechnet werden, um zu kontrollieren, ob eine angegebene Mindestbetondecken wirklich erfüllt

ist. Die einhergehenden Vorabberechnungen kann mit entsprechenden Programmieraufwand und unter Berücksichtigung einschränkender Limitierungen mit Softwaretools wie DESITE BIM md realisiert werden. Einen flexibleren Ansatz präsentiert hier das OpenBIMRL-Format, welches einen Workflow und Graph-basierten Ansatz zur Definition von Prüfabläufen erlaubt, welche auch Funktionen zur Verarbeitung von Geometrien mit einschließt. Damit die Anforderungen jedoch systematisch aus Normschriften extrahiert werden können, muss beispielsweise genauer spezifiziert sein in welcher Genauigkeit, Repräsentationstiefe und operativer Abhängigkeit die Geometrie von Bauteilen zueinanderstehen. Gerade für die LoG-spezifischen Informationen ist es also erforderlich digitale Normen (Smart Standards) und Konzepte zur Aufbereitung der Vorgaben mitberücksichtigen und eine technische Umsetzung in der Normschrift verankern.

6.1.3. Vorbereitung Aktualisierungskonzept

Die Erfüllung von Anforderungen aus Normen und Standards geht mit der kontinuierlichen Erweiterung und Versionierung dieser einher. Grenzwerte werden verändert, Standards werden an neue Gegebenheiten, Verfahren und Anforderungen angepasst. Um diese Überarbeitungen der Standards ebenfalls digital durchführen zu können und um den manuellen Arbeitsaufwand beim Einarbeiten dieser Änderungen in die Merkmalsdatenbasis und somit in die Prüfregeln möglichst gering zu halten, wird im Folgenden ein Konzept vorgestellt mit dem Standards effektiver überarbeitet werden können. Eine schematische Darstellung dieses Prozesses ist in Abbildung 42.

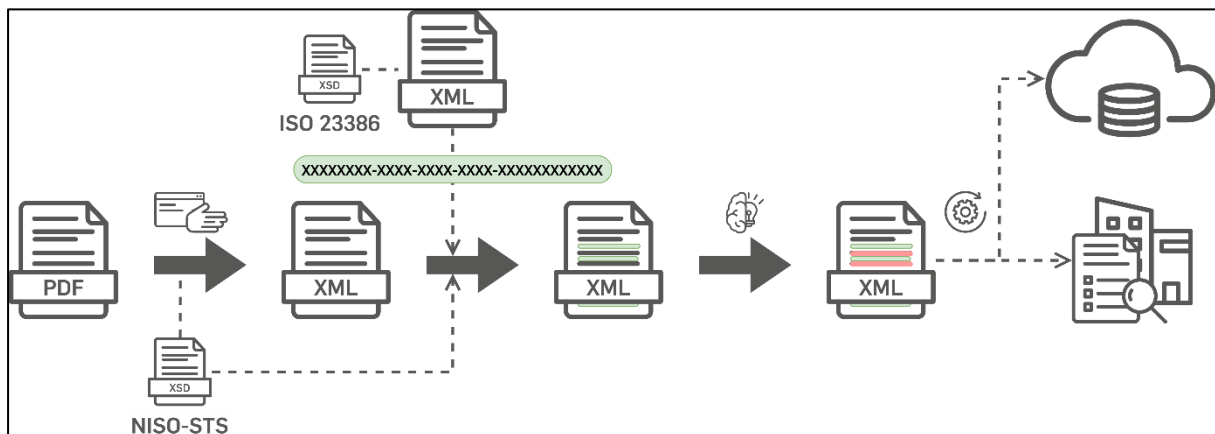


Abbildung 42: Schematische Darstellung für die Vorbereitung eines teilautomatisierten Versionierungskonzeptes für Normen und Standards

Auch für das Versionierungskonzept wird davon ausgegangen, dass der gewünschte Standard im Level 1, also im PDF-Format, vorliegt. Im ersten Schritt erfolgt die Abbildung des Standards im NISO Standard Tag Suite (NISO-STS). Der Standard-Tag-Suite ist ein XML-basierter Standard für die Strukturierung von Inhalten in Standards, Normen, und Regelwerken. Der Standard wurde von der National Information Standards Organization (NISO) entwickelt und definiert eine Reihe von Tags, die zur Beschreibung von Textelementen und -formatierungen verwendet werden können, einschließlich Überschriften, Absätzen, Listen, mathematischen Formeln und Tabellen. Der NISO STS¹⁷ wurde entwickelt, um eine einheitliche Strukturierung von Texten zu ermöglichen und die Interoperabilität zwischen verschiedenen Plattformen und Softwaresystem zu erleichtern. Der Standard ist auch darauf ausgelegt, die automatische Indexierung und Durchsuchbarkeit von Texten zu verbessern, was ihn besonders nützlich für digitale Verarbeitung macht. Der Tag-Suite ist so konzipiert, dass er erweitert und eingeschränkt werden kann, um eine Anpassung an den jeweiligen Anwendungszweck zu ermöglichen. Diese einfache Erweiterbarkeit und die gute maschinenverarbeitbare Struktur sorgen dafür, dass der NISO-STS in vielen Standardisierungsorganisationen, wie dem Deutschen Institut für Normung e.V. Verwendung findet.

¹⁷ <https://www.niso-sts.org/> (Zuletzt geprüft am: 28.08.2023)

Innerhalb dieser Handlungsempfehlung wird der NISO-STS genutzt, um eine kontinuierliche Nachverfolgung der Herkunft einer Anforderung zu ermöglichen. So soll exakt nachvollziehbar bleiben aus welcher Stelle einer Norm oder eines Standards eine Anforderung stammt, die innerhalb eine Prüfregel kontrolliert wird. Um dies realisieren zu können muss das betrachtete Dokument im Level 1 zunächst einmalig in den Standard-Tag-Suite konvertiert werden. Für diesen Prozess gibt es aktuell keine algorithmische Lösung, so muss dieser aktuell manuell unter zu Hilfenahme der NISO-STS Dokumentation erfolgen. Die manuelle Umwandlung stellt jedoch keine Herausforderung dar, da die Dokumentation des Standards sehr ausführlich und mit vielen Anwendungsbeispielen gefüllt ist, was eine einfache Einarbeitung unterstützt.

Bei der Erstellung der Datengrundlage für das betrachtete Dokument wurden die relevanten Merkmale und Merkmalsgruppen erfasst (vgl. Kapitel 6.1.1). Um sicherzustellen, dass diese eindeutig identifizierbar sind, erhielten diese eine sogenannte GUID (Globally Unique Identifier). Diese GUID werden innerhalb des folgenden Schritts an alle zugehörigen Begriffe (der Merkmale und Merkmalsgruppen) innerhalb der Norm geknüpft, um eine eindeutige Nachverfolgung sicherzustellen. Neben der GUID erhält jeder Begriff auch eine Definition sowie einige weitere Metadaten. Auf diese Weise kann eine klare und präzise Beschreibung des jeweiligen Begriffs gewährleistet werden, was wiederum dazu beiträgt, eine einheitliche Verwendung innerhalb der Regelprüfung zu erleichtern. Konkret wird zu Beginn eines jeden Kapitels der Norm eine sogenannte Termsektion (XML-Tag `<term-sec>`) eingefügt in der alle Begriffe definiert werden, die während der Erstellung der Datengrundlage als Merkmale und Merkmalsgruppen erfasst wurden. Ein Beispiel für eine solche Termsektion ist in Abbildung 43 gezeigt. Dargestellt ist ein Ausschnitt aus der Termsektion des Kapitels „6.3.1.1 Nutzungskategorien“ aus der DIN 1991-1-1. Der aufgeführte Termineintrag (XML-Tag `<tbx:termEntry>`) enthält die Informationen über die Merkmalsgruppe „Nutzungskategorien“. Neben der GUID der Merkmalsgruppe (XML-Tag `<tbx:xSource>`), die während der Erstellung der Datengrundlage dem Element zugewiesen wurde, enthält der Eintrag eine Definition, den Namen und zusätzlich ein Synonym für den Namen der Merkmalsgruppe. Beim Namen eines Informationselements kann zwischen dem bevorzugten Term (*preferredTerm*) und einem Synonym bzw. akzeptiertem Term (*admittedTerm*) unterschieden werden.

```
<sec id="sub-6.3.1.1" sec-type="clause">
  <label>6.3.1.1</label>
  <title>Nutzungskategorien</title>
  <term-sec id="_ElvgGfc_L0GqMyeBLq_dJA">
    <tbx:termEntry id="_UjHUUwvtv0ijSfi_4gs87Q">
      <tbx:xSource xtarget="E0A76195-AE53-4A1C-AA6D-090C06EC131D">E0A76195-AE53-4A1C-AA6D-090C06EC131D</tbx:xSource>
      <tbx:langSet xml:lang="de">
        <tbx:definition>
          Nutzungsflächen in Wohnungen, Versammlungsräumen, Geschäfts- und Verwaltungsräumen sind
          entsprechend ihrer Nutzung in Nutzungskategorien nach <xref ref-type="table" rid="tab-6.1">
            Tabelle 6.1</xref> einzuteilen.</p> Unabhängig von der Nutzungskategorie der Flächen sind dynamische
            Effekte zusätzlich zu berücksichtigen, wenn die Art der Nutzung besondere dynamische Effekte erwarten
            lässt(siehe <xref ref-type="other" rid="par-2.2-3">2.2 Absatz 3</xref> und
            <xref ref-type="other" rid="par-2.2-4">2.2 Absatz 4</xref>).</p>
        </tbx:definition>
        <tbx:tig>
          <tbx:term>Nutzungskategorie</tbx:term>
          <tbx:partOfSpeech value="noun"/>
          <tbx:normativeAuthorization value="preferredTerm"/>
          <tbx:termType value="fullForm"/>
        </tbx:tig>
        <tbx:tig>
          <tbx:term>Kategorie</tbx:term>
          <tbx:normativeAuthorization value="admittedTerm"/>
          <tbx:partOfSpeech value="noun"/>
          <tbx:termType value="fullForm"/>
        </tbx:tig>
      </tbx:langSet>
    </tbx:termEntry>
    <!--Hier folgen die weiteren Termdefinitionen des Kapitel.-->
  </term-sec>
  <!--Im Anschluss an die Terminsektion erfolgt der restliche Inhalt des Normkapitels im NISO-STS-Format.-->
</sec>
```

Abbildung 43: Beispiel für eine Termsektion (XML-Tag `<term-sec>`)

Das Einpflegen der GUID und die detaillierte Dokumentation der Begriffe sind wesentliche Bestandteile der neuen Erstellungs- und Pflegeprozesse einer Norm und tragen dazu bei, eine klare und einheitliche Struktur von Normen und Standards in verschiedenen Anwendungsbereichen sicherzustellen.

Durch die neue Serialisierung und Strukturierung des Dokuments kann der Überarbeitungsprozess innerhalb einer Versionierung effektiver gestaltet werden. Änderungen an Textstellen und Definitionen können direkt innerhalb des Standards mit den entsprechenden Merkmalen und Merkmalsgruppen in Verbindung gebracht werden. Dies ermöglicht es, nach Abschluss der Überarbeitung nur die Information darüber an das Merkmalsmanagementsystem weiterzugeben, welche Merkmale und Merkmalsgruppen sich verändert haben. Die Änderungen lassen sich teilautomatisiert oder sogar direkt aus dem im XML-Format strukturierten Dokument auslesen, in die Merkmalsdatenbank einlesen und in den betroffenen Prüfregeln anpassen. In Kapitel 6.2.2 wird ausführlich erklärt, wie die Versionierung eines Dokuments im Detail abläuft und wie die zugehörigen Informationselemente gepflegt werden können.

6.2. Vorgehensweise zur vollautomatisierten Generierung von Prüfregeln

Im Kapitel 6.1 wurde beschrieben, wie eine Handlungsempfehlung zur Schaffung einer Datengrundlage und zur Ableitung von Prüfregeln aussehen kann. Diese Empfehlung wurde während des Projektzeitraums angewandt, jedoch beinhaltet sie komplexe manuelle Prozessschritte, die sehr arbeitsintensiv und damit zeit- und kostenaufwändig sind. Außerdem sind sie bei mangelnder Erfahrung und Expertise fehleranfällig. Deshalb wird im Folgenden eine Handlungsempfehlung vorgestellt, die regulatorische Dokumente vollautomatisiert in Prüfregeln umwandelt. Diese Empfehlung ist für Dokumente in Level 1 oder Level 2 geeignet und folgt einem ähnlichen Ablauf wie die zuvor beschriebene Handlungsempfehlung.

Wie in der zuvor beschriebenen Handreichung (vgl. Kapitel 6.1) wird zunächst auf die Erstellung einer Datengrundlage eingegangen und im Anschluss beschrieben, wie die Datengrundlage für die automatisierte Erzeugung von Prüfregeln genutzt werden kann.

6.2.1. Erstellung einer Datengrundlage

Das Ziel des ersten Teilprozesses bei der automatisierten Erstellung von Prüfregeln ist, genau wie beim teilautomatisierten Ansatz, die Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen aus einem regulatorischen Dokument und dadurch die Schaffung einer Datenbasis, aus der im Anschluss Prüfregeln generiert werden können. Eine schematische Darstellung des Prozesses zur automatisierten Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen aus regulatorischen Dokumenten ist in Abbildung 44 dargestellt. Bei der Herangehensweise im ersten Schritt der Extraktion muss zwischen Dokumenten im Level 1 (vgl. Abbildung 44 PDF-Icon) und Dokumenten im Level 2 (vgl. Abbildung 44 STS-XML-Icon) unterschieden werden.

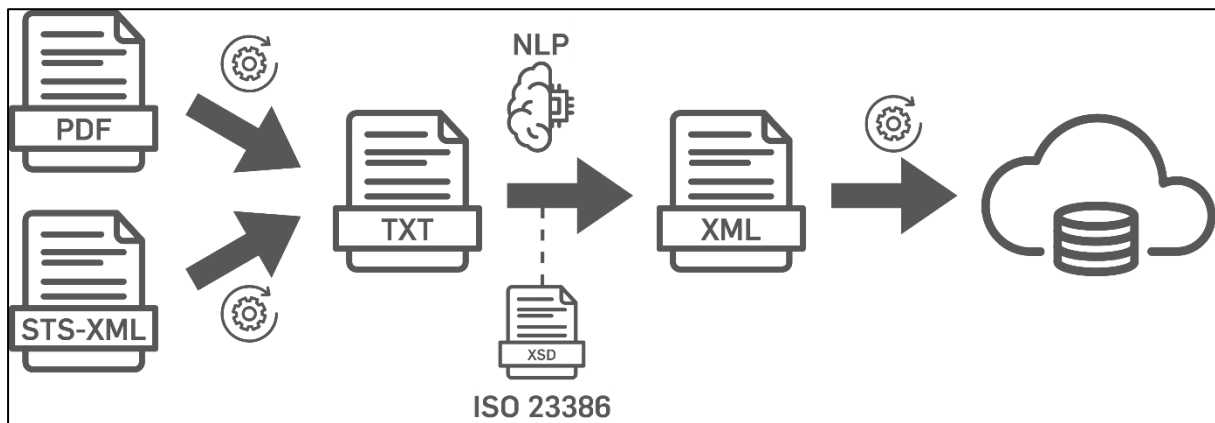


Abbildung 44: Schematische Darstellung des Teilprozesses zur automatischen Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen

Die Extraktion soll im automatisierten Ansatz unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz erfolgen. Konkret werden Verfahren des Natural Language Processings (NLP) Verwendung finden. Auf das Thema NLP wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels im Detail eingegangen. Um NLP-Verfahren nutzen zu können müssen zunächst die in den regulatorischen Dokumenten enthaltenen Texte extrahiert und als editierbare Texte bereitgestellt werden.

Im Falle von PDF-Dokumenten ist zwischen zwei möglichen Ausgangssituationen zu unterscheiden. Ist die Instanz, die die Datengrundlage aus Merkmalen und Merkmalsgruppen schaffen möchte, Herausgeber wird das regulatorische Dokument bereits in einer editierbaren Form vorliegen, zum Beispiel in Form einer docx-Datei o.ä. In diesem Fall können die textuellen Informationen des regulatorischen Dokuments programmatisch eingelesen werden, da gängige Programmiersprachen Bibliotheken für das Einlesen und Verarbeiten von textbasierten Dateien bieten.

Liegt der Instanz, die die Extraktion von Merkmalen und Merkmalsgruppen durchführen möchte, keine editierbare textbasierte Form des regulatorischen Dokuments vor, müssen die textuellen Informationen direkt aus der PDF-Datei extrahiert werden. Die Verarbeitung der PDF-Dateien kann entweder auch programmatisch durch Bibliotheken wie PyPDF¹⁸ erfolgen oder durch die Nutzung von Drittanbietertools wie Pandoc¹⁹ realisiert werden. Je nach Eigenschaft der vorliegenden PDF-Datei kann eine solche Verarbeitung jedoch fehlerbehaftet oder sogar nicht umsetzbar sein. Dies hängt von der Strukturierung der PDF-Datei und eventuell verwendet Sicherungsmechaniken, wie einem Kopierschutz oder ähnlichem ab. Von einer detaillierteren Betrachtung möglicher Fehlerquellen bei der Verarbeitung von PDF-Dokumenten wird, auf Grund der Komplexität dieses Themas, im Rahmen dieser Handlungsempfehlung abgesehen. Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass die Inhalte des untersuchten regulatorischen Dokuments in einer editierbaren textuellen Form vorliegen.

Im nächsten Schritt müssen die in den editierbaren textuellen Informationen für Merkmale und Merkmalsgruppen relevanten Informationen extrahiert werden. Hierfür bieten sich KI-gestützte Verfahren aus dem Bereich des Natural Language Processing an. Unter dem Begriff Natural Language Processing werden Methoden, Verfahren und Algorithmen zusammengefasst die computerlinguistischen Algorithmen mit KI-Verfahren kombinieren, um in natürlicher Sprache verfasste Texte zu analysieren und die enthaltenen Informationen in maschinenlesbare Sprache umzuwandeln.

¹⁸ <https://pypi.org/project/PyPDF2/> (Zuletzt geprüft am: 22.03.2023)

¹⁹ <https://pandoc.org/> (Zuletzt geprüft am: 22.03.2023)

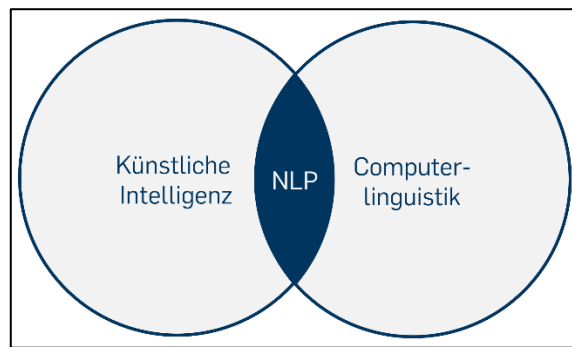


Abbildung 45: Das Natural Language Processing bildet die Schnittmenge zwischen der künstlichen Intelligenz und der Computerlinguistik

Vor der eigentlichen Extraktion, der für Merkmale und Merkmalsgruppen relevanten Informationen, müssen die zu untersuchenden Texte vorverarbeitet werden, bevor komplexe Verfahren verwendet werden können. Hierzu gehören Vorverarbeitungsschritte wie die Tokenisierung, das Part-Of-Speech Tagging oder die Lemmatisierung. Bei der Tokenisierung werden die Wörter eines Texts in einzelne Token (Wörter) aufgeteilt, damit Algorithmen den eingegebenen Text besser verarbeiten und analysieren können. Das Part-Of-Speech Tagging weist den Wörtern und Satzzeichen eine Wortart zu, um zusätzliche Informationen für die Analyse bereitzustellen. Die Lemmatisierung wandelt die Flexionsformen der Wörter in die zugehörige Grundform um. Dies ist von Vorteil, wenn Thesauri zur Bestimmung von semantischen Wortbedeutungen in der NLP-Pipeline genutzt werden. Alle Vorverarbeitungsschritte können mit vorhandenen Softwarebibliotheken wie der Stanza NLP-Bibliothek²⁰ umgesetzt werden.

Im Anschluss an die Vorverarbeitung bietet sich für den in dieser Handlungsempfehlung betrachteten Anwendungsfall die Nutzung der Named Entity Recognition (NER) an. Die NER ist eine Unterdisziplin des NLP und zielt darauf ab, Entitäten aus einem Text zu extrahieren und diesen eine Bezeichnung aus einem Satz vordefinierter Klassen zuzuweisen. Als Klassen bieten sich die vier in Kapitel 2.4 vorgestellten relevanten Aspekte für die Farbmarkierung an. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass das Training eines solchen NER ein großes Maß an Vorbereitung in Form von der Erstellung und Beschaffung von Trainingsdaten und dem Training des eigentlichen Netzwerks benötigt. Für die Umwandlung von kleineren Mengen regulatorischen Dokumenten sollte der bereits vorgestellte teilautomatisierte Ansatz in Betracht gezogen werden. Ein Beispiel für die Nutzung einer NER Pipeline in einem ähnlichen Anwendungsfall wird in (Schöfeldner and König 2021) vorgestellt.

Ein ausreichend trainiertes NER-Netzwerk kann eine automatische Generierung von Merkmalen und Merkmalsgruppen im zur DIN EN ISO 23386:2020-11 konformen Datenformat ermöglichen. Jedoch kann auch hier zusätzlich eine anschließende Evaluierung durch einen Fachexperten nötig sein. Grundsätzlich wird empfohlen die Daten mindestens stichpunktartig zu kontrollieren, um eine die Korrektheit der geschaffenen Datenbasis sicherzustellen. Die Entwicklung zusätzlicher Qualitätssicherungsalgorithmen ist denkbar, wird aber im Rahmen dieser Handlungsempfehlung nicht weiter betrachtet.

Die erzeugte XML-Datei genügt dem XSD-Schema der DIN EN ISO 23386:2020-11 und kann ohne weiteres neben den Systemen des Lehrstuhls für Informatik im Bauwesen auch für einen Import in das BIM-Portal des Bundes genutzt werden. Hierzu muss die XML-Datei an das jeweilige Autorensystem übergeben werden. Beide Systeme führen vor dem Import eine syntaktische und semantische Prüfung der übergebenen Daten durch, um zu gewährleisten, dass nur valide Daten, die den Vorgaben des Standards genügen in das System eingespielt werden. Fehler können durch falsche Eingaben im Excel-Tool oder bei inkorrekt Nachbearbeitung der XML-Datei entstehen.

²⁰ <https://stanfordnlp.github.io/stanza/> (Zuletzt geprüft am: 22.03.2023)

Der erfolgreiche Import beendet ebenfalls den ersten Teilprozess der automatisierten Merkmalsextraktion und stellt sicher, dass die Merkmale als Datenbasis für die Erstellung für LOIN dienen können, aus denen im folgenden Prozessschritt Prüfregeln erstellt werden können.

6.2.2. Ableitung von Prüfregeln

Die mit Hilfe von NLP erstellte Datenbasis kann nun dazu genutzt werden, um Prüfregeln für die formale und fachliche Prüfung von Anforderungen zu definieren. Wie bereits in den Handlungsempfehlungen für teilautomatisierte Generierung von Prüfregeln erläutert wurde, sind LoI spezifische Anforderungen unter Auflagen bereits teilautomatisiert in formale Prüfregeln überführbar. Fehlende oder nicht kompatible Informationen werden dabei in der Regel individuell und manuell angepasst. Im Rahmen einer vollautomatisierten Ableitung von Prüfregeln wird aktuell der Prozess also als noch nicht durchführbar gewertet, wenn auch die Tendenzen aufzeigen eine Vollautomatisierung im Kontext der Smart Standards und digitalen Normen zu unterstützen. Als Hauptgrund wird der Mangel am Markt verfügbarer softwaretechnische Umsetzung für die automatische Generierung von Prüfregeln aus vorgefertigten Informationsanforderungen (LOIN) gewertet. Im Folgenden wird ein Vorgehen beschrieben, wie eine solche Generierung in Zukunft umgesetzt werden könnte.

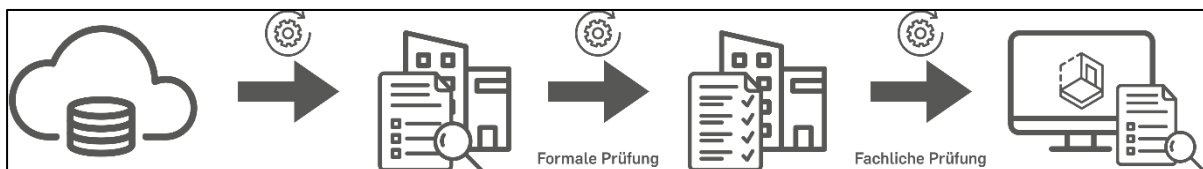


Abbildung 46: Schematische Darstellung des Teilprozesses zur automatischen Ableitung von Prüfregeln für die formale und fachliche Prüfung

Im ersten Schritt müssen für eine formelle Prüfung alle Merkmale und Merkmalsgruppen aus der Datenbasis abgefragt werden, die in allen für die Prüfung relevanten LOIN gefordert werden. Aus den resultierenden Informationselementen müssen die beschriebenen Anforderungen an das zu prüfende Objekt extrahiert und in Regeln einer gewählten Regelsprache algorithmisch umgewandelt werden. Zusätzlich ist bei der Erstellung des Modells darauf zu achten, dass die Attribuierung aller für die Prüfung relevanten Modellobjekte konform zu den vorgeschriebenen Merkmalen durchgeführt wird. Im Anschluss ist das Modell in einem Format bereitzustellen, welches die Prüfsoftware für die formelle Regelprüfung verarbeiten kann. Der eigentliche Prüfprozess kann dann mit den zu generierten Regeln analog zu dem in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Prozess durchgeführt werden.

Nach aktuellem Stand der Technik ist noch einiges an Entwicklung in Richtung der Informationsaufbereitung und Bereitstellung erforderlich, bevor die Konzepte in Automatismen vollständig überführt werden können. Beispielsweise, eine vollständige automatisierte Generierung von Prüfregeln aus dem LoG einer LOIN ist aktuell noch nicht möglich, da es hierfür noch keine geeignete Softwarelösung gibt oder gar ein Konzept zur vollumfassenden Abbildung in den Anforderungen eines LoG in den gängigen offenen Formaten zur Regelprüfung.

6.3. Aktualisierungskonzept

Normen und Standards müssen regelmäßig erweitert und aktualisiert werden, um den sich verändernden Anforderungen und Gegebenheiten gerecht zu werden. Dabei ändern sich Grenzwerte, Verfahren und Wertebereiche. Um die Überarbeitung dieser Standards effizienter zu gestalten und den manuellen Aufwand bei der Integration von Änderungen in die Merkmalsdatenbasis und Prüfregeln zu minimieren, werden im Folgenden, aufbauend auf beschriebenen Vorbereitungen (vgl. Kapitel 6.1.3), Prozesse vorgestellt, die bei der Überarbeitung relevant sind. Die Änderungen sollten in einem im Level 4 vorliegenden und im NISO-ST5 formulierten regulatorischen Dokument durchgeführt werden. Die vorgestellten Überarbeitungsprozesse orientieren sich an den Managementregeln für die Erstellung und Pflege von Merkmalen und Merkmalgruppen, wie sie in der DIN EN ISO 23386:2020-11 beschrieben sind. Im Detail werden die Änderung (Überarbeitungsanpassung), die Deaktivierung,

die Ersatzvornahme (Erstellung und Deaktivierung), die Fragmentierung (Ersatz eines Merkmals durch mehrere Merkmale) und die Zusammenführung (Ersatz mehrerer Merkmale durch ein einziges Merkmal) genauer betrachtet. Alle Überarbeitungsprozesse beziehen sich sowohl auf Merkmale als auch auf Merkmalsgruppen. Für eine bessere Lesbarkeit werden die beiden Begriffe zum Ausdruck Informationselement zusammengefasst. Sollte sich ein beschriebener Sachverhalt nur auf eines der beiden Informationselemente beziehen wird diese konkret benannt. Die durch das Aktualisierungskonzept betroffenen Prüfregeln müssen nach Abschluss jeder Aktualisierung von Informationselementen erneut generiert werden, um die durch die Versionierung entstanden Neuerungen korrekt abzubilden, um jederzeit eine Norm konforme Prüfung zu garantieren.

6.3.1. Änderung

Die Anpassung von mindestens einem Attribut erfordert die Aktualisierung des betreffenden Informationselements. Dabei darf die Semantik des Informationselements nicht verändert werden. Es obliegt der versionierenden Instanz zu entscheiden, ob eine getroffene Anpassung einer Änderung oder ob stattdessen eine Ersatzvornahme notwendig ist. Die durchgeführte Änderung kann im NISO-STIS mit dem XML-Element `<Version>` nachgehalten werden. Es wird die Verwendung einer zweistelligen Versionsnummer empfohlen (Beispiel: `<version>1.2</version>`). Hierbei stellt die erste Stelle die Version des Informationselements dar und die zweite Stelle die Nummer der Überarbeitung. Bei der Übertragung der Änderung in die Datengrundlage, muss das Attribut "Nummer der Überarbeitung" des Informationselements zusätzlich zu den durchgeführten Elementen aktualisiert werden. Eine Adressierung der Änderung kann über die GUID des jeweiligen Informationselements erfolgen.

6.3.2. Deaktivierung

Eine Deaktivierung bewirkt eine Änderung des Zustandes des Informationselements. Sobald die Deaktivierung durch die versionierende Instanz validiert ist, wird der Status des Informationselements auf "inaktiv" geändert. Innerhalb des NISO-STIS kann, bei der Aktualisierung der Informationselementdatenbank, auf die Deaktivierung mit innerhalb eines `<tbx:note>`-Elements hingewiesen werden (inkl. Begründung). Es wird empfohlen das Informationselement in der Datenbasis zu behalten, wie zuvor beschrieben abzuändern und es lediglich zu archivieren. Eine solche Archivierung sorgt, dafür das zu jedem Zeitpunkt nachvollzogen werden kann, wann und warum das Informationselement aussortiert wurde. Wie mit der Deaktivierung und Archivierung, also dem Entfernen von Anforderungen aus einem regulatorischen Dokument, umgegangen wird, bleibt in der Verantwortung der jeweiligen Normungsinstanz und wird im Rahmen dieses Konzepts nicht betrachtet.

6.3.3. Ersatzvornahme

Eine Ersatzanfrage beinhaltet die Erstellung eines neuen Informationselements sowie die Deaktivierung des bestehenden Informationselements, das durch das neue ersetzt wird. Eine Ersatzvornahme ist immer dann durchzuführen, wenn sich die Semantik eines Informationselements während der Überarbeitung ändert. Dies können zum Beispiel Änderungen an Grenz- oder Enumerationswerten sein. Nach der Validierung durch die versionierende Instanz wird das ursprüngliche Informationselement deaktiviert und sein Status auf "inaktiv" gesetzt. Das Vorgehen innerhalb des Level 4 Dokuments ist bei dieser Aktion identisch zu dem im vorherigen Kapitel beschriebenen Prozess. Außerdem wird der globale eindeutige Bezeichner des neuen Informationselements automatisch im PA012-Attribut des deaktivierten Informationselements gespeichert, um die Verknüpfung zwischen beiden zu dokumentieren. Die Erstellung des neuen Merkmals innerhalb des regulatorischen Dokuments erfolgt konform zum Prozess aus Kapitel 6.1.3. Die Beschriebene Verknüpfung kann innerhalb des neuen Informationselements über ein `<tbx:note>`-Element erfolgen. Der Verweis auf das alte Informationselement kann innerhalb der Note mit einem `<named-content>`-Element erfolgen (vgl. Abbildung 47).

```

<tbx:note>
  Das Informationselement A wird durch das Informationselement
  <named-content vocab-term-identifier="CCD981DC-D8A6-4065-95EC-749EA16A3430"
  content-type="replaces">B </named-content>
  ersetzt
</tbx:note>

```

Abbildung 47: Markierung einer Ersetzung im NISO-STS Dokument

Eine semantische Änderung liegt ebenfalls vor, wenn ein neues Merkmal einer Merkmalsgruppe zugeordnet wird. In diesem Fall muss die Merkmalsgruppe eine neue Versionsnummer erhalten, um die Änderung zu kennzeichnen. Bei der Entfernung eines Merkmals aus einer Merkmalsgruppe ist identisch vorzugehen.

6.3.4. Fragmentierung

Eine Fragmentierung führt zur Deaktivierung eines Informationselements und zur Erstellung mehrerer neuer Informationselemente des gleichen Typs. Sobald die Fragmentierung durchgeführt wurde, wird das ursprüngliche Merkmal wie in Kapitel 6.3.2 deaktiviert. Der berechnete Status wird auf "inaktiv" geändert, um anzuzeigen, dass es nicht mehr aktiv genutzt werden kann. Das PA012-Attribut des fragmentierten Informationselements wird automatisch mit den global eindeutigen Bezeichnern gefüllt, der die neuen Informationselemente identifiziert, die anstelle des fragmentierten Merkmals erstellt wurden. Dadurch wird die Nachverfolgung und Verwaltung der neuen Merkmale erleichtert. Der Verweis auf die neuen Informationselemente wird im regulatorischen Dokument in Anlehnung an Abbildung 47 eingepflegt. Hierbei wird innerhalb der Note für jedes der neuen Informationselemente ein Verweis mit Hilfe eines <named-content>-Elements angelegt.

Die Fragmentierung von Merkmalen ermöglicht es, neue komplexe Erweiterungen, Anforderungen und Aktualisierung innerhalb der regulatorischen Dokumente flexibler und effizienter zu gestalten. Die Verwendung von eindeutigen Bezeichnern für die neuen Merkmale stellt sicher, dass sie eindeutig identifiziert und verwaltet werden können.

6.3.5. Zusammenführung

Wenn eine Zusammenführung für mehrere Informationselemente umgesetzt wird, führt dies zur Erstellung eines neuen Informationselements und zur Deaktivierung der zusammengeführten Informationselemente des gleichen Typs. Vor der Zusammenführung werden die betroffenen Informationselemente von der versionierenden Instanz validiert, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen entsprechen.

Nach der Validierung werden die zusammengeführten Informationselemente fragmentiert und deaktiviert (vgl. Kapitel 6.3.2). Gleichzeitig wird das PA012-Attribut der zusammengeführten Merkmale automatisch mit einem global eindeutigen Bezeichner aktualisiert, der das neu erstellte Informationselemente identifiziert, dass die zusammengeführten Informationselemente ersetzt hat (Verfahren im regulatorischen Dokument vgl. Kapitel 6.3.3). Die Erstellung von neuen Informationselementen durch Zusammenführung mehrerer bestehender Informationselemente ermöglicht es, die Versionierung von Standards flexibler und effizienter zu gestalten, indem es redundante oder veraltete Informationselemente beseitigt.

6.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde eine Empfehlung für die Erstellung von Prüfgeln vorgestellt und erläutert. Zunächst wurde der Begriff der digitalen Norm eingeführt und ausführlich erklärt. Dabei wurden die verschiedenen Autonomieigenschaften der Normen auf den verschiedenen Levels erläutert. Im Weiteren wurde dargestellt, welcher Reifegrad einer Norm für welchen Anwendungsfall geeignet ist und wie das zukünftige Vorgehen von DIN in Bezug auf die Verwendung von digitalen Standards ist.

Im Anschluss wird eine Handlungsempfehlung zur teilautomatisierten Generierung von PrüfregeIn ausgesprochen. Die vorgestellten Prozesse entsprechen den im Rahmen des Projekts verwendeten Arbeitsweisen. Im ersten Abschnitt wird erläutert, wie eine Datengrundlage, die aus textbasierten regulatorischen Dokumenten besteht, erstellt werden kann. Hierbei werden Merkmale und Merkmalsgruppen extrahiert, die den Anforderungen des Datenmodells der DIN EN ISO 23386:2020-11 entsprechen. Im weiteren Verlauf wird beschrieben, wie mithilfe dieser Merkmale und Merkmalsgruppen in Kombination mit LOIN nach DIN EN 17412-1:2020 PrüfregeIn für die formale und fachliche Prüfung von Gebäudemodellen abgeleitet werden können. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen für die Vorbereitung eines Aktualisierungskonzepts dargelegt. Es wird erläutert, wie regulatorische Dokumente, die im XML-Format serialisiert und konform zum NISO-STS erzeugt wurden, vorbereitet werden müssen, um eine effiziente Versionierung und Aktualisierung der Normen zu ermöglichen.

Im nächsten Teil wird auf den Erfahrungen aufgebaut, die im Rahmen dieses Projekts mit den bisherigen Arbeitsweisen gemacht wurden. Es wird eine Vorgehensweise zur vollautomatisierten Generierung von PrüfregeIn vorgestellt, die auf KI-gestützten Verfahren basiert. Es wurden Technologien und Verfahren aufgezeigt, die bereits in der Forschung eingesetzt werden und auch für diesen Anwendungsfall geeignet sind. Zunächst wird erneut betrachtet, welche Verfahren zur Schaffung einer Datengrundlage aus Merkmalen und Merkmalsgruppen eingesetzt werden können. Im Anschluss wird ein Konzept vorgestellt, mit dem PrüfregeIn für die formale Prüfung automatisch aus der Datengrundlage generiert werden können.

Das Kapitel schließt mit einem Aktualisierungskonzept ab, das eine mögliche Vorgehensweise für die Aktualisierung von Normen und Standards im NISO-STS-Format sowie der zugehörigen Datengrundlage aufzeigt. Dabei wurde insbesondere auf die fünf Managementregeln für die Erstellung und Pflege von Merkmalen und Merkmalsgruppen aus der DIN EN ISO 23386:2020-11 eingegangen und diese für den vorliegenden Anwendungsfall erweitert. Ziel war es, dass die Regeln zunächst Änderungen innerhalb der Norm im NISO-STS-Format abbilden und anschließend alle Neuerungen in die Merkmale und Merkmalsgruppen der Datengrundlage übertragen werden können.

7. Nutzen und Verwertbarkeit der Umsetzung

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass Anforderungen an eine digitale Ausführungsplanung durchaus einer zuverlässigen digitalen Prüfung zugeführt werden können. Es ist zu erwarten, dass sich die digitale Modellprüfung zunehmend durchsetzen wird. Immer mehr normative Vorgaben, die sich an eine Ausführungsplanung richten, werden in entsprechende Prüfregeln übersetzt werden können. Softwareunternehmen, die Planungsprogramme herstellen, werden von derartigen Hilfsmitteln Gebrauch machen wollen, um Planenden wie auch Auftraggebenden eine zumindest teilweise digitale Überprüfung von Modellen zu ermöglichen.

Aus der juristischen Sicht ist darauf hinzuweisen, dass die digitale Modellprüfung in der vorstehend beschriebenen Form nur eine punktuelle Prüfung digitaler Modellelemente sein kann. Sie ermöglicht ggf. eine stichprobenhafte Überprüfung einer Ausführungsplanung unter dem Blickwinkel bestimmter relevanter kritischer Planungsdetails. Eine gesamtheitliche Prüfung eines Modells auf alle Anforderungen einer Ausführungsplanung wird auf absehbare Zeit nicht möglich sein. Gleichwohl wird die Vertragspraxis von entsprechenden Prüftools schnell Gebrauch machen wollen. Es darf deshalb prognostiziert werden, dass Auftraggebende und auf Projektmanagementebene Beteiligte sehr schnell auf derartige Prüftools und -prozesse zugreifen wollen, um die Planungs- und Projektstabilität zu verbessern/zu gewährleisten. Die Verantwortung von Ausführungsplanenden wird sich indessen nicht auf eine Ausführungsplanung beschränken können, die anhand der LOIN-Vorgaben und normativer Überprüfungen digital gecheckt wird. Viele nicht digital beschreibbare Anforderungen an die Ausführungsplanung werden verbleiben und müssen weiterhin auf analogem Wege bewertet und geprüft werden.

Aus praktischer Sicht stellt die Abwicklung von BIM-Projekten und die Einführung der modellbasierten Arbeitsweise Unternehmen vor große Herausforderungen. Ein Grund hierfür ist das Fehlen von Standards und widersprüchliche Vorgaben in der produktiven Projektarbeit. Architektur- und Ingenieurbüros, die mit der Ausführungsplanung von Hochbauten beschäftigt sind, werden in der Regel durch verschiedene, private Auftraggebende beauftragt. Obwohl alle Ausführungsprojekte dieselben Normen und technischen Richtlinien beachten müssen, handelt es sich deshalb um abwechslungsreiche Projekte mit unterschiedlichen Vorgehensweisen. Daher sehen sich Auftragnehmer in den Projekten mit verschiedenen, voneinander abweichenden Vorgaben durch Auftraggebende konfrontiert, was die Implementierung von Unternehmensstandards verhindert.

Eine Lösung für dieses Problem ist die Einführung einer modellbasierten Arbeitsweise, die alle relevanten Projektinformationen an einem zentralen Ort sammelt und miteinander verknüpft. Dies trägt dazu bei, dem Verlust von Projektwissen vorzubeugen und die Qualität der Planung zu erhöhen und abzusichern, was im Umkehrschluss die Termin- und Kostensicherheit erhöht. Insbesondere die Möglichkeit, die Modell- bzw. Projektinformationen computerbasiert und (teil-)automatisiert zu prüfen, ist ein Vorteil der Einführung der modellbasierten Arbeitsweise. Mit den neuen Prüfungsmöglichkeiten können manuelle Prozesse und menschliche Fehler verhindert werden.

Dennoch werden die Möglichkeiten zur computerbasierten Prüfung von geometrischen und semantischen Modellinformationen durch die zuvor beschriebenen abweichenden Vorgaben in den Projekten des Hochbaus in der Ausführungsplanung deutlich eingeschränkt. Außerdem wird eine effiziente Regelprüfung im Bauwesen, durch die Vielzahl an Softwarelösungen auf dem Markt und der Verwendung von nativen Formaten, verhindert.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, greift das Forschungsprojekt die zwei beschriebenen Probleme im Bereich der Regelprüfung und Standardisierung auf. Einerseits fehlen projektübergreifende Standards, andererseits gestaltet sich die Entwicklung effektiver und allgemeingültiger Prüfregeln als schwierig. Es wurde ein Weg aufgezeigt, der die Abstimmung der Projektbeteiligten untereinander verbessert und ein projektübergreifendes Vorgehen zur Prüfung auf Basis von relevanten Normen entwickelt. Das im Rahmen dieses Projekts durchgeführte und in Kapitel 6.1 beschriebene Vorgehen zur Erfassung der Datengrundlage aus technischen Regelwerken und zur Ableitung von Prüfregeln schafft eine unternehmensübergreifende Basis für die Projektarbeit, die sich direkt aus den Normen ableitet. Auf der einen Seite bieten die Ergebnisse dieses Prozesses eine wichtige Unterstützung für Auftraggebende, indem sie sich auf die Ergebnisse des Projekts beziehen und die identifizierten Merkmalsgruppen und Merkmale als LOIN im Projekt verankern können. Auf der anderen Seite profitieren

Auftragnehmende davon, dass sie die Vorgaben von Auftraggebern nachvollziehen und im Optimalfall im Großteil seiner Projekte verwenden können, statt unterschiedliche Vorgaben zu erhalten.

Alle Projektbeteiligten profitieren von den neutralen Prüfregeleln, die zumindest für die formale Prüfung automatisch zur Verfügung gestellt werden können. Dadurch werden technische Hürden abgebaut, die sich aufgrund der Softwareprodukte oder fachlichen Kompetenzen der Anwendenden bisher in den Projekten zeigen. Mit Hilfe der ermittelten Datengrundlage und den Prüfregeleln, die sich daraus ableiten lassen, können Modelle hinsichtlich der Einhaltung spezifischer Normen geprüft werden. Somit lässt sich die Prüfung auf ausgewählte Bereiche beschränken, die für das spezifische Projekt notwendig sind. Zusammenfassend wird die Qualität der Planung abgesichert und Auftragnehmende können gegenüber Auftraggebern mit Hilfe der abgestimmten Vorgaben und Prüfregeleln einfach und deutlich aufzeigen, dass die Regeln der Normen und Richtlinien eingehalten wurden.

Ein bedeutender Bestandteil dieses Prozesses ist das BIM-Portal des Bundes. Das zentrale Instrument dient der neutralen Bereitstellung von Merkmalsgruppen und Merkmalen an einem zentralen Ort und ermöglicht die Ableitung von Prüfregeleln in neutralem Format. Die Daten, die auf dem BIM-Portal hinterlegt sind, sind öffentlich zugänglich und können somit von allen Projektbeteiligten genutzt werden. Zudem ist es durch die Verwendung eindeutiger GUID möglich, Änderungen an Merkmalen im BIM-Portal nachzuverfolgen, wodurch eine klare Versionierung gewährleistet ist. Dies ist insbesondere bei der Verwendung als Vertragsbestandteil von großer Bedeutung.

Das BIM-Portal stellt ein wichtiges Tool zur Standardisierung im Bauwesen dar. Es handelt sich um eine Plattform, die es sowohl großen als auch kleinen Unternehmen ermöglicht, am Standardisierungsprozess teilzuhaben und von diesem zu profitieren.

In Zukunft wird sich der Nutzen des Forschungsprojekts für die Praxis weiter erhöhen, sobald digitale Normen in ausreichender Form vorliegen, die mindestens dem Level drei entsprechen. Maschinenlesbare Normen ermöglichen es, dass der im Forschungsprojekt angewendete Prozess mit teilweise manuellen Prozessschritten weiter automatisiert und beschleunigt wird. Normvorgaben, Beziehungen zwischen den Bestandteilen (z.B. Merkmal zu Merkmalsgruppe) und Regelprüfungen können softwarebasiert aus den Normen ausgelesen werden. Hierbei werden die Bestandteile durch DIN vorgegeben, was den Spielraum für Interpretationen durch manuelle Anwendung oder Künstliche Intelligenz verringert. Die Bereitstellung von digitalen Normen ist für die Praxis von großer Bedeutung, um in Zukunft den Mehrwert der (teil-)automatisierten Regelprüfung im Bauwesen auszuschöpfen.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind vielversprechend und haben das Potential mit den aufgezeigten Empfehlungen zur Vorgehensweise die Umsetzung der Regelprüfung in der Praxis auf ein neues Level zu heben. Neben dem Effekt der Standardisierung ist vor allem der direkte Bezug zu Normen und Richtlinien hervorzuheben. Dies ist ein wichtiger Schritt, um in der Praxis nicht nur die formale, sondern auch die fachliche Prüfung zu automatisieren. Schlussendlich ist dies von großer Bedeutung, um die fachliche Qualität von Modellen und somit der Planung abzusichern.

Quellenverzeichnis

- Baldwin, M. (2019). *The BIM-Manager: A practical guide for BIM project management*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Boley, H., Paschke, A., and Shafiq, O. (2010). "RuleML 1.0: the overarching specification of web rules.", Springer, 162–178.
- buildingSMART Technical. (2022). "Information Delivery Specification IDS - buildingSMART Technical." <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/> (Nov. 16, 2022).
- Daum, S., Borrmann, A., Langenhan, C., and Petzold, F. (2014). "Automated generation of building fingerprints using a spatio-semantic query language for building information models." *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM*, 2014, 87.
- DIN, D. K. (2021). *Whitepaper - Szenarien zur Digitalisierung der Normung und Normen*, Online <https://www.beuth.de/de/themenseiten/ki-wp> (Aug. 28, 2023).
- Gerhart, M., Bayer, J., Höfner, J. M., and Boger, M. (2015). "Approach to Define Highly Scalable Metamodels Based on JSON." *BigMDE@ STAF*, 11–20.
- GitHub. (2022). "RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL." <https://github.com/RUB-Informatik-im-Bauwesen/OpenBimRL> (Nov. 16, 2022).
- Hartig, O. (2015). "LDQL: a language for linked data queries." *Alberto Mendelzon International Workshop on Foundations of Data Management 2015*, 172.
- Hietanen, J. (2006). "IFC Model View Definition Format. International Alliance for Interoperability, April 2006." *International Alliance for Interoperability April 2006*.
- Mazairac, W., and Beetz, J. (2013). "BIMQL-An open query language for building information models." *Advanced Engineering Informatics*, 27(4), 444–456.
- Nurseitov, N., Paulson, M., Reynolds, R., and Izurieta, C. (2009). "Comparison of JSON and XML data interchange formats: a case study." *Caine*, 9, 157–162.
- "OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)." (2017) <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/> (Nov. 16, 2022).
- Pauwels, P., and Terkaj, W. (2016). "EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology." *Automation in construction*, 63, 100–133.
- Perry, M., and Herring, J. "GeoSPARQL—A Geographic Query Language for RDF Data; Proposal for an OGC Draft Candidate Standard 11-052r1, Open Geospatial Consortium Inc., 2011." *Access restricted to OGC members*.
- "RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax." (2018) <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/> (Nov. 16, 2022).
- Ruhr-Universität Bochum (2020). *Modellierungsrichtlinie für den BIM-basierten Bauantrag: Konzept für die nahtlose Integration von Building Information Modeling (BIM) in das behördliche Bauantragsverfahren*, Online <https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/projektergebnisse/> (Nov. 11, 2022).
- Schönfelder, P., and König, M. (2021). "Deep learning-based entity recognition in construction regulatory documents.", IAARC Publications, 387–394.
- "Shapes Constraint Language (SHACL)." (2018) <https://www.w3.org/TR/shacl/> (Nov. 16, 2022).
- "SPARQL Query Language for RDF." (2018) <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> (Nov. 16, 2022).
- Steinmann, R. (2018). "IFC certification of BIM software." *Building Information Modeling*, Springer, 139–153.
- Taelman, R., Vander Sande, M., and Verborgh, R. (2018). "GraphQL-LD: linked data querying with GraphQL." *ISWC2018, the 17th International Semantic 2018*, 1–4.
- van Berlo, L., Tauscher, H., Liebich, T., van Kranenburg, A., and Paasiala, P. "Future of the Industry Foundation Classes: towards IFC 5." *Proc. of the Conference CIB 2021*, 2021, 11–15.
- Werbrouck, J., Senthilvel, M., Beetz, J., and Pauwels, P. (2019). "Querying heterogeneous linked building datasets with context-expanded graphql queries." *7th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*, 2389, 21–34.
- "XML Path Language (XPath)." (2017) <https://www.w3.org/TR/1999/REC-xpath-19991116/> (Nov. 16, 2022).
- "XQuery 3.1: An XML Query Language." (2021) <https://www.w3.org/TR/xquery-31/> (Nov. 16, 2022).
- Zhang, C., Beetz, J., and Vries, B. de (2018). "BimSPARQL: Domain-specific functional SPARQL extensions for querying RDF building data." *Semantic Web*, 9(6), 829–855.