

Ein ontologisches Modell zur Unterstützung der digitalen Prüfplanung in der Bauausführung (OCQA)

An ontological model to support digital inspection planning in construction (OCQA)

Sebastian Seiß, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Marienstr. 7A, 99423 Weimar, sebastian.seiss@uni-weimar.de

Jan Niklas Lünig, Technische Universität Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Schleinitzstr. 23A, 38106 Braunschweig, jan-niklas.luenig@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Zur Sicherstellung der vereinbarten Bauqualitäten werden Qualitätsprüfungen in der Ausführungsphase entsprechend geltenden Standards und Normen durchgeführt. Neben der Überprüfung von Objekteigenschaften, dienen Qualitätsprüfungen als Mittel zur frühzeitigen Identifizierung von Ausführungsfehlern. Konventionelle Prüfplanungen sind meist manuell, zeitaufwendig und abhängig von den individuellen Erfahrungen der Planenden. Dieser Beitrag präsentiert die Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung (OCQA) als Ansatz für eine projekt- und unternehmensspezifische Prüfplanung. Die Terminologie der OCQA ist gemäß DIN 55350 und DIN 9000 gewählt. Die OCQA integriert Vorgaben aus Normen und technische Einschränkungen in einer Ontologie und nutzt diese zur Datenintegration, zum Wissensmanagement und zur Informationsextraktion. Aus der Kombination verschiedener qualitätsrelevante Informationen wird mittels der OCQA, die erforderlichen Qualitätsprüfungen bestimmt und detailliert geplant. Anhand der Beispielinспекtion Ebenheitskontrolle für Estricharbeiten wird die Funktionsfähigkeit der Ontologie nachgewiesen.

Abstract

Ensuring adherence to stipulated construction quality is paramount, necessitating comprehensive quality inspections during the execution phase in alignment with established standards and norms. Beyond merely examining object attributes, these inspections are crucial in offering early detection of potential execution discrepancies. Traditional inspection plans, which adhere to the DIN 55350, often suffer from being manually intensive, time-consuming, and heavily contingent on the unique experiences of the planners. This paper introduces and elucidates the Ontology for Construction Quality Assurance (OCQA). Designed as a semi-automated methodology tailored to specific company needs, OCQA seamlessly amalgamates directives from standards with technical constraints into a cohesive data model. Employing ontologies, it significantly enhances data integration, promotes efficient knowledge management, and expedites information extraction. By synthesizing a plethora of quality-centric data, OCQA identifies and orchestrates the requisite quality inspections. Its operational capability is demonstrated through a example case by using flatness inspection.

1 Einleitung

Nach geltendem Werkvertragsrecht sind Planende und Bauausführende verpflichtet, „ein mangelfreies, den anerkannten Regeln der Technik und der vereinbarten Beschaffenheit entsprechendes Werk zu planen bzw. zu bauen“ [1]. Erfahrungsgemäß handelt es sich bei der Ausführung um handwerkliche Aktivitäten, bei denen fehlerhafte Ausführung nicht ausgeschlossen werden können. Qualitätsmanagementsysteme sollen gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 die notwendigen Prozesse und Ressourcen bestimmen, die zur Erreichung der gewünschten Ergebnisse erforderlich sind [2]. Übertragen auf die Baubranche sollen mittels Maßnahmen zur Qualitätssicherung - wie

Qualitätskontrollen oder -prüfungen - die geschuldeten Ausführungsqualitäten gewährleistet werden. Ein hoher Grad an Konformität erbrachter Bauleistungen erfordert eine sorgfältige Prüfplanung, in welcher die Anzahl, der Ort, die Prüfmethode sowie das jeweilige Prüfmittel bestimmt wird. Derzeitige Qualitätsplanungen sind von manuellen Prozessen, hohen Zeitaufwendungen sowie von der individuellen Erfahrung der Planenden geprägt [3].

In der Baubranche stellen Ontologien seit jüngster Zeit einen Lösungsansatz für die Bereiche Datenintegration, Wissensmanagement und Informationsextraktion dar [4]. Ontologien stammen aus der Philosophie und werden in der Informatik zur formalen Definition von Begriffen und deren Beziehung bezogen auf eine Anwendungsdomäne

verwendet [5]. Formal bedeutet im Kontext der Sprache eine Definition der Syntax und Semantik. Übertragen auf die digitale Planung von Qualitätsprüfungen bedarf es ein domänenspezifisches Wissensmodell, welches Vorgaben aus Normen und Richtlinien, Restriktionen der Prüftechniken sowie qualitätsbezogene Erfahrungen abbildet.

Zur Reduzierung von Planungsaufwendungen und Erhöhung von Planungsqualitäten wird nachfolgend die Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung (OCQA eng: Ontology for Construction Quality Assurance) vorgestellt. Die OCQA dient 1) der Bereitstellung des heterogener Informationsbedarfs der Prüfplanung, 2) der Beschreibung von Prüfplänen und 3) der Bereitstellung von Wissen zur Planung von Prüfungen. Durch die Anwendung der OCQA, werden Wissenssilos aufgebrochen und Informationen im Bezug zur Bauausführung und Prüfplanung projektbezogen sowie firmenübergreifend bereitgestellt.

2. Grundlagen der Qualitätssicherung

Für die Konzeptionierung eines Wissensmodells zur Planung von Qualitätskontrollen werden nachfolgend die Grundlagen der Bauqualitätssicherung basierend auf den Qualitätsnormen DIN 9000:2015 und DIN 55350:2021 vorgestellt.

2.1 Bauqualität - Definition und Abgrenzung

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Qualitätsbegriff trotz des wertneutralen lateinischen Ursprungs „*qualis*“ - d.h. „*wie beschaffen*“ [6] - im Alltag wertend verwendet. Qualität wird häufig als Synonym für die Güte eines Produktes oder einer Dienstleistung verstanden. In Abhängigkeit des subjektiven Qualitätsverständnisses kann ein Ergebnis guter als auch schlechter Qualität sein [3]. Um sich von einem subjektiven Qualitätsverständnis zu lösen, wird die Begrifflichkeit gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 als „*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt*“ verstanden [2]. Qualität ist entsprechend der Definition keine absolute messbare physikalische Größe. Messbar ist gemäß Brüggemann, Bremer (2019) der Grad der Übereinstimmung eines Produktes (Konformität) mit den bestehenden Anforderungen [6].

Bauqualität kann zwischen Objektqualität als Produktqualität sowie Projektqualität als Verfahrensqualität differenziert werden. Die Qualitäten des fertigen Gebäudes in Form von technischen Anforderungen, Kostengünstigkeit, umweltbewusstes Bauen und Nutzungsverträglichkeit gehören der Objektqualität an. Die erreichte Endqualität des Gebäudes ist wiederum maßgeblich von der Verfahrensqualität abhängig. Ein hoher Grad an Konformität des Bauresultats kann nur mittels einer hohen Verfahrensqualität in Form von Qualität der Planung, Ausführungsqualität und Nutzungsqualität erreicht werden [3].

2.2 Mindestmaß an Bauqualität

Die Qualität am Bau ist von den Interessenslagen, Kenntnisständen als auch den geltenden Regeln abhängig [3].

Gemäß §1 Abs.2 VOB/B ergeben sich die Regeln für ein Bauvorhaben aus den Informationsquellen Leistungsbeschreibung, besondere Vertragsbedingungen, zusätzliche Vertragsbedingungen, zusätzliche technische Vertragsbedingungen, allgemeine technische Vertragsbedingungen und den allgemeinen Vertragsbedingungen. Bei Qualitätswidersprüchen zwischen den Informationsquellen gilt die in §1 Abs.2 VOB/B beschriebene Rangordnung [7]. Aufgrund projektspezifischer Leistungsbeschreibungen sowie wechselnder Vertragsbestandteile variieren die Qualitätsvereinbarungen in jedem Bauvorhaben. Die für das Bauprojekt geltenden Qualitätsanforderungen werden im Rahmen der Qualitätsplanung als Qualitätsziele definiert. Neben der Zielfestlegung werden innerhalb der Qualitätsplanung die notwendigen Ausführungsprozesse identifiziert und die dazugehörigen Ressourcen bestimmt [2].

Auftraggeber haben bei Abschluss eines BGB-Werkvertrages gemäß den Urteilen vom Oberlandesgericht (OLG) Frankfurt am Main (10.01.2002 – 16 U 106/01.) und OLG Schleswig-Holstein (12.08.2004 – 7 U 23/99) einen Anspruch auf Einhaltung der DIN-Vorschriften und anerkannten Regeln der Technik (a.R.d.T.). Da die Leistungen stillschweigend vorausgesetzt werden, gelten die Vorschriften als Mindestmaß an Qualität, die der Auftraggeber erwarten kann. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik sind für Architekten, Bauingenieure, Sachverständige, Bauunternehmen und Handwerksbetriebe ein allgemeiner Konsens zur Einhaltung eines (Mindest-)Standards bei Planung und Ausführung [1]. Eine Regel gilt gemäß Hankammer (2007) als anerkannt, wenn sie existiert, wissenschaftlich theoretisch richtig ist und sie in der Praxis zugleich bewährt ist [8].

2.3 Prüfplanung

Prüfungen dienen gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 zur Bestimmung der Konformität. In Abhängigkeit des Ergebnisses können Prüfungen sowohl zu Zwecken der Verifizierung als auch zum Nachweis der Nichtkonformität dienen [2]. Qualitätsprüfungen - gleichzusetzen mit Qualitätskontrollen - erweitern gemäß der DIN 55350:2021 den Prüfbegriff um zu erfüllende Erfordernisse und Erwartungen [9]. Entsprechend der Definition können mittels Qualitätskontrollen die Erfüllung der zugesicherten Eigenschaften und Qualitäten nachgewiesen werden. Ein unabhängiger Qualitätsprüfer soll über die gesamte Planungs- und Bauphase stichprobenartige die Konformität der Bauqualität mittels Plan- und Nachweisprüfungen sowie Sichtprüfungen sicherstellen. Erkannte Nichtkonformitäten in Form von Mängeln und Fehlern müssen dokumentiert und angezeigt werden [1].

Die erforderlichen Prüfungen sowie die Spezifikation einer oder mehrerer Prüfungen werden gemäß DIN 55350:2021 im Prüfplan definiert. Der Prüfplan enthält gemäß DIN Norm „*im Allgemeinen Angaben zum Prüfobjekt und die Festlegung der Prüftechnik, der Prüftätigkeiten und Prüfprozesse und der Abfolge von Prüfungen oder verweist auf*

entsprechende Prüfspezifikationen, Prüfanweisungen und Prüfablaufpläne“ [9]. Ziel des Prüfplans ist die Einhaltung der definierten Objekt- und Verfahrensqualitäten unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten [10]. Zur Erstellung einer Prüfplanung bedarf es einer im Voraus abgeschlossenen Qualitätsplanung, in welcher die einzuhaltenden Qualitätsmerkmale definiert sind. Auf Basis der abgeschlossenen Qualitätsplanung und unter Berücksichtigung des Bauablaufplans erfolgt gemäß Linß (2018) die Prüfplanerstellung nach den folgenden vier Schritten [11]:

1. Prüfobjekt, Prüfmerkmal – was zu prüfen ist
2. Prüfzeitpunkt, Prüfhäufigkeit und Prüfungsumfang – wann, wie oft, wie viel
3. Prüfmethode und Prüfmittelauswahl – wo, womit, wie zu prüfen ist und wer prüft
4. Auswertung, Erfassung und Verwaltung der Prüfdaten – wie auszuwerten und zu dokumentieren ist

Der Prüfverantwortliche erhält mit dem Prüfplan eine detaillierte Beschreibung der erforderlichen Qualitätsprüfungsmaßnahmen, die zum Erreichen der Qualitätsziele notwendig sind. In Abhängigkeit der Komplexität bedarf es weitere Beschreibungen in Form von Prüfanweisungen und Prüfablaufplänen [9].

3 Existierende Ontologie Ansätze

Ontologien besitzen die Möglichkeiten Wissen aus unterschiedlichen Bereichen in domänenspezifische Ontologien zu formalisieren, zu verbinden und wiederzuverwenden [12]. Ontologien stellen somit ein effizientes Mittel dar, um heterogenes Wissen zu verknüpfen und abzubilden. Zur Beschreibung von Bauprozessen, -aktivitäten sowie deren Abhängigkeiten sind in der Baubranche eine Vielzahl an Ontologien entstanden. Nachfolgend werden generische Ontologien zur Beschreibung der wesentlichen Entitäten sowie Ontologien im Zusammenhang mit Qualitätsprüfungen vorgestellt.

3.1 Generische Ontologien im Bauwesen

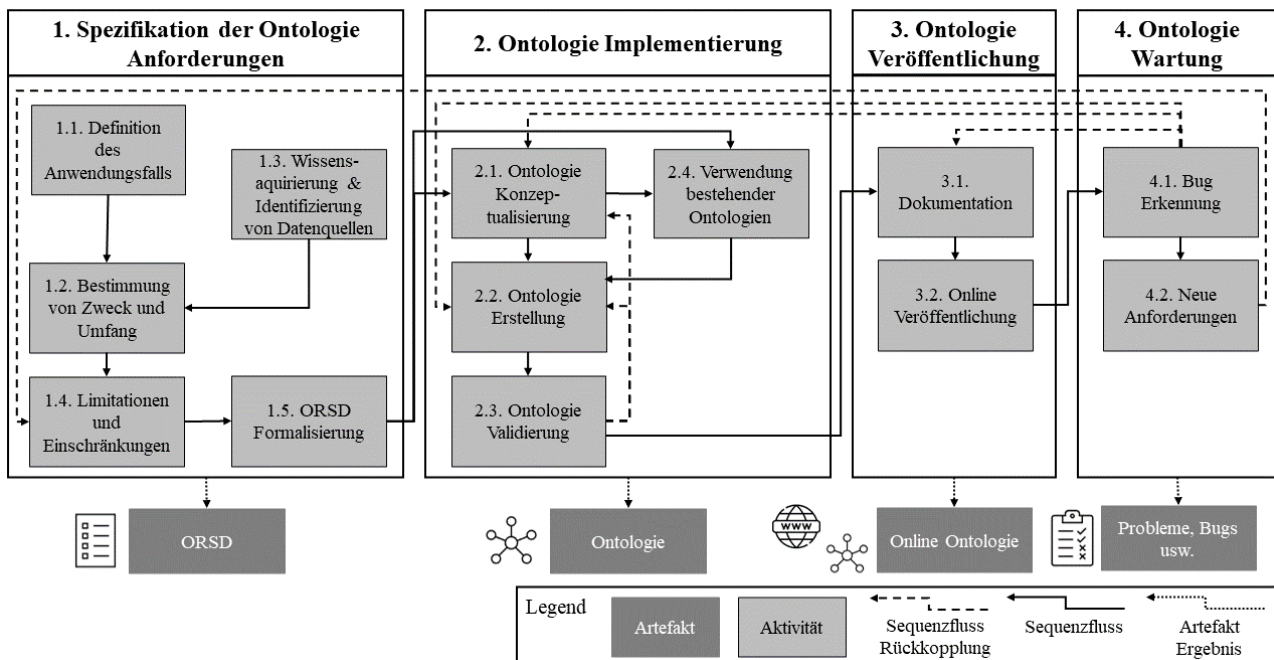
Lima et al. (2003) entwickelte die e-COGNOS Ontologie, welche eine konsistente Wissensrepräsentation bietet und organisatorische Fragen des Zugangs und der Verwendung von Wissen regelt [13]. Als Weiterentwicklung der e-COGNOS stellte El-Diraby und Osman (2011) die Domänenontologie für Bauwissen DOCK 1.0 vor, welche ein Gerüst zur Beschreibung der Schlüsselkonzepte für Bauwissen bietet [14]. El-Gohary et al. (2010) formalisierten prozessorientiertes Infrastruktur- und Bauwissen in der Domänen-Ontologie IC-PRO-Onto [15]. Im Anschluss an diese Arbeiten definierten Zheng et al. (2021) mit der Digital Construction Ontology (DiCon) umfassendere Entitäten und Eigenschaften im Zusammenhang mit Bauabläufen. Die DiCon besitzt die Fähigkeit digitale Bauinformationen aus heterogenen Systemen darzustellen und zu integrieren [16].

Für die ontologische Repräsentation des EXPRESS-Schemata der Industry Foundation Classes (IFC) wurde die Industry Foundation Classes Ontology Web Language (IFCOWL) entwickelt. In der Ontologie wird das IFC-Datenmodell in die Web Ontology Language (OWL) konvertiert, um eine maschinenlesbare Darstellung von Gebäudemodelldaten zu ermöglichen. Die Umwandlung von IFC in OWL sichert die Interoperabilität von BIM-Modellen zwischen unterschiedlichen Softwareanwendungen. Dies wird durch die Integration der semantischen Strukturen des BIM-Modells in die Websemantik erreicht, was eine effizientere Kommunikation und Datenverwaltung ermöglicht [17]. Der aus dem IFC-Standard resultierende generische ontologische Aufbau führt zu komplexen Strukturen und einer daraus resultierenden geringen Performance. Rasmussen et al. (2021) entwickelten im Rahmen des EU-Projekts DURAARK (Durable Architectural Knowledge) die Building Topology Ontology (BOT), welche einen leichtgewichtigeren Ansatz zur Minimierung der IFCOWL-Komplexität darstellt. Die BOT umfasst wesentliche topologischen Konzepte zur Beschreibung von Gebäuden [18].

3.2 Ontologien in der Bauqualitätssicherung

Angesichts des generischen Aufbaus ist eine digitale Planung von Qualitätsprüfungen mit den vorgestellten Ontologien nicht realisierbar. Im Kontext des Bauwesens wurde eine Vielzahl an Ontologien für den Bereich der Qualitätssicherung entwickelt, die im Folgenden detailliert erläutert werden.

Im Zusammenhang des Baugenehmigungsprozesses entwickelte Yurchyshyna et al. (2008) die C3R-Ontologie, welche darauf abzielt, die Konformität des geplanten Gebäudes mit regionalen Bauvorschriften zu validieren. Mittels SPARQL-Konformitätsabfragen werden technische Normen mit den einzuhaltenden Bauvorschriften abgeglichen [19]. SPARQL Abfragen ermöglichen das standardisierte Lesen, Aktualisieren und Löschen von Ontologie Graphen [20]. Zhong et al. (2012a) und Hu (2013) entwickelten die CQIEOntology, welche aus geltenden Vorschriften Prüfungen ableitet und mit den spezifischen Bauaufgaben verknüpft. Mit Hilfe von OWL-Axiomen und SWRL-Regeln, werden die durchzuführenden Qualitätsprüfungen aus verschiedenen Vertragsdokumenten abgeleitet. Der Bauleiter erhält durch die CQIEOntology in der Ausführungsphase eine Erinnerung der durchzuführenden Qualitätsprüfungen [21]. Martinez et al. (2019) verwendeten SPARQL-Abfragen, um Qualitätsvorschriften aus Baustoffdatenblättern abzuleiten [22]. Xu et al. (2019) entwickelten ein ontologiebasiertes Wissensmanagementsystem für digitale Autobahnbauprüfungen [23]. In Bezug auf das Thema Bauschäden wurde die Damage Topology Ontology (DOT) von Hamdan et al. (2019) entwickelt. Bei der DOT handelt es sich um eine generische Ontologie zur Definition und Darstellung von Schäden in verschiedenen Bauteilen [24].



Die Analyse der vorgestellten Ontologien offenbarte erhebliche Mängel in den Bereichen Konsistenz, Zugänglichkeit und Funktionalität. Keine der untersuchten Ontologien wurde veröffentlicht oder ist über eine bereitgestellte URI zugänglich. Existierende Standards des Web Consortium (W3C) oder das FAIR-Prinzip zur Entwicklung von Ontologien blieben teils unberücksichtigt. Zentrale Termini des Bauqualitätswesens, insbesondere aus der DIN ISO 9000:2015 und DIN ISO 55350:2021, wurden in den Ontologien nicht aufgeführt. Zusammenfassend sind die vorgestellten Ontologien ungeeignet für die Planung und Beschreibung von Qualitätsprüfungen. Es bedarf einer spezialisierten Ontologie für die Bauqualitätsplanung, welche die Prüfmethode wählt und anschließend die Prüfung detailliert plant.

4 Ontologie zur baubegleitenden Qualitätssicherung

4.1 Methode zur Entwicklung der OCQA

Das Ontologie Engineering ist ein Teilbereich des Knowledge Engineering, welches sich mit der Entwicklung, Modifikation, Applikation und Evaluation von Ontologien beschäftigt [25]. Mit dem IDEF5-, Enterprise-Model-, TOVE-, On-To-Knowledge- als auch kollaborative Ansatz, existieren verschiedene wissenschaftlich anerkannte oder in der Praxis bewährte Ontologie Entwicklungsmethoden. Die gebräuchlichste Methodik wurden von Grüninger und Fox (1994) sowie Uschold und Grüninger (1996), in der „ontology development guideline 101“ und der „On-To-Knowledge methodology“ vorgestellt [26] [27] [16]. In der Methode wird ein Hybridmodell verwendet, welches die Linked Open Terms (LOT)-Methode mit der Methodik von Uschold und Grüninger sowie der von Grüninger und Fox

zusammenführt. Das hybride Modell bildet die Vorteile beider Methoden ab. Gemäß der LOT-Methode wird das Ontologie-Engineering in die nachfolgenden Arbeitsschritte untergliedert:

1. Spezifikation,
2. Implementierung
3. Veröffentlichung
4. Wartungsphase

Der detaillierte Prozess der Ontologie Entwicklung und -technik ist in Abbildung 1 dargestellt. In der Phase der Spezifikation werden Umfang, Zweck, Anwendungsfälle, Nutzer und Anforderungen an die Ontologie definiert. Der Wissenserwerb ist ein fortlaufender, iterativer Prozess während der gesamten Ontologie Spezifikation [28]. Das Ergebnis der Spezifikationsphase ist das Ontology Requirements Specification Document (ORSD), welches Ziele, verfügbare Informationsquellen sowie potenzielle Mehrwerte der Ontologie beschreibt [29].

Im Anschluss der Spezifikation erfolgt gemäß Abbildung 1 die Implementierung der Ontologie. Die Implementierung umfasst die Konzeptualisierung, die Recherche bestehender Ontologie Ansätze sowie die Entwicklung der eigentlichen Ontologie. Die Validierung der entwickelten Ontologie schließt die Implementierung ab. Im Zuge der Validierung wird die formale Korrektheit und die Funktionalität hinsichtlich eines Bezugsrahmens bewertet [30]. Die im Bezugsrahmen definierten Kriterien beinhalten gemäß Xing et al. (2019) Aspekte „wie Klarheit, Konsistenz, Erweiterbarkeit, minimale ontologische Verpflichtungen, Prägnanz, Vollständigkeit, Abdeckung und Korrektheit“ [31]. Bei der Ontologie Implementierung handelt es sich gemäß Abbildung 1 um einen iterativen Prozess, in welchem identifizierte Unklarheiten oder Unvollständigkeiten, wiederum zu einer Anpassung des Ontologie Konzeptes führen.

Abbildung 1 Ontologie Entwicklungsmethodik (Poveda-Villalón et al., 2022)

Nach Fertigstellung der Ontologie erfolgt die Veröffentlichung im Hypertext Markup Language (HTML)-Format auf GitHub. GitHub ermöglicht einem breiten Spektrum von Nutzern und Entwicklern Zugang zur Ontologie zu gewährleisten. Der GitHub Repository ermöglicht eine ordnungsgemäße Ontologie Pflege durch Zusammenarbeit und Versionskontrolle [32].

4.2 Spezifikation

In der Phase der Spezifikation werden mittels Kompetenzfragen der Umfang, Zweck sowie potenzielle Anwendungsfälle der Ontologie erarbeitet. Kompetenzfragen beschreiben zu lösende Probleme, aus welchen sich potenzielle Anwendungsgebiete der Ontologie ergeben [33]. Neben der Anforderungsbeschreibung werden Kompetenzfragen KFs zur Validierung der Ontologie herangezogen. Das Resultat der Spezifikationsphase ist das Spezifikationsdokument, welches auf GitHub bereitgestellt wird [34]. Nachfolgend werden die Teilprozesse der OCQA-Spezifikation vorgestellt.

Zweck: Die Ontologie verfolgt das Ziel einer digitalen und projekt- und firmenbezogenen Planung von Qualitätsprüfungen, zur langfristigen Reduzierung von Planungsaufwendungen und -fehlern. Auf Grundlage von Modelldaten, digitalen Normen und Vertragsdaten wird die Ausführung der Qualitätsprüfungen und die zu verwendenden Prüfmittel geplant. Die Anwendung der Ontologie in dieser Arbeit beschränken sich auf:

1. Die Beschreibung von Prüfplänen und relevanten Informationen
2. Bereitstellung von Wissen zur Unterstützung der Inspektionsplanung

Anwender: Die Anwender der Ontologie werden entsprechend den Anwendungsfällen der Ontologie definiert. Als Zielgruppe wurden Beteiligte des Baumanagements und insbesondere Bauleiter und Qualitätsgutachter identifiziert. Ausführende Akteure welche kein Bestandteil des Managements von Baustellen sind, sind keine Zielgruppe der OCQA.

Nicht-funktionale Anforderungen: Non-functional requirements (NFRs) beschreiben, wie ein System funktionieren, sich verhalten und agieren soll. In verschiedenen Studien wurden NFRs für Ontologien im Bereich des Bauwesens definiert, die sich wie folgt zusammenfassen lassen: (1) Abdeckung/Ausreichendheit, (2) Konsistenz, (3) Benutzbarkeit, (4) Erweiterbarkeit/Wiederverwendbarkeit und (5) Klarheit und Prägnanz [35] [36] [15] [16]. Basierend auf den angeführten NFRs wird in Kapitel 4.4 die Validierung OCQA validiert.

Funktionale Anforderungen: Die funktionalen Anforderungen werden als KFs gemäß den zuvor definierten Anwendungsfällen beschrieben. Tabelle 1 listet die KFs auf, die von der vorgeschlagenen Ontologie beantwortet werden sollen

Tabelle 1 Kompetenzfragen zur Ermittlung der Anwendungsfälle

Beschreibung und Bereitstellung von Wissen zur Planung einer Prüfung
1. Welches Merkmal wird geprüft?
2. Wonach ist die Inspektion erforderlich?
3. Wo wird die Inspektion beschrieben?
4. Welche Prüfmethode kommt zu Anwendung?
5. Wann erfolgt die Prüfung in der Bauausführung?
6. Welches Prüfausrüstung ist erforderlich?
7. Wo soll die Prüfung durchgeführt werden?
8. Wer führt die Prüfung aus?

4.3 Implementierung

Gemäß den Spezifikationen strebt die OCQA an, eine Wissensbasis für die Planung und Darstellung von Prüfplänen bereitzustellen. Die OCQA bildet folglich eine Domänenontologie für den Bereich der Prüfplanung. Zur Sicherstellung der OCQA Funktionsweise ist es erforderlich, die unterschiedlichen Wissensbereiche der Prüfplanung abzubilden. Dabei gilt es zu beachten, dass Prüfpläne auf einen breiten Informationsbedarf aus Planung und Arbeitsvorbereitung angewiesen sind. Folglich müssen alle Informationen die mit dem zu prüfenden Bauteil in Verbindung stehen berücksichtigt werden [11]. Die Informationsbasis für die OCQA bilden vertragliche-, Fertigungs-, technische-, qualitätsbezogene Unterlagen sowie Dokumente von beteiligten Organisationen.

Eine richtige Terminologie ist wichtig, um sicherzustellen, dass die gewählten Begriffe eindeutig und für künftige Nutzer verständlich sind [37]. Zur Gewährleistung einer angemessenen Terminologie, wurde ein hybrider Ansatz gewählt. Einerseits wurde die Terminologie auf der Grundlage bestehender Ontologien erstellt, um deren bewerte Terminologie und Semantic weiter zu verwenden. Zum anderen wurden relevante Normen wie DIN 55350:2021 und DIN EN ISO 9000:2015 berücksichtigt.

In der beabsichtigten Ontologie wird dies über den Ansatz der Modularisierung realisiert. Hierbei greift das Dekompositionsprinzip, nach diesem kann ein komplexes System mithilfe von Subsystemen abgebildet werden [38]. Die Aufteilung in Module erfolgt entsprechend der Interpendenzen der in den Modulen enthaltenen Entitäten. Dabei ist zu beachten, dass in Anlehnung an das Integritätsprinzips einzelne Module im Sinne der Prüfplanung nicht funktionsfähig sind [39].

Die Dekompensierung in Module ermöglicht eine flexible Erweiterung der Ontologie an neue Wissensdomänen oder die Anpassung an anwendungsfallbezogenes Domänenwissen [40]. Dies bedeutet, dass der für die Prüfplanung unerlässliche Informationsbedarf flexibel abgedeckt werden kann. Im weiteren Sinne ermöglicht dies auch, dass die

Beschreibung der Prüfplanung entsprechend den Anforderungen des Nutzers individuell anpassbar ist.

Darüber hinaus lassen sich die einheitlich formulierten Module einfacher wiederverwenden. Viel schwerer wirkt jedoch, dass eine verbesserte Verständlichkeit und Komplexitätsreduktion erreicht wird, indem die Module isoliert betrachtet werden können [39].

dicp:Activity dar. Aus diesem Grund kann eine Prüfung entsprechend einer Aktivität ein Start- und Enddatum sowie eine Dauer zugeordnet werden. Ebenso können zu prüfende Entitäten, wie bspw. *dice:Location*, *dice:BuildingObject* oder *dicp:Activity* zugeordnet werden. Das Ziel einer Prüfung stellt das zu prüfende Merkmal dar. Aus diesem Grund ist die Inspektion nicht nur eine Entität bezogen, sondern auch das Prüfmerkmal dieser Entität. Die Abbil-

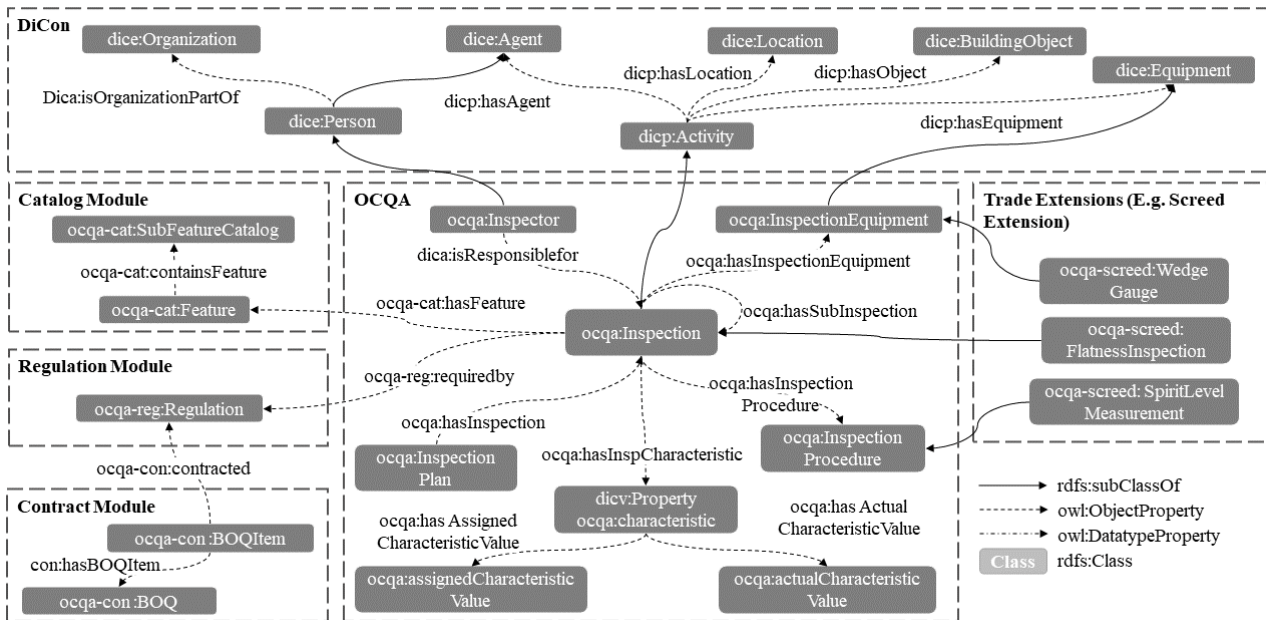


Abbildung 2 Übersicht über Klassen, Beziehungen und Daten-Eigenschaften der OCQA

Entsprechend der Abbildung 2 besitzt die OCQA vier mit ihr interagierende Module. Die OCQA beschreibt die direkt mit der Prüfplanung in Verbindung stehenden Entitäten. Das Catalog Module beschreibt Stammdaten, wie bspw. Fehlerwahrscheinlichkeiten, Zeit- oder Kostenansätze. Das Regulation Module beschreibt Regularien die Prüfungen fordern, genau wie das Contract Module, welches direkt Prüfungen vereinbart oder auf Normen verweist, die selbst Prüfungen fordern. Neben diesen Modulen gibt es das Modul Trade Extension, welches der gewerkespezifischen Erweiterung der OCQA dient. Folglich können für die einzelnen Gewerke spezifizierte Subklassen bereitgestellt werden.

Um Entitäten aus der Bauausführung und Planung bereitstellen zu können, wurde die OCQA mit der DiCon-Ontologie erweitert. Die DiCon-Ontologie verfügt über grundlegende Konzepte zur Beschreibung von Bauteilen, Bautätigkeiten, Materialien, Personal und mehr. Des Weiteren verknüpft DiCon wiederum andere Ontologien, welche domänenspezifisches Wissen zur Beschreibung von Bauwerken, Organisationen und Personen.

Die Abbildung 2 veranschaulicht vereinfacht die Struktur der OCQA mit der Klasse *ocqa:Inspection* im Zentrum. Die Prüfung steht mit zugehörigen Prüfmerkmalen, wie *ocqa:InspectionEquipment*, *ocqa:Inspector*, *ocqa:InspectionPlan* und *ocqa:InspectionProcedure* in Beziehung. Eine Inspektion stellt in der OCQA eine Subklasse von

der Prüfung dar. Die Inspektion wird über *ocqa:Characteristic*, welche über *ocqa:hasInspCharacteristic* mit der Prüfung und der zu Prüfenden Entität verbunden ist. Der zu erfüllende Wert des Merkmals wird über *ocqa:AssignedCharacteristicValue* beschrieben und der aufgenommene Wert über *ocqa:ActualCharacteristicValue* hinterlegt. Beide Werte können daraufhin über eine Abfrage verglichen und Fehler durch die Ontologie automatisiert abgeleitet werden. Als Beispielhafte gewerkespezifische Erweiterung wurde das Gewerk Estricharbeiten gewählt. Entsprechend wird die Klasse *ocqa:Inspection* beispielhaft durch die Subklasse *ocqa-screed:FlatnessInspection* erweitert.

Das vorgestellte Konzept wurde über Protégé in OWL implementiert und unter <https://w3id.org/ocqa.ttl> veröffentlicht. Eine detaillierte Dokumentation der Ontologie kann unter <https://w3id.org/ocqa> eingesehen werden.

4.4 Evaluierung

Validierungen dienen im Kontext der Ontologie-Erstellung zur Überprüfung der Erfüllung von Benutzeranforderungen sowie zur Bewertung der Wirksamkeit und Vollständigkeit. Dieser Abschnitt zeigt die Evaluierung der OCQA und stellt die angewandten Methoden und Ergebnisse vor, um sicherzustellen, dass sowohl die funktionalen Anforderungen als auch die nicht funktionalen Anforderungen erfüllt werden [15]. El-Gohary et al. (2010) klassifizieren die Evaluierung die technische Entwicklerevaluierung und die Nutzerevaluierung. Dieser Beitrag beide

Evaluierungsvarianten. Für die Entwicklerevaluierung werden Konsistenzprüfungen, kriterienbasierte- und aufgabenbasierte Evaluierung abgedeckt. Zusätzlich werden für die Nutzerevaluierung Expertenworkshops präsentiert. Tabelle 2 veranschaulicht die verschiedenen Evaluierungsmethoden, die für die definierten Anforderungen verwendet werden. Die Evaluierung, Dokumentation und Veröffentlichung der OCQA gewährleisten einen hohen Grad an Transparenz.

Konsistenzprüfung: Die Konsistenz der OCQA-Ontologie wurde mit dem Pellet-Reasoner überprüft, einem OWL-DL-Reasoner für Inferenz und Konsistenzprüfung. Die Analyse bestätigte, dass die OCQA keine Konsistenzfehler aufweist. Zusätzlich wurde die Ontologie frühzeitig mit dem Ontology Pitfall Scanner (OOPS) auf Fehler geprüft. Dabei handelt es sich um ein nützliches Werkzeug, um Fehler in der Ontologie frühzeitig festzustellen [34].

Tabelle 2 Validierungskriterien und -Werkzeuge nach El-Gohary (2010) und Zheng (2021)

Evaluations-Verfahren \ Evaluations Kriterium	Konsistenzprüfung	Kriterienbasierte Evaluation	Fokusgruppeninterviews	Fallbasierte Evaluation mit KFs
Verständlichkeit		X	X	
Konsistenz	X			
Erweiterbarkeit		X		
Nutzerfreundlichkeit			X	X
Abdeckung			X	X

Kriterienbasierte Evaluation: In dieser Evaluationsmethode werden die Kriterien der Verständlichkeit und Erweiterbarkeit geprüft werden. Um die Verständlichkeit der Ontologie zu garantieren, greift die OCQA auf evaluierte Modelle sowie Expertenwissen zurück, was zu formal richtigen und präzise definierten Konzepten führt [15].

Die Erweiterbarkeit einer Ontologie bezieht sich auf die Möglichkeit, zusätzliche Informationen einzubinden, ohne bestehende Konzepte der OCQA zu ändern [30]. Aus diesem Grund wurde die OCQA als Ontologie entwickelt, da Ontologien bestehendes Wissen wiederverwenden und erweitern können, ohne die bestehenden Begriffsdefinitionen des Kernkonzepts zu ändern [15].

Fokusgruppeninterviews: Zwei Online-Fokusgruppeninterviews wurden am 18.11.2022 und 24.11.2022 durchgeführt, um die Verständlichkeit, Nutzerfreundlichkeit und Abdeckung der OCQA zu bewerten. Die Interviews umfassten Experten aus Bauunternehmen sowie Sachverständigen und dauerten jeweils 3-4 Stunden. Ein semi-strukturierter Ansatz wurde verwendet, um die Diskussion zu erleichtern und qualitative Daten zu sammeln. Zu den wichtigsten Erkenntnissen gehörten die starke Unterstützung für die Nützlichkeit von OCQA bei der Verbesserung

der Transparenz und Zusammenarbeit, die Validierung zur Verständlichkeit der Terminologie und das Sicherstellung, dass die OCQA die wesentlichen Konzepte für die Qualitätskontrolle und Prüfplanung abdeckt.

Fallbasierte Evaluierung: Bei der Evaluierung einer Ontologie ist es von Vorteil Kompetenzfragen in Verbindung mit Aufgaben zu verwenden. Kompetenzfragen dienen der Bewertung des Abdeckungsgrads der Ontologie, während Aufgaben darauf abzielen, die Verwendbarkeit der Ontologie in bestimmten Anwendungsfällen auf der Grundlage des vorgesehenen Zwecks zu bewerten. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht eine umfassendere Bewertung der Stärken und Schwächen der OCQA und kann zu einer effektiveren und robusteren Ontologie führen. Darüber hinaus ermöglicht die Verwendung von Kompetenzfragen und Aufgaben die Evaluierung, ob die Ontologie den Anforderungen der vorgesehenen Nutzer entspricht. Als Kompetenzfragen werden die in Abschnitt 4.2 dargestellten Fragen verwendet und auf aufgabenspezifischen Instanzdaten angewendet. Als Fallbeispiel wird der Prüfplan von Derichs und Konertz verwendet zur Prüfung der Ebenheit von Estrichen.

In einem ersten Schritt wurden die in Tabellenform vorhandenen Daten aus Terminplan, Prüfplan, Leistungsverzeichnis und Prüfanweisungen, anhand eines erstellten Python Skript in die OCQA übertragen. Das bereitgestellte BIM-Modell in Form einer IFC wurde über den IFC2LBD-Konverter direkt in RDF überführt [41]. Die instanziierte Ontologie wurde anschließend zusammen mit der OCQA in Stardog gespeichert [42]. Daraufhin können die in Code 1 dargestellten Abfragen für den Fall einer Ebenheitsprüfung von Estrich an die Ontologie gestellt werden. Die Kompetenzfragen aus Tabelle 1 werden nachfolgend am Beispiel der Prüfung 42015 beantwortet. Die Abfragen sind entsprechend der Logik des in Abbildung 3 dargestellten Beispiels verfasst. Demzufolge bezieht sich das Beispiel nur auf die Instanzen der Abfrage und spiegelt auch das Abfrageresultat wider.

Zu Beginn erfolgt die Abfrage nach der UUID des Bauteils, der relevanten Norm sowie des zu prüfenden Merkmals der Prüfung 42015. Anschließend wird der Takt, Aktivität sowie Start- und Enddatum der Prüfung abgefragt. Zuletzt werden die Prüfmethode und das notwendige Equipment zur Durchführung der Prüfung abgefragt.

Code 1 SPARQL-Abfrage zur Informationsabfrage der Prüfung 42015.

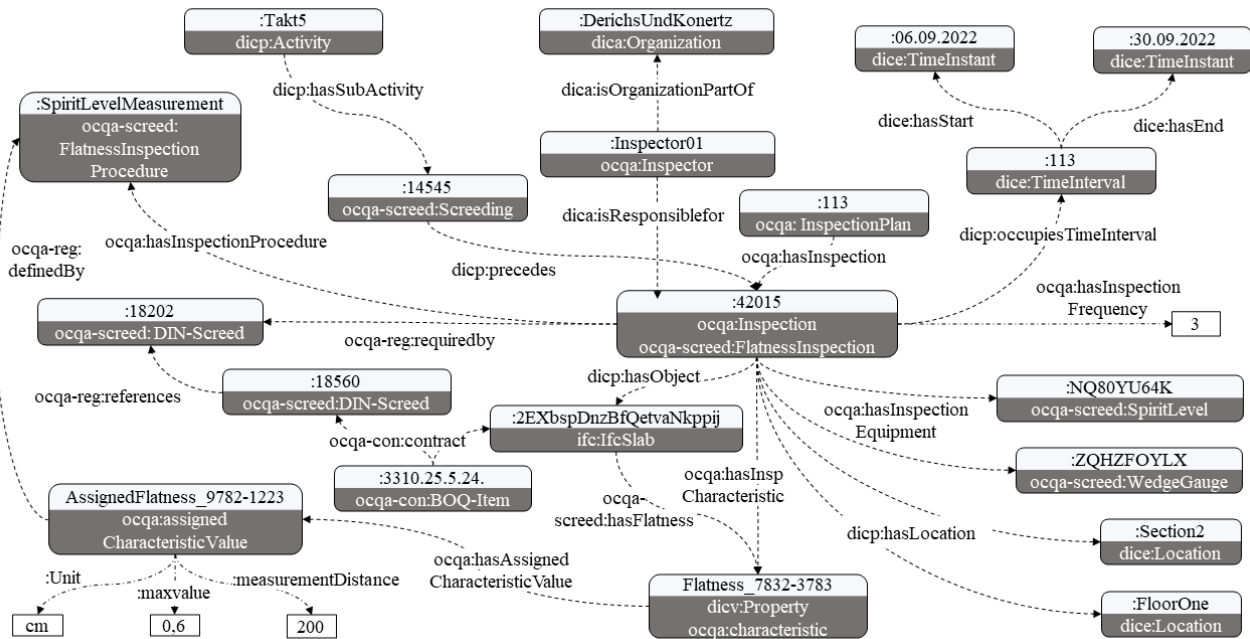


Abbildung 3 Validierung am Beispiel Ebenheitsprüfung von Estrich

```

1. [Prefixes]
2. SELECT [Select all statements of where-clause]
3. WHERE {
4. ?inspection dicp:hasObject ?UUID.#STEP 1
5. ?inspection ocqa-
screed:hasFlatness/ocqa:hasAssignedCharacteristicValue/
so:maxValue ?FlatnessDeviation:#KF 1
6. ocqa-
screed:hasFlatness/ocqa:hasAssignedCharacteristicValue/
ocqa-screed:measurementDistance
?MeasurementDistance. #KF 1
7. ?inspection ocqa-reg:requiredby
?NormForTolerances.#KF 2
8. ?NormForTolerances ^ocqa-reg:references
?NormForScreed.#KF 2
9. ?NormForScreed ^ocqa-con:contract ?BOQItem.#KF 3
10. ?inspection dice:precedes ?activity.#KF 4
11. ?activity dicp:hasSubActivity ?takt.#KF 4
12. ?inspection dicp:occupiesTimeInterval/dice:hasStart
?InspectionStart.#STEP 2. #KF 5
13. ?inspection dicp:occupiesTimeInterval/dice:hasEnd
?InspectionEnd.#STEP 2. #KF 5
14. ?inspection ocqa:hasInspectionEquipment
?InspectionEquipment.#STEP 3. #KF 6
15. ?inspection dicp:hasLocation ?InspectionLocation.#STEP
3. #KF 7
16. ?inspector dica:isResponsiblefor ?inspection.#STEP 3
.#KF 8
17. FILTER (?inspection = :42015)}
18. GROUP BY [all statement of select-clause]
    
```

5 Zusammenfassung

Aufgrund stetig hoher Fehlerraten und Kosten lässt sich sagen, dass neue Ansätze zur Verbesserung Qualität auf

Baustellen notwendig sind. Die Prüfplanung stellt ein wichtiges Glied zur Sicherstellung von Bauteil- und Prozessqualitäten dar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beschäftigen

sich nur wenige Forschungsarbeiten mit der Digitalisierung der Prüfplanung und deren Prozesse. Insbesondere mangelt es an wissensbasierten Modellen das Wissen und Informationen der Prüfplanung beschreiben. Gerade der Einsatz eines wissensbasierten Expertensystem in Form von Ontologien können hierbei ein Schlüssel sein, um durch eine digitale und vollständige Prüfplanung die Qualität auf Baustellen nachhaltig zu verbessern.

Aus diesem Grund wurde in diesem Beitrag die OCQA-Ontologie vorgestellt. Die OCQA dient zur projektspezifischen Beschreibung und Planung von Prüfplänen. Dabei verlässt das angestrebte System starre Checklisten und wendet sich individualisierten auf die projektspezifischen Anforderungen und Bauaufgabe angepassten Prüfungen zu. Des Weiteren ermöglicht die OCQA heterogene Daten aus den Datensilos der Bauplanung sowie -ausführung zusammenzuführen und der Prüfplanung zur Verfügung zu stellen. Durch die Bereitstellung von Informationen in einem offenen und neutralen Datenformat, erlaubt die OCQA die Planung von Prüfungen zwischen verschiedenen Projektbeteiligten. Sie dient somit als gemeinsame Datenumgebung, die die Interoperabilität von Information für die Prüfplanung sicherstellt. Gleichzeitig kann die OCQA auch firmenspezifisch eingesetzt werden, um dort auf Basis firmeninterne Aufwandswerte oder Personalien Prüfungen projektspezifisch zu Planen und dem Gesamtprojekt zur Verfügung zu stellen.

Die OCQA wurde unter Verwendung der LOT-Methode entwickelt. Entsprechend dieser, wurden die Anforderungen an die OCQA spezifiziert. Daraufhin wurde auf Basis

von explizitem und implizitem Wissen die OCQA-Konzeptioniert und über Protégé entwickelt. Abschließend erfolgte die Evaluierung der OCQA anhand von fünf Bewertungsmethoden. Die Evaluierung bestätigte die Funktionsfähigkeit für die in diesem Paper aufgeführten Anforderungen.

Die Ergebnisse der Arbeit sind, aufgrund des Umfangs und der bereitgestellten Daten limitiert. In zukünftigen Arbeiten wird die OCQA um weitere gewerkspezifische Prüfungen erweitert. Des Weiteren besteht in der Automatisierung von Prüfungsprozessen große Potenziale, um die Effizienz und Effektivität der Prüfplanung zu erhöhen. Die OCQA stellt folglich das wissensbasierte Modell dar, auf deren Basis die Abdeckung weiterer Gewerke und Automatisierung der Prüfplanung erfolgen kann.

Literatur

- [1] Institut für Bauforschung e.V. (IFB), *Baubegleitende Qualitätssicherung: Erkennen und Vermeiden von Planungs- und Ausführungsfehlern ; mit 45 Tabellen*. Köln: Müller, 2012.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., "Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015,"
- [3] Helmus, M., Offergeld, B., "Qualität des Bauens: BE-RICHT 44 Eine Studie über den Begriff und die Wahrnehmung von Bauqualität bei privaten und öffentlichen Bauherren und Bauunternehmen," 2012.
- [4] P. Pauwels, T. M. de Farias, C. Zhang, A. Roxin, J. Beetz, J. de Roo, and C. Nicolle, "A performance benchmark over semantic rule checking approaches in construction industry," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 33, pp. 68–88, 2017.
- [5] J. Busse, B. Humm, C. Lübbert, F. Moelter, A. Reibold, M. Rewald, V. Schlüter, B. Seiler, E. Tegtmeier, and T. Zeh, "Was bedeutet eigentlich Ontologie?," *Informatik Spektrum*, vol. 37, no. 4, pp. 286–297, 2014.
- [6] H. Brüggemann and P. Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [7] "Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), Bauvertrag (BGB), Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), Aktuelle Gesetze: mit Nebengesetzen," 2020.
- [8] G. Hankammer, *Abnahme von Bauleistungen Hochbau: Erkennen und Beurteilen von Planungs- und Ausführungsmängeln ; mit 95 Tabellen*, 3rd ed. Köln: R. Müller, 2007.
- [9] *DIN 55350:2021-10, Begriffe zum Qualitätsmanagement*.
- [10] T. M. Forchert, *Prüfplanung: Ein neues Prozessmanagement für Fahrzeugprüfungen*. [Erscheinungsort nicht ermittelbar]: KIT Scientific Publishing, 2009.
- [11] G. Linß, *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, 4th ed. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2018.
- [12] E. G. Caldarola, A. Picariello, and A. M. Rinaldi, "An approach to ontology integration for ontology reuse in knowledge based digital ecosystems," in *Proceedings of the 7th International Conference on Management of computational and collective intelligence in Digital EcoSystems*, New York, NY, USA, 2015.
- [13] C. Lima, T. E. Diraby, B. Fies, A. Zarli, and E. Ferneley, "The E-Cognos Project: Current Status and Future Directions of an Ontology-Enabled IT Solution Infrastructure Supporting Knowledge Management in Construction," in *Winds of change: integration and innovation of construction: Construction Research Congress ; March 19-21, 2003, Honolulu, Hawaii ; proceedings of the congress*, Honolulu, Hawaii, United States, 2003, pp. 1–8.
- [14] T. E. El-Diraby and H. Osman, "A domain ontology for construction concepts in urban infrastructure products," *Automation in Construction*, vol. 20, no. 8, pp. 1120–1132, 2011.
- [15] N. M. El-Gohary and T. E. El-Diraby, "Domain Ontology for Processes in Infrastructure and Construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 136, no. 7, pp. 730–744, 2010.
- [16] Y. Zheng, S. Törmä, and O. Seppänen, "A shared ontology suite for digital construction workflow," *Automation in Construction*, vol. 132, p. 103930, 2021.
- [17] P. Pauwels and W. Terkaj, "EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology," *Automation in Construction*, vol. 63, pp. 100–133, 2016.
- [18] M. H. Rasmussen, M. Lefrançois, G. F. Schneider, and P. Pauwels, "BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group," *SW*, vol. 12, no. 1, pp. 143–161, 2020.
- [19] A. Yurchyshyna, C. Faron-Zucker, N. Le Thanh, and A. Zarli, "Towards the Knowledge Capitalisation and Organisation in the Model of Conformity-Checking Process in Construction," in *Lecture notes in artificial intelligence and engineering systems: 12th international conference, KES 2008, Zagreb, Croatia, September 3-5, 2008 : proceedings*, I. Lovrek, R. J. Howlett, and L. C. Jain, Eds., Berlin: Springer, 2008, pp. 341–348.
- [20] P. Hitzler, M. Krötzsch, S. Rudolph, and Y. Sure, *Semantic Web: Grundlagen*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [21] B. T. Zhong, L. Y. Ding, H. B. Luo, Y. Zhou, Y. Z. Hu, and H. M. Hu, "Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking," *Automation in Construction*, vol. 28, pp. 58–70, 2012.

- [22] P. Martinez, R. Ahmad, and M. Al-Hussein, "Automatic Selection Tool of Quality Control Specifications for Off-site Construction Manufacturing Products: A BIM-based Ontology Model Approach," *mocs*, pp. 141–148, 2019.
- [23] X. Xu, C. Yuan, Y. Zhang, H. Cai, D. M. Abraham, and M. D. Bowman, "Ontology-Based Knowledge Management System for Digital Highway Construction Inspection," *Transportation Research Record*, vol. 2673, no. 1, pp. 52–65, 2019.
- [24] Hamdan, A.-H., Bonduel, M., & Scherer, R. J., "An ontological model for the representation of damage to constructions," *EUR Workshop Proceedings (Vol. 2389, Issue 6, pp. 64–77)*, 2019.
- [25] C. W. Holsapple and K. D. Joshi, "A collaborative approach to ontology design," *Commun. ACM*, vol. 45, no. 2, pp. 42–47, 2002.
- [26] Grüninger, M., Fox, M., *The design and evaluation of ontologies for enter-prise engineering: Workshop on Implemented Ontologies*, European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), 1994.
- [27] M. Uschold and M. Gruninger, "Ontologies: principles, methods and applications," (en), *The Knowledge Engineering Review*, vol. 11, no. 2, pp. 93–136, 1996.
- [28] Mariano Fernandez and Asuncion Gomez-Pearce and Natalia Juristo, "Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering," 1997.
- [29] OTM; CoopIS; DOA; IS; ODBASE, *On the move to meaningful Internet systems: OTM 2009: Confederated international conferences, CoopIS, DOA, IS, and ODBASE 2009, Vilamoura, Portugal, November 1 - 6, 2009 ; proceedings, part II*. Berlin: Springer, 2009.
- [30] A. Gómez-Pérez, ".: From Knowledge Based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment. Technical," *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University*, Report KSL 94-73, 1994.
- [31] X. Xing, B. Zhong, H. Luo, H. Li, and H. Wu, "Ontology for safety risk identification in metro construction," *Computers in Industry*, vol. 109, pp. 14–30, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636151830397x>, 2019.
- [32] GitHub, *GitHub: Let's build from here*. [Online] Available: <https://github.com/>. Accessed on: Sep. 08 2023.
- [33] M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, and N. Juristo, *METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering*: American Association for Artificial Intelligence; Facultad de Informática (UPM), 1997.
- [34] M. Poveda-Villalón, A. Gómez-Pérez, and M. C. Suárez-Figueroa, "OOPS! (Ontology Pitfall Scanner!): supporting ontology evaluation on-line," (en;English), *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 7–34, <https://www.igi-global.com/article/oops-ontology-pitfall-scanner/116450>, 2014.
- [35] A. Costin and C. Eastman, "Need for Interoperability to Enable Seamless Information Exchanges in Smart and Sustainable Urban Systems," (en), *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 33, no. 3, 2019.
- [36] Z. Zhou, Y. M. Goh, and L. Shen, "Overview and Analysis of Ontology Studies Supporting Development of the Construction Industry," (EN), *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 6, p. 4016026, 2016.
- [37] Y. Zheng, "An object-based conceptual model for ICT-based situational awareness of the construction process," 2020.
- [38] D. L. Parnas, "On the criteria to be used in decomposing systems into modules," (EN), *Commun. ACM*, vol. 15, no. 12, pp. 1053–1058, 1972.
- [39] M. Kopp, *Modularisierung und Synthese von Zuverlässigkeitsmethoden*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013 (Nicht für den Austausch). Stuttgart: IMA, 2013.
- [40] A. Picot and O. Baumann, "Modularität in der verteilten Entwicklung komplexer Systeme: Chancen, Grenzen, Implikationen," *Journal für Betriebswirtschaft*, vol. 57, no. 3-4, pp. 221–246, 2007.
- [41] M. Bonduel, J. Orskari, P. Pauwels, M. Vergauwen, and R. Klein, "The IFC to linked building data converter : current status," (eng), *6th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*, vol. 2159, pp. 34–43, <https://biblio.ugent.be/publication/8686194>, 2018.
- [42] *The Enterprise Knowledge Graph Platform | Stardog*. [Online] Available: <https://www.stardog.com/>. Accessed on: Sep. 08 2023.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub

universitäts
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/79160

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20231017-144002-5

In: Tagungsband zum 32. BBB-Assistent:innentreffen 2023: 04.10.2023 - 06.10.2023,
Universität Duisburg-Essen.

Alle Rechte vorbehalten.