

Kontextadaptive Informationsräume

Unterstützung interdisziplinärer Bauinformationsprozesse durch
eine kontextbewusste Informationslogistik

Frank Hilbert

Berichte des Instituts für Bauinformatik, Heft 13

Schriftenreihe des Instituts für Bauinformatik
Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. J. Scherer

© Institut für Bauinformatik,
Fakultät Bauingenieurwesen, TU Dresden, 2016

1. Auflage, März 2016
ISBN: 978-3-86780-482-0

Institut für Bauinformatik, TU Dresden

Postanschrift

Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Besucheranschrift

Nürnberger Str. 31a
2. OG, Raum Nr. 204
01187 Dresden

Tel.: +49 351/463-32966
Fax: +49 351/463-33975
E-Mail: Raimar.Scherer@tu-dresden.de
www: <http://tu-dresden.de/biw/cib>

Kontextadaptive Informationsräume

Unterstützung interdisziplinärer Bauinformationsprozesse durch eine kontextbewusste Informationslogistik

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Medieninf. Frank Hilbert

geboren am 29. Dezember 1973 in Dresden

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer, Technische Universität Dresden

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel, University College Cork

Tag der Einreichung: 19. November 2015

Tag der Verteidigung: 22. Februar 2016

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2008 bis 2014 während meiner Tätigkeit am Institut für Bauinformatik der TU Dresden. In dieser Zeit habe ich mich in die Domäne des Bauingenieurwesens eingearbeitet und bei der Realisierung von mehreren Forschungsprojekten beteiligt. Dabei bin ich vielen Personen begegnet, die mich bei meiner Arbeit unterstützt, ermutigt und inspiriert haben. Ich möchte daher die Gelegenheit nutzen, mich bei all denen zu bedanken, die mich auf meinem Weg begleitet haben.

Zuallererst danke ich an dieser Stelle sehr herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer vom Institut für Bauinformatik der TU Dresden dafür, dass er mich zur Promotion ermuntert und den langen Prozess begleitet hat. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel vom University College Cork danke ich für die bereitwillige Übernahme des Koreferats.

Weiterhin gilt ein herzlicher Dank meinen ehemaligen Kollegen aus dem Institut für Bauinformatik für die angenehme und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre sowie für die vielen Impulse und Anregungen.

Nicht zuletzt danke ich meiner Freundin Mandy, ohne ihre Unterstützung und das Mittragen meiner Entscheidung wäre das Vorhaben meiner Promotion nicht durchführbar gewesen. Zu guter Letzt möchte ich mich auch bei meinen Eltern und meinem Bruder Matti bedanken, sie haben mich in all den Jahren in meinem Vorhaben bestärkt und oft den Rücken freigehalten.

Ich hoffe, dass meine Arbeit ein klein wenig zur Reduzierung der Informationsflut beiträgt, mit der Bauingenieure täglich zu kämpfen haben und dass weitere auf meine Arbeit aufbauende Lösungen entstehen. In diesem Sinne wünsche ich viel Spaß und Erfolg beim Lesen!

Dresden, im März 2016

Frank Hilbert

*Für Mandy,
Maya und Fiby*

Kurzfassung

Die Planung und Ausführung von Bauwerken basiert auf Informationsprozesse, in denen verknüpfte Fachmodelle verschiedener Baudomänen als fachübergreifende Informationsräume verwendet werden. Dabei führen erhöhte Anforderungen an spezialisierte Arbeitsschritte sowie die wachsende Komplexität der Bauprojekte zu einem Anwachsen der Menge, des Umfangs und der Komplexität der ausgetauschten Informationsräume. Bei der Betrachtung des Informationsbedarfs der Bauinformationsprozesse lässt sich eine Kontextabhängigkeit erkennen, in der verschiedene Aspekte des Bearbeitungskontextes sowohl die Menge und Qualität als auch die Ausschnitte und Verknüpfungstiefe der erforderlichen Informationsräume determinieren.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der kontextgerechten Informationsversorgung von Informationsprozessen im Bauwesen. Auf der Grundlage multimodellbasierter Informationsräume wird ein Ansatz vorgestellt, der die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs durch kontextadaptive Multimodellvorlagen formalisiert und entsprechende kontextgerechte Informationsräume erzeugt. Dafür werden in einem ersten Schritt der Bearbeitungskontext von Bauinformationsprozessen betrachtet sowie informationslogistisch relevante Kontextaspekte identifiziert und durch ein Kontextmodell abgebildet. Für die Formalisierung der unterschiedlichen Einflüsse verschiedener Kontextaspekte auf die Ausgestaltung des Informationsbedarfs wird ein Regelsystem entwickelt, mit dem kontextadaptive Multimodellvorlagen definiert werden können. Durch Auswertung dieser Vorlagen zum Anwendungszeitpunkt lässt sich ein situativer Informationsbedarf antizipieren, auf dessen Basis ein kontextgerechtes Multimodell erzeugt werden kann. Dieser Ansatz ermöglicht die Realisierung einer kontextbewussten Informationslogistik, die den Projektpartnern im Bauwesen genau die Informationsräume bereitstellt, die in einer konkreten Bearbeitungssituation benötigt werden. Für die Bearbeitung regelbasierter Kontextwirkrelationen wird ein Editor vorgestellt, der die Erzeugung kontextadaptiver Multimodellvorlagen unterstützt. Außerdem wird anhand einer Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume die Vorgehensweise der informationslogistischen Kontextintegration beschrieben, mit der ein kontextbasierter Informationsbedarf antizipiert und ein entsprechendes kontextgerechtes Multimodell erzeugt werden kann. Der Einsatz des vorgestellten Ansatzes wird abschließend anhand eines Beispielszenarios aus der Planungsphase evaluiert, in der im Rahmen verschiedener asynchroner Bauinformationsprozesse Informationsräume gemeinsam bearbeitet werden.

Abstract

The planning and creating of structures and buildings is based on building information processes, in which linked specialized models of different domains are used as multidisciplinary information spaces. Thereby increased requirements for specialized work processes, and the growing complexity of construction projects lead to an increase in the amount, scope and complexity of the exchanged information spaces. When considering the information requirements of building information processes, a context-dependence is revealed that determines the quantity and quality as well as the cutouts and linking depth of the required information spaces depending on various aspects of the processing context.

This thesis addresses context-oriented information supply for collaborative information processes in the construction industry. Based on multi-model information spaces, an approach is presented that formalizes the context dependency of information requirements by context-adaptive multi-model templates and generates corresponding context-oriented information spaces. In a first step different aspects of the process context of building information processes are considered and logistically relevant information are identified and mapped by a context model. For the description of the different influences of various context aspects on the configuration of information needs a regulating system is developed, which can be used to define context-adaptive multi model templates. By evaluating these templates at time of use, situative information requirements can be anticipated and an adequate context-oriented multi-model can be generated. This approach enables the implementation of a context-aware information logistics, which accurately provides the information spaces for the project partners in the construction industry, which are needed in a concrete working situation. For the processing of rule-based context active relations an editor, which supports the generation of context-adaptive multi model templates, is presented. Based on architecture for generating context-appropriate information spaces, the approach of information logistics context integration is described, which allows to anticipate context-based information needs and to generate a corresponding context-oriented multi-model. The use of the approach is finally evaluated using an example scenario from the planning phase, in which various asynchronous building information processes jointly process an information space.

Inhalt

Kapitel 1 Einleitung	1
1.1 Das Bauwesen im Informationszeitalter	1
1.2 Herausforderungen der Informationsversorgung in Bauprojekten.....	2
1.3 Zielsetzung und Thesen.....	4
1.4 Kontextintegration als Lösungsansatz.....	7
1.5 Aufbau der Arbeit.....	8
Kapitel 2 Kollaborative Bauinformationsprozesse	11
2.1 Bauspezifische Rahmenbedingungen	11
2.1.1 Besonderheiten des Bauwesens	11
2.1.2 Domänenspezifische Fachmodelle	16
2.1.3 Interoperabilität der Informationslogistik im Bauprojekt	29
2.1.4 Zusammenfassung	34
2.2 Anforderungen an eine kontextgerechte Informationslogistik.....	36
2.2.1 Kollaborative Informationsprozesse	36
2.2.2 Kontextabhängigkeit der Informationslogistik.....	40
2.2.3 Anforderungen an die Informationsversorgung	45
2.2.4 Zusammenfassung	48
2.3 Stand der Entwicklung.....	49
2.3.1 Kollaborationsunterstützung im Bauwesen.....	49
2.3.2 Entwicklungsbedarf	52
2.3.3 Abgrenzung verwandter Arbeiten	55
2.3.4 Zusammenfassung	59
Kapitel 3 Grundlagen kontextgerechter Informationsräume	61
3.1 Multimodellbasierte Informationsräume.....	61
3.1.1 Interdisziplinäre Informationsräume	62
3.1.2 Der generische Multimodellansatz.....	65
3.1.3 Semantische Beschreibung von bautypischen Multimodellen	70
3.1.4 Multimodellvorlagen	76
3.1.5 Bauspezifische Informationsräume	78
3.1.6 Zusammenfassung	84
3.2 Kontextmodellierung.....	85

3.2.1	Generische Kontextinformationen	86
3.2.2	Ansätze der Kontextmodellierung.....	93
3.2.3	Möglichkeiten der Kontextintegration	99
3.2.4	Informationslogistische Kontextaspekte.....	105
3.2.5	Bauspezifische Kontextausprägungen.....	112
3.2.6	Zusammenfassung	114
3.3	Kontextgerechte Multimodelle	115
3.3.1	Grundkonzept adaptiver Multimodelle.....	116
3.3.2	Methodik der Informationsraumadaptivität	117
3.3.3	Die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs.....	121
3.3.4	Der Einfluss des Kontextes auf die Informationssemantik	124
3.3.5	Formalisierung von Wirkrelationen	125
3.3.6	Zusammenfassung	128
Kapitel 4	Konzept einer kontextbewussten Informationslogistik	129
4.1	Ontologie-Framework für kontextbewusste Projektkollaboration.....	129
4.1.1	Konzeption des Ontologie-Frameworks	130
4.1.2	Kernontologien der Informationslogistik	135
4.1.3	Die generische Projektkollaborationsontologie	142
4.1.4	Eine bauspezifische Ausprägung.....	149
4.1.5	Zusammenfassung	154
4.2	Formalisierung von Kontextwirkrelationen	155
4.2.1	Die Regelsprache ContextScript	156
4.2.2	Verwendung und Auswertung von ContextScript-Regeln.....	158
4.2.3	Regelauswertung.....	160
4.2.4	Zusammenfassung	161
4.3	Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume.....	161
4.3.1	Konzept des Gesamtsystems.....	162
4.3.2	Kontextwertschöpfung und Verwaltung	165
4.3.3	Kontextbasierte Annotation	170
4.3.4	Kontextanalyse zur Bedarfsermittlung	172
4.3.5	Erzeugung kontextgerechter Informationsräume	173
4.3.6	Zusammenfassung	178

Kapitel 5 Prototypische Umsetzung	179
5.1 Editor zur Beschreibung adaptiver Informationsräume	180
5.1.1 Konzeption des Kontextwireditors CATED	180
5.1.2 Techniken der Implementierung	182
5.1.3 Aufbau der Benutzungsoberfläche	184
5.1.4 Erstellen kontextadaptiver Multimodellvorlagen	185
5.1.5 Zusammenfassung	187
5.2 Informationslogistik einer kontextbewussten Kollaborationsplattform	188
5.2.1 Plattformkomponenten und Implementierungstechniken	188
5.2.2 Ontologie-Plattfordmienst	196
5.2.3 Plattfordmendienste der Kontextwertschöpfung	200
5.2.4 Plattfordmienst der Bedarfsevaluation	202
5.2.5 Plattfordmienst für die Multimodellerzeugung	204
5.2.6 Zusammenfassung	208
5.3 Evaluierungsszenario	209
5.3.1 Erstellen einer kontextadaptiven Multimodellvorlage	210
5.3.2 Auswerten des situativen Informationsbedarfes	212
5.3.3 Erzeugen des kontextgerechten Multimodells	214
5.3.4 Zusammenfassung	219
Kapitel 6 Schlussbetrachtung	221
6.1 Zusammenfassung	221
6.2 Ergebnisse der Arbeit	224
6.3 Ausblick	229
Anhang	230
Abbildungsverzeichnis	243
Tabellenverzeichnis	247
Definitionsverzeichnis	249
Abkürzungsverzeichnis	252
Literaturverzeichnis	255

„When your brain is always engaged, when your neurons are always firing, when you find yourself in a continual mode of reacting and responding, instead of steering and directing, the best and brightest solutions that you are capable of producing rarely see the light of day.“

(Jeff Davidson, 2005)

Kapitel 1 **Einleitung**

Die Realisierung von Bauvorhaben ist traditionell eine äußerst komplexe Aufgabe, die oft einen Kompetenz- und Ressourcenbedarf erzeugt, den einzelne Akteure nicht decken können. Aus diesem Grund lassen sich in der Geschichte des Bauwesens schon sehr früh Bestrebungen finden, dieser Herausforderung durch Spezialisierung und Kollaboration zu begegnen. Bereits bei Bauvorhaben im Mittelalter fanden sich unabhängige Partner zusammen, um ihre Kernkompetenzen für die Bearbeitung großer, komplexer Bauprojekte in Form verschiedener kurzfristiger Organisationsverbänden zu bündeln (Aggteleky und Bajna, 1992). Solche Kooperationen sind insbesondere dann ideal, wenn sich die Leistungsbilder der einzelnen Kooperationspartner ergänzen. So können sich die Partner auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren, anstatt Ressourcen für eine breite Leistungspalette im eigenen Unternehmen vorzuhalten. Diese Aufgabenteilung zwischen den Projektbeteiligten war die wesentliche Ursache für die erfolgreiche Spezialisierung vieler Bauunternehmen, weshalb auch aktuelle Bauprojekte von stark ausgeprägter Arbeitsteilung und intensiver Zusammenarbeit der verschiedenen Leistungsträger aus den unterschiedlichen Fachgebieten der Planung und Bauausführung gekennzeichnet sind.

1.1 Das Bauwesen im Informationszeitalter

Die beteiligten Kooperationspartner haben gewaltige Anforderungen zu bewältigen. So existiert einerseits ein erhöhter Wettbewerb sowohl durch die häufig auftretenden strukturellen Krisen in der Bauwirtschaft als auch durch den Trend der zunehmenden Globalisierung (Hörger, 2003, S. 24 ff.; Schreyer, 2002, S. 2 ff.). Andererseits müssen zunehmend komplexere Bauvorhaben in immer kürzerer Zeit realisiert werden (Borrmann, 2011, S. 6 ff.; Rüppel, 2007, S. 3 ff.). Durch diese Herausforderungen sind Unternehmen der Baubranche stetig gezwungen, nach Effizienzsteigerungen bei der Abwicklung der Bauprojekte zu suchen. Daher war man in der Vergangenheit stets bestrebt, jeweils die aktuellen technologischen Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnik zu nutzen. So spiegelt sich im Bauwesen der Weg vom Industriezeitalter in die Informationsgesellschaft wieder. Durch die steigende Verbreitung von Computern in den 1980er Jahren konnten viele der bis dahin mühsamen manuellen Planungen und Berechnungen im Bauwesen durch fachspezifische Anwendungsprogramme wesentlich erleichtert werden. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Grafikkarten etablierte sich auch das rechnergestützte Konstruieren und immer preiswertere Speichermedien ermöglichten das günstige Archivieren digitaler Bauproduktmodelle. Die

Verbreitung des Internets gegen 1995 hatte einen wesentlichen Einfluss auf viele Kommunikationsprozesse. Umfangreiche Planungsunterlagen und Fachmodelle wurden zunehmend digital ausgetauscht und konnten für die projektweite Verwendung zentral gespeichert werden. Bei der Suche nach Einsparpotential konzentrierte sich die Bauinformatik in den letzten Jahren hauptsächlich auf die Optimierung operativer Arbeitsprozesse (Huhnt, 2003; Willenbacher, 2002). Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Produktmodellierung fokussieren die Standardisierung von Fachmodellen (z. B. durch IFC¹) und die gleichzeitige Bearbeitung von verteilten Fachmodellen (z. B. durch BIM-Server²). Der Bereich der Informationslogistik beschäftigt sich mit der effizienten Verwendung vorhandener Informationsressourcen zur Unterstützung von Arbeitsprozessen. Hier wurden in den vergangenen Jahren erste Grundlagen für eine kontextgerechte Informationsversorgung gelegt, die in dieser Arbeit aufgegriffen werden (Fuchs et al., 2011; Schapke, 2011).

1.2 Herausforderungen der Informationsversorgung in Bauprojekten

Die Realisierung einer effizienten Informationsversorgung in Bauprojekten steht vor mehreren organisatorischen und informationstechnischen Herausforderungen, die nachfolgend kurz umrissen werden.

Verteilung der Kooperationspartner

Aufgrund der Spezialisierung der beteiligten Fachdisziplinen und der arbeitsteiligen Projektabwicklung über verteilte Standorte hinweg nimmt die Anzahl und räumliche Verteilung der Projektbeteiligten zu, wodurch sich die reibungslose Zusammenarbeit innerhalb der Projektkollaboration erschwert (Borrmann, 2011, S. 145; Both, 2006, S. 226). Die Verteilung verstärkt die Notwendigkeit einer intensiven Kommunikation, da zahlreiche Produkt- und Organisationsdaten übertragen werden müssen, um die verteilte Kollaboration untereinander abzustimmen. Zusätzlich sind die Projektbeteiligten meist gleichzeitig sowohl in eine Aufbauorganisation ihrer Organisation als auch in verschiedenen Projektstrukturen eingebunden und wechseln daher häufig ihren Bearbeitungskontext.

Heterogenität der Fachmodelle und Fachanwendungen

Bei der Organisation und Abwicklung von Bauprojekten müssen organisatorische und funktionale Informationen sowohl über geplante oder existierende Bauobjekte als auch über die Zusammenarbeit der Projektpartner verwaltet und ausgetauscht werden. Die Projektinfor-

¹ Die Industry Foundation Classes (IFC) sind eine Produktmodell-Spezifikation für die Bauindustrie (vgl. Abschnitt 2.1.2, Domänenspezifische Fachmodelle, S. 16).

² BIM-Server bieten ein unternehmensübergreifendes, plattformunabhängiges Datenmanagement auf Basis standardisierter Datenformate (vgl. Abschnitt 2.3.1, Kollaborationsunterstützung im Bauwesen, S. 49).

mationen werden in verschiedene domänenspezifische Fachmodelle, wie z. B. Kostenmodelle, Terminmodelle oder Bauwerksmodelle gesplittet³, auf deren Grundlage gewerkespezifisch die einzelnen Bauleistungen geplant und ausgeführt werden. Dabei können sich die Inhaltsbereiche der unterschiedlichen Fachmodelle überschneiden und dadurch Interdependenzen erzeugen (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16 ff.). Zudem spiegelt sich die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Spezialisierung der Beteiligten in der Diversifizierung der verwendeten Fachsoftware wieder (vgl. Abschnitt 2.1, S. 11 ff.). Die Fülle der heterogenen Fachanwendungen und Austauschformate behindert dabei die Interoperabilität und damit die effektive Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern. Fehlende, fehlinterpretierte oder falsche Informationen verursachen oftmals Qualitätsmängel, Verspätungen oder Kostenüberschreitungen bei der Planung und Ausführung der Bauprojekte (Baumgärtel et al., 2011, S. 2 ff.).

Menge und Komplexität der Fachmodelle

Neben der zunehmenden Produkt- und Projektkomplexität steigen auch die Anzahl, die Größe und die Komplexität der benötigten Informationsmodelle. Zunehmend müssen neue, aufwendigere Produktionsverfahren sowie eine Reihe neuer Anforderungen berücksichtigt werden, die spezifische Fragen der Energieeffizienz, der Nachhaltigkeit oder zusätzliche Lebenszyklusbetrachtungen des Bauwerkes fokussieren. Gerade in der Planungsphase entsteht eine Vielzahl an Informationsmodellen, die neben dem Bauobjekt selbst auch die Baugenehmigung oder die Organisation der späteren Realisierungsphase betreffen. Dabei stößt jedoch die Verarbeitung derart wachsender Datenmengen an verschiedene Grenzen. Besonders in großen und komplexen Bauvorhaben wird die Frage nach der Erschließbarkeit der vorhandenen Informationen ein immer drängenderes Problem (Mack und Baumgärtel, 2011, S. 15). Angesichts der Informationsfülle können die Anwender schlecht abschätzen, welche Informationen in der momentanen Projektsituation insgesamt vorhanden sind und welche Teilmenge davon für eine aktuelle Aufgabenstellung relevant ist. Zusätzlich erhöht sich in großen, komplexen Datenstrukturen der Orientierungsaufwand und eine gezielte Suche nach benötigten Teilinformationen wird erschwert.

Modellinterdependenzen

Viele Baufachmodelle beschreiben überschneidende Aspekte. Oft beziehen sich Informationen unterschiedlicher Fachmodelle auf gleiche Aspekte (z. B. werden häufig Bauwerkselemente im Bauwerksmodell mit Positionen eines Vorgangsmodells verknüpft). Diese Interdependenzen sind wesentlich für viele Aufgabenstellungen im Bauwesen und müssen daher geeignet abgebildet und zwischen den Partnern übertragen werden.

Semantische Erschließbarkeit

Während es Fachspezialisten relativ leicht fällt, die Semantik von Informationen zu erfassen, einzuordnen und mit anderen Informationen zu verknüpfen, ist eine semantische Interpretation für Fachfremde und erst recht für Maschinen eine große Hürde. Um Informationen der

³ Ein detaillierter Überblick über die Fachmodelltypen im Bauwesen wird in Abschnitt 2.1.2, Domänenspezifische Fachmodelle, S. 17 ff. gegeben.

automatischen Verarbeitung durch Informationssysteme zugänglich zu machen, ist es nötig, Semantik maschinenverarbeitbar zu modellieren. Aktuell werden Baufachmodelle meist mit einem uneinheitlichen Vokabular beschrieben oder gänzlich ohne semantische Annotationen ausgetauscht.

1.3 Zielsetzung und Thesen

Die meisten Fachanwendungen im Bauwesen konzentrieren sich auf spezifische Aufgabenstellungen einzelner Anwendungsdomänen. Die Kollaboration zwischen den verteilten Projektbeteiligten und das Management der ständig wachsenden Datenmengen, insbesondere in der Planungsphase, werden von vorhandenen Anwendungen nur rudimentär unterstützt. Die Ausgangslage des Umfeldes dieser Arbeit lässt sich daher durch folgende Thesen beschreiben:⁴

- Die Zusammenarbeit im Bauwesen ist gekennzeichnet durch modell-, format-, domänen- und organisationsübergreifende *Bauinformationsprozesse*.
- Die Informationsversorgung der Bauinformationsprozesse basiert auf dem dezentralen Austausch heterogener (überwiegend etablierter) *Baufachmodelle* zwischen einer großen Anzahl Beteiligter. Die Baufachmodelle werden durch spezialisierte Fachanwendungen bearbeitet.
- Zwischen den verwendeten Baufachmodellen existieren *Interdependenzen*, da für viele Problemstellungen in Bauprojekten die Elemente der Baufachmodelle miteinander in Bezug gesetzt werden müssen.
- Es lässt sich perspektivisch ein Anschwellen der Menge, des Umfangs und der Komplexität der verwendeten Fachmodelle in Bauprojekten prognostizieren.
- Bei der Bearbeitung interdisziplinärer Bauinformationsprozesse entsteht ein Bedarf an situationsangepassten verknüpften Fachmodellen. Für viele Aufgabenstellungen sind nur situationsspezifische *Ausschnitte* aus den Gesamtinformationen relevant.

Vor dem Hintergrund dieser Ausgangslage und der zu erwartenden weiteren Zunahme des Datenaufkommens gewinnt eine zielgerichtete Bereitstellung von relevanten Informationen zunehmend an Bedeutung für den Projekterfolg (Lehner, 2012, S. 42). Die rechtzeitige Bereitstellung der für die Erfüllung von Projektaufgaben notwendigen Informationen in der erforderlichen Qualität ist das Aufgabengebiet der Informationslogistik.

⁴ Das Umfeld der Arbeit wird detailliert in Abschnitt 2.2 betrachtet.

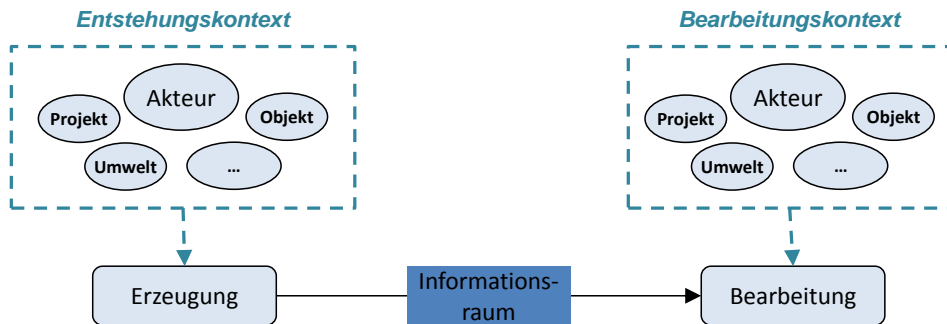


Abbildung 1: Kontexteinfluss auf die Informationslogistik

Für eine effiziente Unterstützung von Bauinformationsprozessen ist eine *smarte Informationslogistik* notwendig, die nicht nur den strukturierten Informationsaustausch zwischen allen Projektbeteiligten sicherstellt, sondern auch die situationsgerechte Informationsversorgung der Bauinformationsprozesse gewährleistet. Diese Überlegung führt zu folgenden Forschungsfragen nach den Möglichkeiten der Verwendung von Kontextinformationen für die Verbesserung der Informationslogistik in Bauprojekten:

- Wie können Bearbeitungssituationen im Bauwesen geeignet durch ein *Kontextmodell* abgebildet werden? Welche Kontextaspekte sind für die Informationslogistik relevant?
- Wie können Kontextinformationen die Beschreibung des Informationsbestandes unterstützen? Welche Aspekte des *Entstehungskontextes* lassen sich durch Metadaten abbilden?
- Wie können Kontextinformationen die Ermittlung des Informationsbedarfs unterstützen? Welche Aspekte des *Bearbeitungskontextes* beeinflussen den situativen Informationsbedarf?
- Wie lassen sich informationslogistische Kontextabhängigkeiten formal abbilden?

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Entwicklung einer Methode für eine effiziente Informationsversorgung domänenübergreifender Informationsprozesse in Bauprojekten durch kontextgerechte Informationsräume (vgl. Abbildung 1). Aus dieser Zielstellung und den Forschungsfragen lassen sich folgende Teilziele ableiten, die sich auch im Aufbau dieser Arbeit niederschlagen:

- Zielsetzung 1: Um die Relevanz vorhandener Informationsbestände für die Bearbeitung verschiedener Aufgaben zu ermitteln, ist es notwendig, dass alle zwischen den einzelnen Projektpartnern verteilten Informationsbestände einheitlich semantisch annotiert werden. Daher soll eine *Systematik* zur Beschreibung vorhandener und benötigter interdisziplinärer Informationsräume entwickelt werden.

- Zielsetzung 2: Informationslogistik ist kontextabhängig. Um die Bearbeitungssituation maschinenverarbeitbar abzubilden, soll ein *Kontextmodell* entwickelt werden, das sowohl die Kontextaspekte des Entstehungskontextes als auch die des Bearbeitungskontextes geeignet repräsentiert.
- Zielsetzung 3: Für die Formalisierung der informationslogistischen Kontextabhängigkeiten müssen Kontextinformationen mit Informationsraumelementen verknüpft werden. Dafür ist ein *regelbasiertes System* zu entwickeln, mit dem ein kontextadaptiver Informationsraum durch Regeln beschrieben werden kann.
- Zielsetzung 4: Für die Realisierung einer kontextgerechten Informationsversorgung soll ein *logikbasiertes System* den jeweiligen situativen Informationsbedarf auf Basis des Bearbeitungskontexts antizipieren und anhand des projektweiten Informationsbestands durch die Erzeugung kontextgerechter Informationsräume abdecken.

Das Forschungsziel dieser Arbeit umfasst die Untersuchung folgender Arbeitshypothese:

- Die Bearbeitung interdisziplinärer Bauinformationsprozesse lässt sich durch die Integration von Kontextinformationen zur situativen Informationsbedarfsermittlung und der darauf aufbauenden zielgerichteten Informationsversorgung durch kontextgerechte Multimodelle wesentlich unterstützen.

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit entwickelte sich aus den Erfahrungen, die am Institut für Bauinformatik (CIB) der Technischen Universität Dresden⁵ bei der Bearbeitung des Projektes *Mefisto*⁶ gesammelt werden konnten (Scherer und Schapke, 2014). Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Leitprojekt hatte zum Ziel, ein Managementführungssystem für die partnerschaftliche, prozessgesteuerte und risikokontrollierte Abwicklung von Bauprojekten zu entwickeln. Dabei wurde die domänenübergreifende Kollaboration der Projektpartner analysiert und ein Multimodellkonzept zur Abbildung der Modellinterdependenzen im Bauwesen entwickelt. Vorarbeiten für die wissensbasierte Abbildung der Projektkollaboration (vgl. Abschnitt 4.3 Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume, S. 161 ff.) entstanden in dem BMBF-Projekt *BauVoGrid*⁷ und in dem EU-Projekt *InteliGrid*⁸. Die Basis für die angesprochene IDM/MVD-Methode und für die

⁵ www.cib.bau.tu-dresden.de

⁶ Mefisto, Management-Führung-Information-Simulation im Bauwesen, Laufzeit: 04/2009–09/2012; FKZ: 01LA09001; <http://www.mefisto-bau.de>.

⁷ BauVoGrid, Laufzeit: 06/2007–05/2010; FKZ: 01IG07001A; <http://www.bauvogrid.de>.

⁸ InteliGrid, Laufzeit: 09/2004–02/2007; FKZ: IST-2004-004664; <http://www.inteliGrid.com>.

GMSD-Filtermethode wurde bereits in dem Forschungsprojekt *ICCI*⁹ gelegt, wo auch eine umfangreiche Prozessmatrix entstand.

1.4 Kontextintegration als Lösungsansatz

Für die Erschließung großer Informationsmengen gibt es in der Forschung bereits verschiedene Ansätze. In den 80er und 90er Jahren wurde auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) versucht, durch automatisches Erkennen semantischer Zusammenhänge den Umfang der, zur Lösung von Problemstellungen benötigten Informationen automatisch zu ermitteln (Schreyer, 2002, S. 2). Aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse setzt sich die Erkenntnis durch, dass für eine effiziente maschinelle Verarbeitung eine Informationsbasis ausreichend strukturiert und semantisch beschrieben sein muss. In späteren Ansätzen des *Semantic Web* wurde daher versucht, die semantische Reichhaltigkeit der Daten durch die Verwendung von Metadaten zu erhöhen (Pellegrini und Blumauer, 2006). Dazu zählen Entwicklungen auf dem Gebiet adaptiver Systeme zur Erzeugung von Umgebungsentelligenz (*Ambient Intelligence*), insbesondere im ubiquitären Umfeld und in automobilen Ad-hoc-Netzwerken, aber auch im Bereich des Geschäftsprozess- und Dienstleistungsmanagements. Hier werden derzeit verschiedene Ansätze erforscht, in denen sich intelligente Umgebungen adaptiv an Situationen und Benutzer anpassen und eine situationsspezifische Informationsversorgung anbieten (Loeser et al., 2009). Ein Umsetzungskonzept solcher Adaptivität ist die *Kontextsensitivität*.

Menschen fällt es im Allgemeinen nicht schwer, den situativen Kontext, in dem sie agieren, einzuschätzen und zu bewerten. Dazu werden implizit und unbewusst Informationen durch die Sinnesorgane wahrgenommen und zu einem mentalen Kontextmodell zusammengefasst. Dieses hat einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung von Informationen. Beispielsweise beschreiben die Begriffe „Bank“ oder „Jaguar“ in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Konzepte. Nicht nur aufgrund der fehlenden Sensorik fehlt Maschinen diese Fähigkeit der Kontextsensibilität, auch fehlt für den Umgang mit Kontextinformationen ein Regelwerk. Informationstechnische Kontextfähigkeiten müssen somit aufwendig nachgebildet werden. Um mit adaptiven Informationskonzepten Informationsinhalte, Präsentationsformen und Navigationsstrukturen kontextspezifisch anzupassen, werden situative Kontextinformationen in formalen Kontextmodellen beschrieben.

In der vorliegenden Arbeit wird der Ansatz der Kontextadaptivität aufgegriffen, um aus projektweiten Informationsbeständen situationsspezifisch Informationsräume zur Bearbeitung von Bauinformationsprozessen gezielt aufzubereiten. Auf der Basis eines generischen Kontextmodells, das domänenspezifisch expliziert wird, soll zum einen der Erstellungskontext der Fachmodelle und zum anderen der Bearbeitungskontext der Bauinformationsprozesse abgebildet werden. Durch die Modellierung des Anwenders, seiner Aufgabe und seines Kontextes lässt sich ein kontextspezifischer Informationsbedarf ableiten, der durch einen ausreichend beschriebenen Projektinformationsbestand automatisch gedeckt werden kann. Dafür

⁹ ICCL, Laufzeit 09/2001–02/2004; FKZ: IST-2000-33022; <http://cic.vtt.fi/projects/icci/>

müssen sowohl Organisationsmodelle, Prozessmodelle und Kontextmodelle als auch Informationsbedürfnisse und Informationsressourcen semantisch projektweit einheitlich beschrieben werden. Durch Verwendung von Multimodellvorlagen für die Formalisierung der Informationsbedürfnisse kann schließlich sichergestellt werden, dass die Projektpartner genau die Informationsräume erhalten, die sie für die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe in ihrer aktuellen Situation benötigen.

Der Lösungsansatz dieser Arbeit besteht darin, durch die Verwendung von Kontextinformationen über Bearbeitungssituationen konkrete Informationsbedarfe zu ermitteln und durch kontextgerechte Informationsräume gezielt zu erfüllen. Auf der Basis von Multimodellen und Multimodellvorlagen wird eine Methode entwickelt, situationsangemessene Ausschnitte aus verknüpften Projektinformationen in Form von kontextspezifischen Informationsräumen zu generieren und als Grundlage für die Projektkollaboration zu nutzen. Zusätzlich soll die Verwendung aktueller semantischer Technologien die Transparenz der Informationsbereitstellung, die Informationsqualität sowie die Informationsrelevanz der bereitgestellten Informationsräume erhöhen.

1.5 Aufbau der Arbeit

In der vorangegangenen Einleitung wurde zunächst die Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit erläutert sowie die grundlegende Lösungsstrategie vorgestellt.

Das folgende *zweite Kapitel* gibt einen Überblick über die Rahmenbedingungen der Informationsversorgung in Bauprojekten und führt grundlegende Begriffe und Konzepte ein, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden. Insbesondere wird die Heterogenität der operativen Fachmodelle und Fachanwendungen in den verschiedenen Fachdomänen untersucht, die für Projekte im Bauwesen prägend sind. Aus den Rahmenbedingungen werden schließlich Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung herausgearbeitet, die Eckpunkte für die Entwicklung eines Lösungskonzeptes bilden. Es wird der aktuelle Stand der Forschung und Technik auf dem Gebiet der Kollaborationsunterstützung im Bauwesen vorgestellt und abschließend erörtert, inwieweit durch existierende Anwendungen die erarbeiteten Anforderungen erfüllt werden und welcher Entwicklungsbedarf sich ergibt.

Als Grundlage für die Beschreibung kontextgerechter Informationsräume führt das *dritte Kapitel* zunächst grundlegende Konzepte multimodellbasierter Informationsräume sowie der Kontextmodellierung ein. Dazu werden das Konzept des generischen Multimodells vorgestellt, das eine Grundlage für die Formalisierung von kontextgerechten Informationsräumen bildet. Anschließend wird ein Ansatz für eine semantische Beschreibung der Multimodelle herausgearbeitet, der für eine informationslogistische Beschreibung sowohl der Informationsressourcen als auch der Informationsbedürfnisse geeignet ist. Aufbauend auf einer Literaturanalyse verschiedener Ansätze der Kontextmodellierung und Kontextintegration wird ein Beschreibungsmodell für informationslogistische Kontextinformationen vorgestellt, das für eine situationsspezifische Informationsauswahl verwendet werden soll. Dieses Modell ist

generisch angelegt und enthält verschiedene Kontextaspekte für die Darstellung von Entstehungs- und Verarbeitungssituationen. Beide Ansätze werden schließlich zu dem Lösungskonzept der kontextgerechten Multimodelle kombiniert. Den Abschluss des Kapitels bildet eine zusammenfassende Erörterung der unterschiedlichen Adaptionismöglichkeiten der Multimodelle sowie der Kontextabhängigkeiten des Informationsbedarfs.

In dem *vierten Kapitel* wird das Konzept der kontextbewussten Informationslogistik vorgestellt, mit dem kollaborative Informationsprozesse durch eine kontextgerechte Informationsversorgung mit adaptiven Informationsräumen unterstützt werden können. Als Grundlage einer wissensbasierten Ermittlung spezifischer Informationsbedürfnisse bildet ein Ontologie-Framework die wesentlichen Konzepte der Projektkollaboration ab. Die anschließende Einführung der Regelsprache ContextScript ermöglicht die Formalisierung von Kontextwirkrelationen und damit die Spezifizierung kontextadaptiver Multimodellvorlagen. Als Grundlage einer prototypisch technischen Realisierung einer kontextbewussten Informationslogistik wird abschließend ein Architekturvorschlag für eine Kollaborationsplattform erarbeitet, die Kontextinformationen strukturiert verwaltet, den jeweiligen kontextbasierten Informationsbedarf ermittelt und einen entsprechenden bedarfsgerechten Informationsraum erzeugt.

Gegenstand des *fünften Kapitels* sind verschiedene Pilotimplementierungen und die Evaluierung des vorgestellten Lösungskonzeptes. Der erste Kapitelabschnitt widmet sich dabei der Implementierung eines informationslogistischen Kontexteditors, der die Beschreibung kontextadaptiver Multimodellvorlagen durch die Formulierung von sog. Kontextwirkrelationen unterstützt. Anschließend wird die prototypische Implementierung informationslogistischer Plattformdienste einer multimodellfähigen kontextbewussten Kollaborationsplattform vorgestellt. Diese Plattformdienste verwenden sowohl Kontextinformationen als auch Projektinformationen zur Realisierung einer kontextgerechten Informationsversorgung und demonstrieren, wie die entwickelten Methoden zu einem Gesamtsystem verknüpft werden können. Abschließend wird der Einsatz des vorgestellten Ansatzes für die situationsgerechte Bereitstellung von kontextbasierten Informationsräumen exemplarisch anhand eines praxisnahen Anwendungsszenariums demonstriert. Für verschiedene Arbeitsaufgaben innerhalb der Vergabephase eines Bauprojektes werden kontextadaptive Informationsraumvorlagen erstellt, die jeweiligen situativen Informationsbedarfe ermittelt und entsprechende kontextgerechte Informationsräume beschreiben.

Im *sechsten Kapitel* erfolgt eine Schlussbetrachtung der Arbeit. Neben der zusammenfassenden Darstellung der erreichten Ergebnisse werden die Verbesserungen der Informationsversorgung bei der kollaborativen Zusammenarbeit in Bauprojekten bewertet. Den Abschluss der Arbeit bildet ein Ausblick auf mögliche Erweiterungen des vorgestellten Ansatzes im Rahmen künftiger Forschungsarbeiten. Der Aufbau der Arbeit wird durch Abbildung 2 illustriert.

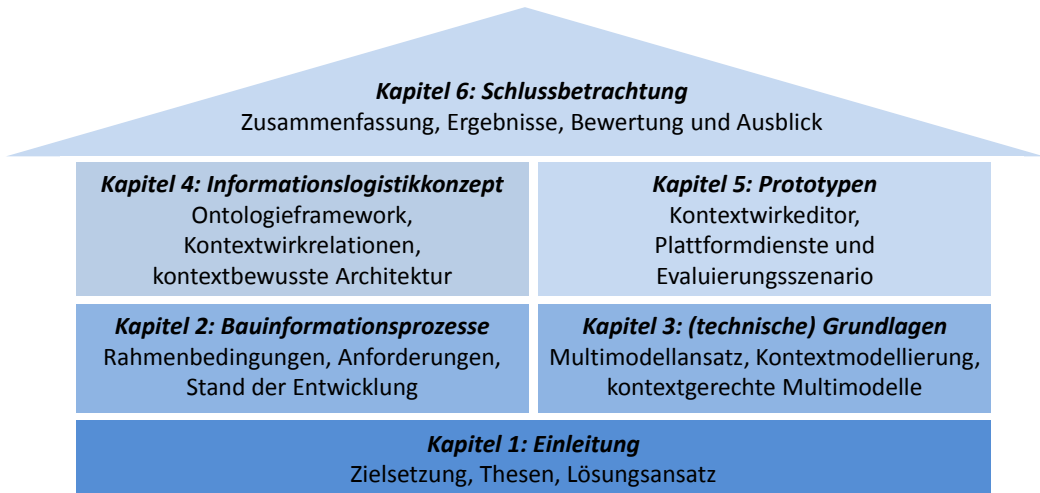


Abbildung 2: Struktureller Aufbau der Arbeit

„In the long history of humankind (and animal kind, too) those who learned to collaborate and improvise most effectively have prevailed.“

(Charles Darwin., 1809-1882)

Kapitel 2 **Kollaborative Bauinformationsprozesse**

Die Erarbeitung eines Konzeptes für eine kontextgerechte Informationslogistik erfordert zunächst eine genaue Analyse der Gegebenheiten und der besonderen Eigenschaften innerhalb der betrachteten Anwendungsdomäne. Dementsprechend soll dieses Kapitel es dem Leser ermöglichen, sich eine Vorstellung über den Stand der Informationslogistik in Bauunternehmen und dessen Problematik zu bilden. Neben einer allgemeinen Betrachtung von Bauprojekten, der Lebenszyklusphasen eines Bauwerks und der im Bauwesen üblichen Kooperationsformen wird eine Charakterisierung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse vorgenommen und es wird die Verwendung bauspezifischer Fachanwendungen und Fachmodelle näher betrachtet. Nach der Analyse des Umfeldes werden die Kontextabhängigkeit der Informationslogistik untersucht und Anforderungen an eine kontextgerechte Kollaborationsunterstützung im Bauwesen aufgestellt. Ausgehend von diesen Anforderungen werden vorhandene Systeme für die informationstechnische Kollaborationsunterstützung im Bauwesen betrachtet und bezüglich ihrer Kontextverwendung diskutiert. Anhand der ermittelten Schwachstellen wird die zu füllende Forschungslücke aufgezeigt und der Entwicklungsbedarf konkret spezifiziert. Verwandte Ansätze und aktuelle Projekte aus der Forschung werden abschließend vorgestellt und abgegrenzt.

2.1 Bauspezifische Rahmenbedingungen

Überblick

Um die Informationslogistik im Bauwesen zu verbessern, müssen zunächst die spezifischen Rahmenbedingungen betrachtet werden. Dafür werden im folgenden Abschnitt die Besonderheiten des Bauwesens herausgearbeitet, die Interaktionen der Akteure im Bauprojekt beleuchtet sowie die in Bauprojekten verwendeten Fachanwendungen und Fachmodelle beschrieben und Fragen der semantischen Interoperabilität sowie Forschungstrends erörtert. Die bauspezifischen Rahmenbedingungen werden anschließend zusammengefasst.

2.1.1 Besonderheiten des Bauwesens

In der Geschichte des Bauwesens lassen sich schon sehr früh Bestrebungen finden, den Herausforderungen komplizierter und großer Bauprojekte durch Spezialisierung und Kooperation vieler einander in ihren Kernkompetenzen ergänzender Partner zu begegnen.

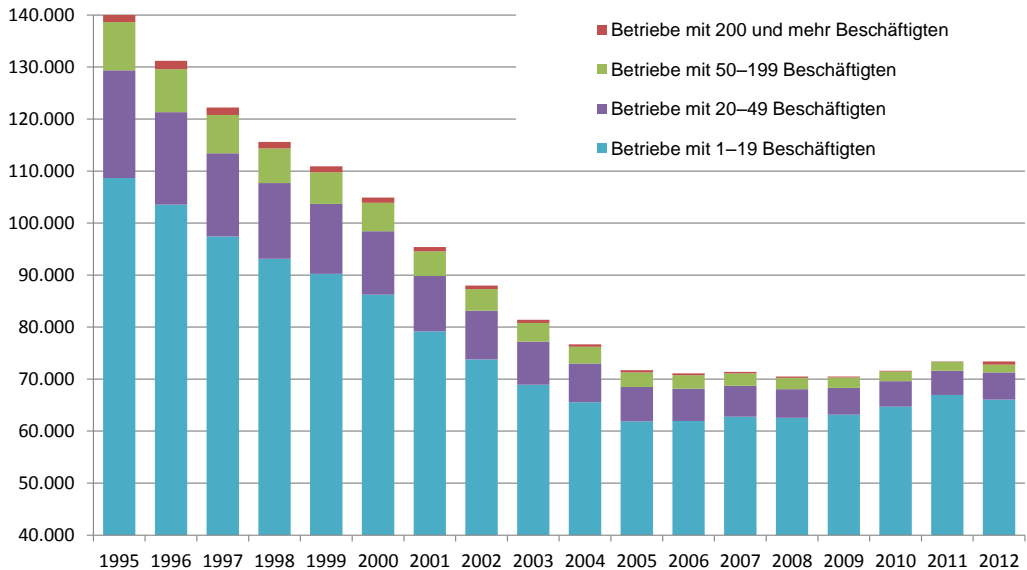


Abbildung 3: Strukturentwicklung des deutschen Bauhauptgewerbes¹⁰

Vor 3000 Jahren gründeten sich Projektorganisationen in Bauhütten¹¹ (sog. Masonrys), in denen fachübergreifend Maurer, Steinmetzen, Zimmerer, Schreiner und Bildhauer gemeinsam Paläste, Gräber, Tempel und Schutzbauten erstellten (Binding et al., 1993, S. 20 ff.). Unterschiedliche Fach- und Bauarbeitsorganisationen verbreiteten sich von da an auch in Ägypten¹² und Griechenland (sog. Thyasos) und später auch im Römischen Reich (sog. Collegium Fabrorum). Auch bei Bauvorhaben im Mittelalter fanden sich unabhängige Partner zusammen, um ihre Kompetenzen in Form verschiedener kurz- und mittelfristiger Organisationstypen zu bündeln und in der jüngeren deutschen Geschichte begegnen uns ähnliche Verbände als Gilden oder Bruderschaften (Boos, 2011, S. 4 ff.; Partsch, 2002, S. 13; Pöppelmann, 2010, S. 5). Die beschriebene historische Entwicklung ist die Ursache einer hohen Spezialisierung vieler Unternehmen im Bauwesen. In Deutschland und Europa sind die Unternehmen der Bauwirtschaft auch heute noch primär klein- bis mittelbetrieblich ausgerichtet. Ungefähr 75 % der Leistungsträger der Bauwirtschaft in Deutschland arbeiten in Betrieben mit weniger als 100 Beschäftigten (vgl. Abbildung 3). In den europäischen Nachbarländern ist die Bauwirtschaft ähnlich strukturiert (Stark, 2006, S. 14).

¹⁰ Vgl. Statistisches Jahrbuch 2013; <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/Bauen.pdf>.

¹¹ Benannt nach dem ursprünglichen Ort, an dem Steine zugerichtet wurden (Boos, 2011, S. 28).

¹² Pythagoras war beispielsweise 500 v. Chr. ein Mitglied der ägyptischen Bauhütte (Binding et al., 1993, S. 28).

Charakteristik von Bauprojekten

Die Deutsche Industrie-Norm (DIN) definiert Projekte als abgegrenzte Vorhaben, die durch die Einmaligkeit ihrer Umstände (z. B. Zielvorgaben, projektspezifische Organisation oder zeitliche, personelle bzw. finanzielle Rahmenbedingungen) gekennzeichnet sind (DIN 69901). Einige Autoren erweitern diese Definition um weitere konstitutive Merkmale zur Kennzeichnung von Einmaligkeit, Neuartigkeit, Komplexität sowie Interdisziplinarität (z. B. Kochendörfer et al., 2007, S. 4). Projekte können nach ihrem Gegenstand unterschieden werden in Investitions-, Forschungs- und Entwicklungs- und Organisationsprojekte. Nach dieser Einteilung lassen sich Bauvorhaben grundsätzlich den Investitionsprojekten zuordnen. Auch wenn die Bauwirtschaft neben Planungs- und Bauleistungen zunehmend auch Dienstleistungen rund um das Bauprodukt anbietet, ist sie doch in erster Linie ein produzierender Industriezweig (Blochmann, 2002, S. 8; Girmscheid, 2006, S. 482). Bezüglich des Projektcharakters lassen sich zwar Ähnlichkeiten zu Projekten der stationären Industrie (z. B. Automobilbau, Maschinenbau oder Elektroindustrie) finden, aber die Anforderungen an die Unikatfertigung in Bauprojekten unterscheiden sich wesentlich von den Produktionsbedingungen der Massenfertigung. Insbesondere in Hinblick auf die Kollaboration können für die Charakterisierung von Bauprojekten weitere kennzeichnende Projektmerkmale ergänzt werden (vgl. Abbildung 4).

Bauwerke werden in Einzelfertigung geplant und erstellt. Sie sind in aller Regel Unikate, die sich einer einmaligen Konstellation aus Gegebenheiten (Lage, Baugrund, umgebender Bauzustand usw.) und Randbedingungen (Infrastruktur, Witterungsbedingungen, Grundwasserstände usw.) anpassen müssen. Im Unterschied zu anderen Investitionsprojekten sind die Rahmenbedingungen in Bauprojekten häufig nicht klar fixiert. Die Eigenschaften und Qualitäten des Bauwerkes werden durch den Auftraggeber festgelegt, wobei die konkrete Definition der Qualitätsvorgaben oft erst während der Beauftragung oder Ausführung erfolgt. Eine Fertigung von Prototypen ist im Bauwesen aus terminlichen, wirtschaftlichen und finanziellen Gründen nicht möglich. Aufgrund der unscharfen Zieldefinitionen zu Projektbeginn und der Unwägbarkeit der Risiken bei der Ausführung werden Kosten und Termine in der Praxis häufig überschritten. Bauwerke erfordern hohe Investitionssummen, besitzen dafür aber einen vergleichsweise langen Lebenszyklus mit ausgedehnten Nutzungsphasen. Umnutzungen und die damit einhergehenden Änderungen erfordern häufig erneute Planungs- und Ausführungsarbeiten (Cüppers, 2006, S. 23). Mit Ausnahme des Schiffsbaus sind Industrieprodukte in der Regel nicht für ähnlich gravierende nachträgliche Änderungen vorgesehen.

Die *Bauprojektorganisation* ist direkt abhängig vom Projektziel und von den beteiligten Stammorganisationen¹³. Größere Bauprojekte können über hundert Organisationseinheiten umfassen, die in Hierarchien mit zehn und mehr Ebenen organisiert sind (Loos und Vanderhaeghen, 2007, S. 36).

¹³ Nach der Dauer des Bestehens unterscheidet man hier zwischen langfristigen permanenten Stammorganisationen und kurzfristigen Projektorganisationen (Klauer, 2005, S. 15).

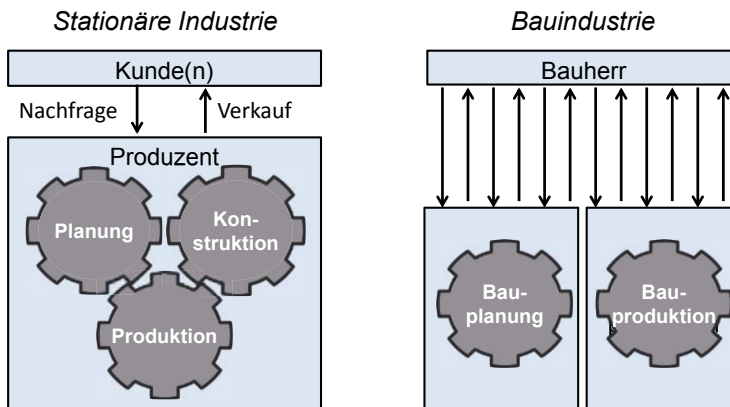


Abbildung 4: Güterherstellung im Vergleich¹⁴

Durch die starke Spezialisierung und Verteilung im Bauprojekt können teilweise sehr komplexe Organisationsstrukturen entstehen, die vielfältige vertragliche Beziehungen und Zuständigkeiten beinhalten. Diese werden durch kurz- und mittelfristige Organisationsstrukturen abgebildet. Die organisatorischen Festlegungen müssen sich dabei den verschiedenen Entwicklungsphasen des Projektes anpassen. Die Phase der Planung erfordert andere Regelungen als die Ausführungsphase.

Bei der Abwicklung von Bauprojekten werden die Organisationseinheiten der *Bauprojektorganisation* in Aufbau- und Ablauforganisation unterschieden. Dabei beschreibt die *Aufbauorganisation* strukturell die Beziehungsstruktur zwischen den einzelnen Organisationselementen und bildet mit der Hilfe von Organisationsmodellen sowohl die Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Kompetenzen der einzelnen Handlungsträger als auch Hierarchien, Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Projektbeteiligten ab. Die *Ablauforganisation* dagegen organisiert mit Mitteln der Prozessmodellierung die sachliche, zeitliche und räumliche Folge der Arbeitsschritte der Aufgabenausführung (Greiner et al., 2005; Stark, 2006, S. 15ff.).

Die *Produktplanung* und die *Produkterstellung* sind im Bauwesen in der Regel klar getrennt, wie Abbildung 4 illustriert. Die *Produktplanung* wird durch eine große Zahl beteiligter Fachplaner aus unterschiedlichen Disziplinen (z. B. Architekten, Tragwerksplaner oder Geotechniker) arbeitsteilig, kooperativ und parallel in einer sehr frühen Projektphase (und damit meist in Unkenntnis des genauen Bauablaufes und konkreter Projekttrandbedingungen) erstellt. Bei der Produktplanung müssen sowohl funktionell-technische als auch künstlerisch-ästhetische Anforderungen beachtet werden. Da das Planungsergebnis nicht in allen Aspekten formell verifizierbar ist, lässt sich der Planungsprozess nicht durchgängig automatisieren und erfordert immer kognitive Bemühungen.

¹⁴ nach (Stark, 2006, S. 23)

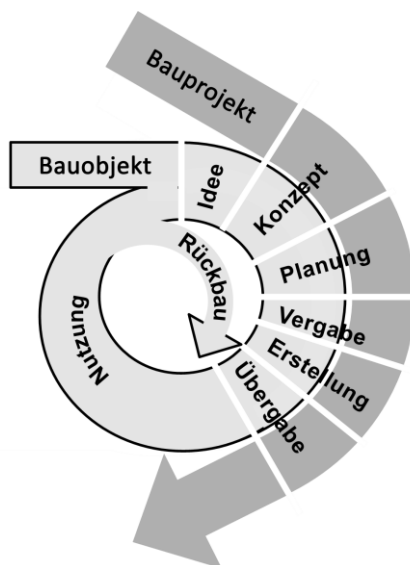


Abbildung 5: Objekt- und Projektphasen

Dies begründet u. a. den relativ hohen Anteil der Entwurfskosten an den Gesamtproduktionskosten¹⁵ (Greiner et al., 2005, S. 1ff.; Hauschild, 2003, S. 137).

Der *Herstellungsprozess* ist eine einzigartige, individuell auf das Bauwerk, den Bauherrn und den Produktionsstandort zugeschnittene Leistungserstellung. Oftmals muss bei der Bauwerkserstellung auf nachträgliche Auftraggeberentscheidungen oder vorgefundene Gegebenheiten reagiert werden, woraus sich für die Prozesse eine große Dynamik und Vagheit ergibt. Der Produktionsstandort ist bei jedem Bauprojekt vorgegeben, liegt meist im Freien, ist Wind und Wetter ausgesetzt und muss den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten angepasst werden (Cüppers, 2006; Stark, 2006; Vanderhaeghen, 2007, S. 80). Während die Produkt- und Projektplanung sowie die Projektsteuerung relativ ortsunabhängig stattfinden können, bedingen Bauwerkserstellung sowie Maßnahmen zur Instandhaltung stets die Anwesenheit der Akteure am Bauort.

Sowohl Projekte als auch Produkte sind im Bauwesen von einer wachsenden Komplexität gekennzeichnet und werden daher zur besseren Beherrschung in aufeinanderfolgende Phasen eingeteilt. Die Phasen eines Bauwerkes werden durch Objektlebenszyklusphasen (kurz: *Objektphasen*) definiert, während die Phasen eines Projektes durch Projektrealisierungsphasen¹⁶ (kurz: *Projektphasen*) beschrieben werden (vgl. Abbildung 5). Das Projekt begleitet das Objekt nur in ausgewählten Objektphasen (z. B. Erstellung, Umbau, Abriss). Ab der Nutzungsphase wird das Objekt meist nicht mehr dem Bauprojekt zugeordnet. Ein Bauwerk kann in

¹⁵ Dieser Anteil liegt häufig in der Größenordnung eines Zehntels der Gesamtkosten (Stark, 2006, S. 21).

¹⁶ Gelegentlich auch Projektlebenszyklus genannt, so z. B. in (Greiner et al., 2005, S. 11)

seinem Leben das Objekt verschiedener Bauprojekte darstellen und ebenso können in einem Projekt mehrere Bauwerke bearbeitet werden. Eine Vielzahl von Organisationen und Verordnungen regeln die Definition der Projektphasen in Deutschland, so z. B. die Deutsche Industrienorm, DIN, die AHO¹⁷ und die HOAI¹⁸. Grundsätzlich sind dabei die Projektphasen so organisiert, dass die folgende Phase auf den Ergebnissen der vorangegangenen Phase aufbaut. Zur Optimierung der Projektdauer existieren jedoch auch alternative Planungsabläufe, in denen sich die Projektphasen überlappen können. So z. B. die Synchronplanung, in der sich die Phasen der Planung und der Ausführung teilweise überlappen, und die Neutralplanung, in der eine ausführungsbegleitende Planung stattfindet (Greiner et al., 2005, S. 15f.)

Diese Ausführungen mögen genügen, um zu zeigen, welche Herausforderung die Einhaltung von Zielvorgaben hinsichtlich Qualität, Kosten und Terminen in Bauprojekten darstellt. In Anbetracht der langen Lebensdauer und der hohen Gesamtkosten des Bauproduktes ist die Notwendigkeit hochwertiger Planungs- und Ausführungsleistungen unbestritten. Eine Herausforderung besteht in einer möglichst optimalen informationstechnischen Unterstützung sowohl der Planungsaktivitäten als auch des Fertigungsprozesses, um in der vorgegebenen Planungs- und Fertigungszeit bei niedrigen Kosten ein hochwertiges Ergebnis erzielen zu können. Dabei erschweren die Besonderheiten des Bauwesens eine mögliche Übertragung informationstechnischer Lösungen anderer Industriezweige auf das Bauwesen.

2.1.2 Domänenspezifische Fachmodelle

Eine klare Abgrenzung der Begriffe *Daten*, *Information* und *Wissen* ist Voraussetzung für einen sicheren Umgang mit den hinter diesen Begriffen stehenden Konzepten. Da sich unterschiedliche Fachgebiete in Kombination mit verschiedenen Aufgabenstellungen um eine Definition bemühen, werden diese sinnverwandten Begriffe in der Literatur oftmals vielfältig interpretiert und unzureichend voneinander abgegrenzt. Neben der alltagspraktischen Verwendung existieren auch naturwissenschaftliche, informationswissenschaftliche, betriebswirtschaftliche sowie nachrichtenorientierte Verständnisse der Begriffe. Der folgende Abschnitt definiert die Begriffe im Rahmen dieser Arbeit. Darauf aufbauend werden Grundbegriffe der Datenmodellierung eingeführt und das Gebiet der Informationslogistik abgegrenzt.

Modelle für Daten und Informationen

Für die Begriffe *Daten*, *Information* und *Wissen* wird in dieser Arbeit die Begriffsbestimmung der Informationswissenschaft verwendet, in der für die Definition und Abgrenzung der einzelnen Konzepte die semiotische¹⁹ Begriffsdefinition zugrunde gelegt wird (Ismail,

¹⁷ Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e. V. - Fachkommission Projektsteuerung/Projektmanagement (AHO, 2004)

¹⁸ Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (Hebel, 2013).

¹⁹ Die (zeichentheoretische) Semiotik ist die allgemeine Theorie der Zeichen. Eine Einführung gibt z. B. (Eco, 2002).

2011, S. 14; Krcmar, 2005, S. 14). Die klassische Semiotik unterscheidet dabei drei Begriffsebenen. Die *Syntaktik* befasst sich mit den formalen und strukturellen Beziehungen der Zeichen zueinander, die *Semantik* adressiert die Beziehungen zwischen den Zeichen und ihrer Bedeutung und die *Pragmatik* letztendlich beschreibt die Beziehungen der Zeichen zu den Handlungsausführenden (Voß und Gutenschwager, 2001, S. 28). In der klassischen Begriffshierarchie der Semiotik werden die Begriffe *Zeichen*, *Daten*, *Information* und *Wissen* verschiedenen Begriffsebenen zugeordnet, wobei in dieser Begriffshierarchie jede Ebene jeweils als Basis für alle darüber angesiedelten Ebenen zu sehen ist. In dieser Ordnung steht das Konzept der Zeichen auf unterster und das Konzept des Wissens auf oberster Ebene (vgl. Abbildung 6). Der Begriff *Zeichen* benennt eine endliche Menge von unterscheidbaren Symbolen, die in Buchstaben, Ziffern oder Sonderzeichen eingeteilt werden (z. B. die Ziffer 3 oder der Buchstabe D)²⁰. Eine syntaxkonforme Kombination von Zeichen zu festen Verbänden erzeugt *Daten* (z. B.: Buchstaben zu Wörtern, Ziffern zu Zahlenwerten) (Roumois, 2007, S. 33). Beispielsweise bilden sowohl die Zahl 350 als auch das Wort „Wandhöhe“ Daten, da sie den Bildungsvorschriften für numerische Werte bzw. alphanumerische Wörter entsprechen. Werden Daten mit Semantik versehen, indem sie in einen Bedeutungskontext (z. B. Sachverhalt oder Gegenstand) gesetzt werden, lassen sich *Informationen* darstellen (Herrmann, 2010, S. 173).

Informationen sind also stets Kombinationen von Daten und deren Bedeutung, wobei die Anreicherung von Daten mit Semantik stets zielorientiert geschieht. Dadurch sind Informationen im Gegensatz zu Daten kontextabhängig, d. h., ihr Bedeutungsinhalt besitzt nur in einem bestimmten Kontext Gültigkeit. Rehäuser und Krcmar (1996, S. 5) fassen diesen Zusammenhang folgendermaßen zusammen: „Informationen sind als in den Kontext eines Problemzusammenhangs gestellte Daten zu betrachten“. Dabei können Daten je nach Interpretation zu ganz unterschiedlichen Informationen führen (z. B. kann die Bitfolge 01011000 der Zahl 88 entsprechen oder nach der ASCII-Codierung²¹ dem Zeichen X). Gibt man den Daten „350“ und „Wandhöhe“ die Bedeutung „Die Wandhöhe beträgt 350 cm“, entsteht eine Information über einen Sachverhalt, die eine Antwort auf die Frage „Wie hoch ist die Wand?“ für ein spezielles Wandobjekt geben kann.

Im Gegensatz zu diesem Informationsverständnis sehen alternative Informationsdefinitionen die Relevanz der Daten für den Menschen als wichtige Voraussetzung für eine Qualifizierung von Daten zu Informationen. Hier haben Daten lediglich ein Informationspotential und werden erst in ihrer Verwendung zu Informationen (Kuhlen et al., 2004, S. 3; Roumois, 2007, S. 34).

²⁰ Die Zeichen sind dabei nicht auf eine schriftliche Repräsentationsform beschränkt, sondern können auch als Bitmuster (z. B. Digitalspeicher) oder Impulsfolgen (z. B. Morsealphabet oder Rauchzeichen) vorliegen.

²¹ weit verbreiteter 7-Bit-Zeichensatz.

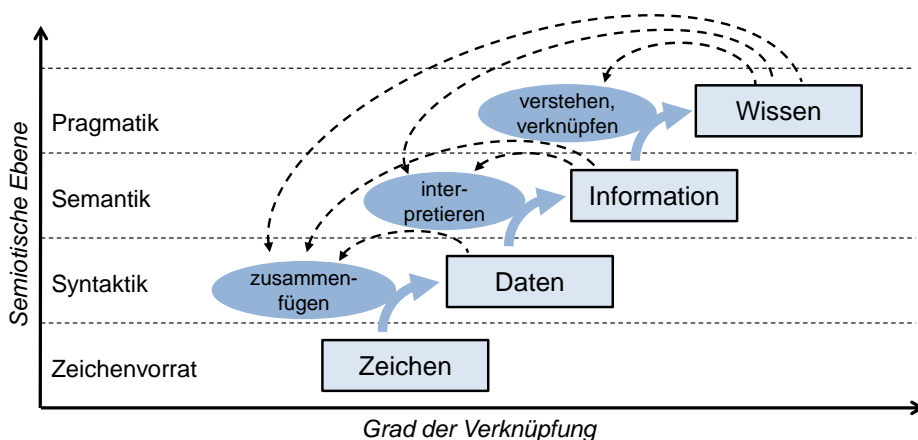


Abbildung 6: Begriffshierarchie der Semiotik und deren Rückkopplungen²²

Konsens der beiden Herangehensweisen ist jedoch, dass Informationen subjektiv wahrnehmbare Kenntnisse über Sachverhalte oder Gegenstände transportieren, durch Zuordnung eines Problembezuges zur Entscheidungsfindung und Problemlösung beitragen sowie zur Vorbereitung und Durchführung von Handlungen und Entscheidungen dienen können (Herrmann, 2010, S. 171). Weitere detaillierte Informationen über die Charakteristika und verschiedenen Sichten von Informationen finden sich unter (Picot, 1988, S. 227f.).

Wenn Informationen als relevant erkannt, verarbeitet und durch logische Zusammenhänge verknüpft werden, entsteht *Wissen* (Roumois, 2007, S. 35). Zusätzlich zur Vernetzung auf semantischer Ebene bedingt die Erzeugung von Wissen auch die Analyse und Interpretation auf pragmatischer Ebene. Nach weit verbreiteter Meinung findet dieser Prozess stets im Bewusstsein von Individuen statt und kann nicht vollständig automatisiert werden (North und Güldenbergs, 2008, S. 24; Ismail, 2011, S. 14ff.). Durch Wissen können neue Informationen erzeugt werden (z. B. durch Data Mining) und Lösungen für Probleme gefunden werden, weshalb PROBST (Probst et al., 2006, S. 46) zielorientiert definiert: „Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen“. Bezüglich der Übertragbarkeit wird unterschieden in *implizites* und *explizites* Wissen. Implizites Wissen ist personengebunden, bildet das Produkt der lebenslangen Interaktion des Menschen mit der Umwelt und ist daher nur in dessen Kopf existent. Es gilt damit sowohl als subjektiv als auch intangibel und kann daher nicht direkt formalisiert werden (Probst et al., 1999, S. 46; Roumois, 2007, S. 34). Dagegen hat explizites Wissen einen methodisch-systematischen Charakter und ist mit Mitteln der Informations- und Kommunikationstechnik formalisierbar, speicherbar und übertragbar (Herrmann, 2010, S. 172; North und Güldenbergs, 2008, S. 24; Wyssusek und Ahrens, 2004, S. 29). GRONAU (2001, S. 153) bezeichnet Wissen als „personenbezogene Expertise, die teilweise durch Explizierung in Information umgewandelt werden kann“. Ein direkter Wissenswert kann sichtbar werden, wenn Wissen

²² angelehnt an (Voß und Gutenschwager, 2001)

in Können umgesetzt und in entsprechendem Handeln angewendet wird. Die Fähigkeit dieser Umsetzung wird als *Kompetenz* bezeichnet und konkretisiert sich im Moment der Wissensanwendung (North und Guldenberg, 2008, S. 25).

Aus dem semiotischen Modell der Begriffsdefinitionen entsteht der Eindruck, dass es eine direkte Ableitung von einer Stufe zur nächsten gibt. Sowohl für die Überleitung von Daten zu Informationen als auch für die Ableitung von Wissen aus Informationen sind aber durchaus Rückkopplungen der übergeordneten Stufen notwendig. Sowohl die Anwendung von Syntaxregeln auf Zeichen, die Verwendung des Kontextes zur Generation von Informationen als auch die Interpretation von Daten und die Verknüpfung von Informationen basieren auf vorhandenem Wissen und vorhandenen Informationen (Dippold, 2005, S. 230). In der Abbildung 6 wird dieser Zusammenhang durch gestrichelte Pfeile verdeutlicht. Eine ausführliche Abgrenzung weiterführender sinnverwandter Begriffe wie z. B. *Weisheit* und *Intuition* gibt LEHNER (2012, S. 51ff.)

Modelltheorie

Für viele Fragestellungen der Praxis und der Wissenschaft ist die Komplexität der Realität zu hoch, um effizient Zusammenhänge zu erkennen und zu analysieren. Daher beschränkt man sich für die Betrachtung von verschiedenen Aspekten der Realität auf einen als relevant eingeschätzten Ausschnitt der Umwelt, den sog. *Diskursbereich* (Thomas, 2005, S. 15). Um ein mentales Abbild dieses Ausschnittes, das durch Interpretation und Abstraktion erzeugt wurde, zu übermitteln oder zu archivieren, muss es geeignet formalisiert werden. Ein wesentliches Hilfsmittel hierbei sind Modelle, die Komplexität reduzieren, indem sie die Betrachtung auf festgelegte Aspekte und dafür relevante Merkmale beschränken (Rommelspacher, 2011, S. 34). Gleichwohl wird der Modellbegriff in den Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften uneinheitlich verwendet (Maier und Lehner, 1995, S. 27; Stachowiak, 1973, S. 128ff.; Thomas, 2005, S. 11ff.). Für eine disziplinunabhängige Verwendung des Modellbegriffs schlägt STACHOWIAK (1983) eine allgemeine Modelltheorie im Sinne der Semiotik vor, die ein Modell definiert als „X ist Modell des Originals Y für den Verwender v in der Zeitspanne t bzgl. der Intention Z“ (Stachowiak, 1983, S. 118). Modelle ersetzen ihre Originale für bestimmte modellbenutzende Subjekte innerhalb bestimmter Zeitintervalle und unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.²³ In Anlehnung an die Mengentheorie wird als *Abbildung* die Zuordnung von Originalmerkmalen zu Modellmerkmalen verstanden. Dabei wird zwischen isomorphen und homomorphen Abbildungen unterschieden. Während Isomorphie eine maximale strukturelle Ähnlichkeit zwischen Modell und Original erzeugt, wo für jedes Originalelement ein entsprechendes Modellelement existiert, wird durch Homomorphie eine verkürzte Abbildung des Originals beschrieben, in der nicht alle Elemente des Originals abgebildet werden. Homomorphe Abbildungen erfassen somit nur die Attribute des Originals, die bezüglich einer Modellintention als relevant erachtet werden. Die durch das Modell nicht repräsentierten Merkmale des Originals werden

²³ Wobei der Begriff des Originals sowohl natürliche als auch künstliche Sachverhalte umfasst, die ihrerseits selbst wieder Modelle sein können (Stachowiak, 1983, S. 118).

als präteriert, darüber hinaus nur im Modell existierende Merkmale als abundant bezeichnet (vgl. Abbildung 7).

Definitionen 1 (Modell) *Ein Modell ist ein (meist homomorphes) Abbild der Realität, das durch Beschränkung der betrachteten Merkmale die Komplexität verringert.*

Im Rahmen dieser Arbeit werden Modelle als Artefakte betrachtet, die für einen bestimmten Zweck einen Ausschnitt der Realwelt abbilden und zur Lösung von identifizierten Problemstellungen intendiert sind. Dabei ist zu beachten, dass komplexe Probleme (z. B. Bauplanungsprozesse) oft nicht mit einem einzigen Modell gelöst werden können. Hierzu ist eine Vielzahl von Modellen nötig, die sich auf verschiedene festgelegte Problemaspekte fokussieren.

Daten können erst Nutzen und Mehrwert stiften, wenn sie als Informationen erkannt werden und daraus Wissen abgeleitet und angewendet wird. Ebenso wie bei den klassischen Produktionsfaktoren besteht dabei die Notwendigkeit, dass die Daten zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort (im Produktionsprozess oder beim Wissensträger) zur Verfügung stehen (Dippold et al., 2005, S. 258). Daraus entsteht die Notwendigkeit, Daten in übertragbare Einheiten zu strukturieren. Durch die Verwendung von *Datenmodellen* werden Sachverhalte eines abgegrenzten Anwendungsbereichs für eine maschinelle Verarbeitung und Speicherung durch konkrete Datenwerte beschrieben (Dippold et al., 2005, S. 98).

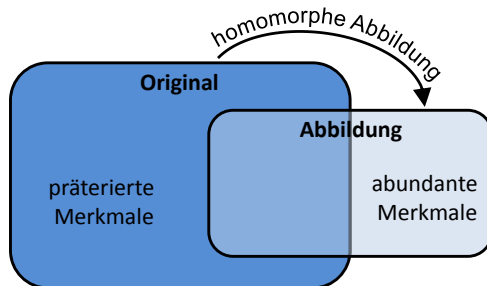
Definitionen 2 (Datenmodell) *Ein Datenmodell beschreibt den Sachverhalt eines abgegrenzten Anwendungsbereiches durch konkrete Datenwerte.*

Eine breite Verwendung finden relationale (z. B. ER-Modell), logische (z. B. deduktive Datenbankmodelle) oder objektorientierte Datenmodelle (z. B. OOP). Der Aufbau eines Datenmodells wird durch ein Datenmodellschema definiert. Während Datenmodelle Sachverhalte der Realität durch konkrete Datenwerte repräsentieren, beschreiben Datenmodellschemas die Eigenschaften und strukturellen wie funktionalen Beziehungen der Datenobjekte des Modells.

Eine *Modellierungsmethode* legt die Vorgehensweise zur Erstellung eines Modells fest, insbesondere die Teilschritte der Modellierung. Für die Erfassung und Repräsentation von Modellen wird eine *Modellierungssprache* benötigt. Diese besteht aus einer Menge sprachlicher Konstrukte und unterliegt vielfältigen Kombinationsregeln und muss dabei eine für ihren Anwendungsbereich ausreichende Ausdrucksstärke besitzen (Fettke, 2009, S. 20). Zusätzlich steht jede Modellierung in einem bestimmten *Modellierungskontext*, der durch eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren bestimmt ist (z. B. Intention, Zielsystem, Standards).

Häufig genutzte Modellierungssprachen sind Datenflussdiagramme, Ablaufdiagramme und Struktogramme.

Analog zur Abgrenzung der Begriffe *Daten* und *Informationen* unterscheiden einige Autoren zwischen *Daten-* und *Informationsmodellen*. Allerdings wird der Begriff der Informationsmodelle in der Literatur sehr uneinheitlich verwendet (Fettke, 2009, S. 3; Schütte, 1998, S. 432; Wolf, 2001, S. 46–56).

Abbildung 7: Homomorphe Abbildung²⁴

Insbesondere in der Betriebswirtschaft wird der Terminus als ein Oberbegriff für eine Reihe spezieller Modelle für die Gestaltung und den Entwurf von betrieblichen Informationssystemen verstanden (Picot und Maier, 1994, S. 107; Teubner, 1999, S. 53 f.; Vom Brocke, 2006, S. 26 f.). Andere Autoren rücken die Informationsmenge in den Mittelpunkt der Betrachtung und definieren Informationsmodelle als „Zusammenfassung von Informationsmengen anhand fachlichen Kriterien“ (Huhnt, 2003, S. 91). Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Modellart als *Fachmodell* bezeichnet.

Definitionen 3 (Fachmodell) *Ein Fachmodell ist ein Datenmodell, das Daten und ihre Beziehungen für einen speziellen Fachbereich beschreibt.*

Baufachanwendungen

Im Bauwesen erstreckt sich die Softwareunterstützung sowohl über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks als auch über alle organisatorischen und arbeitstechnischen Bereiche der beteiligten Unternehmen. Dabei haben sich neben der Verwendung herkömmlicher Büroanwendungen zahlreiche bauspezifische Informationssysteme durchgesetzt, deren Funktionsumfang sich an den typischen Anforderungen der domänenspezifischen Aufgabenbereiche der verschiedenen Projektphasen orientiert (Günthner und Borrmann, 2011, S. 35; Vanderhaeghen, 2007, S. 19). Diese Softwarelösungen sind durch eine große Heterogenität gekennzeichnet und werden unter dem Begriff *Baufachanwendungen* zusammengefasst.

Definitionen 4 (Baufachanwendung) *Eine Baufachanwendung ist eine Softwareanwendung, die eine Bearbeitung fachspezifischer Aufgabenstellungen im Bauwesen unterstützt.*

Baufachanwendungen werden anhand ihrer Hauptaufgabenbereiche den Klassen Entwurf und Konstruktion, Kosten- und Vertragsmanagement sowie Termin- und Kapazitätsmanagement zugeordnet, wobei sie sich in ihrem Leistungsumfang teilweise überschneiden können (Greiner et al., 2005, S. 117; Keller, 2007, S. 27 ff.; Schapke et al., 2007, S. 52 ff.)

²⁴ nach (Stachowiak, 1973, S. 157)

- *Fachanwendungen für Entwurf und Konstruktion* umfassen sowohl domänenspezifische CAD-Anwendungen für Entwurf und Konstruktion als auch CAE-Software für statische, bauphysikalische oder geotechnische Berechnungen und Simulationen von Bauwerken.
- *Fachanwendungen für Kosten- und Vertragsmanagement* bezeichnen Fachanwendungen für die baubetriebliche Planung und das Controlling der Geschäftsprozesse. Sie unterstützen die Erstellung von Leistungsbeschreibungen, Kostenberechnungen und Verträgen. Dabei wird unterschieden zwischen Kalkulationssoftware (z. B. Kosten-, Vertrags- und Terminmanagement, Mengenkalkulation, ERP- und PPM-Systeme) und AVA-Software²⁵.
- Fachanwendungen für Termin- und Kapazitätsmanagement unterstützen die Bauablaufplanung durch Terminplanungssysteme, durch die Bestimmung von Auslastungsgraden von Mitarbeitern und Maschinen sowie durch die Entwicklung alternativer Ablaufpläne zur Optimierung der Ressourcenverteilung. Insbesondere werden durch Projektmanagementsoftware Planungsaufgaben wie Büroorganisation, Zeitplanung und Personalmanagement begünstigt. Die Arbeitsabläufe in den Unternehmen werden durch spezielle Workflow-Management-Anwendungen organisiert.
- *Fachanwendungen für das Facility Management* unterstützen das Gebäudemanagement während der Nutzungsphase des Bauwerkes (z. B. Instandhaltung und Verwaltung).

Die Tabelle 1 ordnet ausgewählten Baufachanwendungen ihre Fachanwendungsdomäne zu. Dabei erhebt diese Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern repräsentiert lediglich einen groben Querschnitt der Softwaresystemlandschaft im Bauwesen als Orientierungshilfe.

Baufachmodelle

Die durch Fachanwendungen erstellten und bearbeiteten Fachmodelle können physische und funktionale Informationen sowohl über existierende oder geplante Bauobjekte als auch über die Organisation und Zusammenarbeit der Projektpartner enthalten. Diese Planungs- und Controlling-Informationen werden in verschiedene bauspezifische Datenmodelle gesplittet (z. B. Bauwerksmodell, Kostenmodell, Terminmodell etc.) und als Baufachmodelle bezeichnet (Scherer und Schapke, 2011). Die Grundlage für die Planung und Ausführung verschiedener Teilbereiche eines Bauwerkes bilden verteilte Baufachmodelle, die Projektpartner untereinander komplett oder als Partialmodelle austauschen (Koch, 2008, S. 3 ff.; Schapke et al., 2007, S. 55 ff.; Scherer, 2014, S. 4 ff.)

²⁵ Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung

Tabelle 1: Baufachanwendungen verschiedener Domänen²⁶

Baufachanwendungen	Fachanwendungsdomänen				
	Entwurf und Konstruktion	Kosten- und Vertragsmanagement	Termin- und Kapazitätenmanagement	Kollaborations-, Handels- und Informationsportale	Simulationen
AECOsım, Bentley Systems (www.bentley.com/de-DE/Products/AECOsım+Building+Designer/)					
Allbudget, BIB GmbH (www.bib-gmbh.de/)					
ArchiCAD, Graphisoft (www.graphisoft.de/archicad/archicad/)					
ArCon, Eleco Software (www.arcon-software.com/)					
AstaPowerproject, Asta Development (www.astadev.de/)					
AX3000, EDV Software Service (www.klima2000.co.at/)					
Bentley Architecture, Microstation (www.bentley.com/de-DE/Products/Bentley+Architecture/)					
Building Design Suite, Autodesk (www.autodesk.de/suites/building-design-suite/)					
California.pro, G&W Software (www.gw-software.de/)					
Chief Architect, Chief Architect (www.chiefarchitect.com/)					
Digital Project, Gehry Technologies (www.gehrytechnologies.com/digital-project)					
Envisioneer, Cadsoft Corporation (www.cadsoft.com/v8.php)					
iTWO (RIB Software AG) (www.rib-software.com/itwo)					
NemetschekAllplan und Nevaris (Nemetschek Auer) (www.nemetschek-allplan.de/)					
Nemetschek BIM+ (www.nemetschek-allplan.de/)					
Orca AVA (Orca Software) (www.orca-software.com)					
Primavera (Primavera Systems) (www.primavera.com)					
Revit Structure, Architecture, MEP (Autodesk) (www.autodesk.de/products/autodesk-revit-family/)					
SimTread (ComputerWorks2013) (www.computerworks.de/produkte/vectorworks/)					
Synchro Professional (Synchro Ltd) (synchro ltd.com/shop/synchro-professional/)					
Tekla Structures, BIMsight (Tekla Corporation) (www.tekla.com/de/produkte/tekla-structures)					
ThermCAD (ROWA-Soft) (www.rowa-soft.de)					
untermStrich X (untermStrich Software) (www.untermstrich.com/)					
Vectorworks, interiorcad (ComputerWorks) (www.vectorworks.net/)					

²⁶ Auf die angegebenen Referenzen wurde am 14. April 2014 erfolgreich zugegriffen.

Definitionen 5 (Baufachmodell) *Ein Baufachmodell ist die Ausprägung eines Datenmodells einer oder mehrerer Baufachanwendungen.*

Baufachmodelle beschreiben somit Bauwerk, Bauleistung und Vorgänge, wobei die verschiedenen Baufachanwendungen unterschiedliche native Datenmodelle²⁷ und Austauschformate verwenden. Diese beruhen meist auf proprietären (ggf. standardisierten) Datenspezifikationen, unterschiedlichen Abstraktionsgraden und Detaillierungstiefen sowie impliziten Annahmen über die Modellobjekte (Hauschild, 2003, S. 15). In Abhängigkeit von der Varianz und Komplexität der Aufgabenstellungen und der verwendeten Baufachanwendungen haben sich verschiedene Baufachmodelle entwickelt, deren syntaktischer und struktureller Aufbau durch zugeordnete *Baufachmodelltypen* charakterisiert werden kann (z. B. kann ein IFC-Baufachmodell vom Baufachmodelltyp Gebäudemodell sein und ein Bauwerk beschreiben). Allerdings besitzen nicht alle Fachmodelltypen ein formales Schema, sie können auch informal beschrieben sein (Fuchs, 2014, S. 20).

Tabelle 2: Fachmodelle und Dateiformate²⁸

Modelldomäne	Inhalte	Strukturbestimmende Elemente
Bauwerksmodelle	Bauwerke mit funktionalen, geometrischen oder topologischen Eigenschaften	Bauwerkselement (z. B. Rohbau-, Bau-, Raum- oder Ausbauelement)
Baustellenmodelle	Infrastrukturelle Einrichtungen, Geräte und Baustoffe mit geometrischen, funktionalen und Leistungsparametern	Baustellenelement (z. B. Infrastrukturelement, Hilfsstoffelement, Baustoffelement oder Geräteelement)
Organisationsmodelle	Akteure sowie ihre Zuständigkeiten und Informationssysteme im Bauprojekt	Organisationselement (z. B. Organisationsrolle, Organisationseinheit)
Leistungsmodelle	Qualitative und quantitative Beschreibungen von Bauleistungen	Leistungselement
Kostenmodelle	Kostenansätze in Kostenplanung u. -steuerung, Kalkulation, Vergabe und Controlling	Kostenelement
Terminmodelle	Vorgänge, Ereignisse und ihre Beziehungen sowie zugehörige Ressourcen und Kalender	Zeitelement
Prozessmodelle	Vorgänge, Termine und Meilensteine	Prozesselement

²⁷ Die Modellbildung hat im Bauwesen eine lange Tradition. Erste Nachweise für Baufachmodelle fand Binding (1993) bereits in Texten aus dem 6. Jahrhundert v. Chr.: „Die griechischen Bauleute forderten ihre Baumeister auf, von jedem zu erbauendem Gebäude vorher ein Plan und ein kleines Muster zu bereiten, damit die Anfertigung der einzelnen Teile und Bauglieder leichter vonstatten gehe“ (Binding et al., 1993, S. 28 ff.)

²⁸ nach (Scherer, 2014)

Modelldomänen

In Analogie zur Domänenzuordnung der verwendeten Baufachanwendungen lassen sich auch Baufachmodelltypen in unterschiedliche Modelldomänen einteilen, wobei Modelle innerhalb einer Modelldomäne meist durch verschiedene Fachmodelltypen mit unterschiedlichen Datenformaten repräsentiert werden. Beispielsweise gibt es in der Modelldomäne der Leistungsmodelle unterschiedliche Teilmodelle für Leistungsbeschreibung, Mengenermittlung, Angebotsaufforderung, Angebotsabgabe und Auftragserteilung, die in verschiedenen Datenformaten ausgetauscht werden können. Tabelle 2 beschreibt verschiedene typische Fachmodelltypen in Bauprojekten (angelehnt an Scherer und Schapke, 2014, S. 23). Den verschiedenen Fachmodelltypen lassen sich unterschiedliche Fachmodelltypen zuordnen, wobei einige Modelltypen domänenübergreifend Anwendung finden. In Tabelle 3 werden Fachmodellschemata ausgewählter Fachmodelltypen ihren Fachmodelltypen zugeordnet. Aufgrund der Dynamik in der Bauinformatik gibt es keine erschöpfende Übersicht aller Baufachanwendungen und Datenformate. Daher erhebt auch diese Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll lediglich die Heterogenität der Fachmodelle im Bauwesen verdeutlichen. Ausgewählte Zusammenstellungen lassen sich finden in (Fuchs, 2014, S. 21; Eastman, 1999, S. 109 f.; Karimi und Akinci, 2009, S. 73).

Trends der Fachmodelle

Durch die Zunahme der Leistungsanforderungen, wie z. B. Umweltverträglichkeit, Wind- und Klimaberechnungen, technisch anspruchsvollere Ein- und Ausbauten, Erweiterung von Restriktionen und gesetzlichen Vorschriften, sowie durch ganzheitliche Betrachtungsziele erhöhen sich die Anforderungen an Exaktheit und Informationsmenge der verwendeten Baufachmodelle ständig (Eastman, 1999, S. 110; Schapke et al., 2007, S. 36; Scherer, 2014, S. 91; Both, 2006, S. 136). Daher lässt sich bei der Betrachtung der Qualität aktueller Baufachmodelle, insbesondere der Bauwerksmodelle, eine wachsende Komplexität konstatieren. Die Abbildung 8 illustriert diesen Sachverhalt. Durch die Zunahme der Aufgabenfelder bei der Bauplanung und -ausführung wächst zudem die Vielfalt der Baufachmodelle (Chahrour, 2007, S. 50).

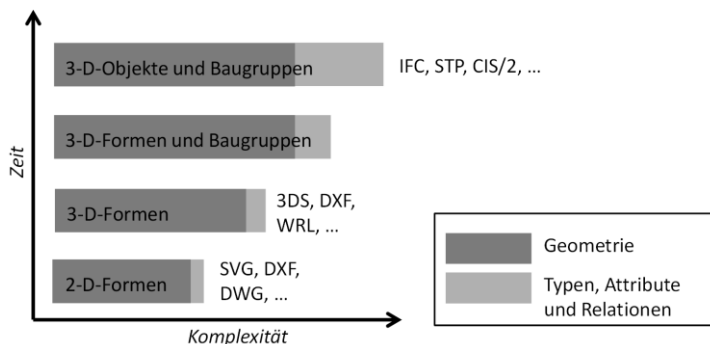


Abbildung 8: Zunahme der Komplexität von Bauwerksmodellen²⁹

²⁹ nach (Eastman, 1999)

Tabelle 3: Domänen verschiedener Fachmodellschemata

Fachmodellschema	Modelldomäne						
	Bauwerksmodelle	Baustellenmodelle	Organisationsmodelle	Leistungsmodelle	Kostenmodelle	Terminmodelle	Prozessmodelle
AEX Automating Equipment Information Exchange							
bcXML Building and Construction XML							
BPC BIM for Precast Concrete							
CityGML City Geography Markup Language							
cpixml Construction Process Integration							
Datanorm Artikelstammdatenformat							
DXF Drawing eXchange Format							
Energy Plus Wetterdatenformat							
IFC Industry Foundation Classes							
IFC-Bridge Industry Foundation Classes for Bridges							
IGES Initial Graphics Exchange Specification							
ISYBAU abwassertechnische Anlagen							
KML Keyhole Markup Language							
LandXML Land Extensible Markup Language							
LDAP Lightweight Directory Access Protocol							
OBIX Open Building Information Exchange							
SensorML Sensor Model Language							
STEP Standard for Exchange of Product Model Data							
GAEB D80-89							
GAEB DA11							
GAEB DA84							
MS-Excel							
MS-Project							

Interdependenzen der Fachmodelle

Viele Aufgabenstellungen eines Bauprojektes (z. B. Angebotsbearbeitung) benötigen fachmodellübergreifende Informationen. Dadurch entstehen inhaltliche Abhängigkeiten der verschiedenen Baufachmodelle untereinander. Beispielsweise tauchen Elemente der Angebotsplanung später in Baufachmodellen der Ablaufplanung wieder auf. In der Literatur finden sich drei Typen von Interdependenzen zwischen Baufachmodellen (Scherer und Schapke, 2011, S. 586). Die Abbildung 9 stellt die verschiedenen Interdependenzen dar.

- *Vertikale Interdependenzen* beschreiben die Bezüge zwischen Fachmodellen unterschiedlicher Detaillierung (Level of Detail). Häufig werden beispielsweise in der Planung detaillierte Fachmodelle aus bestehenden, größeren Modellen „top-down“ abgeleitet (z. B. Ausführungsterminplan aus Rahmenterminplan). Für Controlling-Zwecke werden wiederum Informationen detaillierterer Fachmodelle zu Kennzahlen zusammengefasst und in einem „bottom-up“-Ansatz strukturell verdichtet.

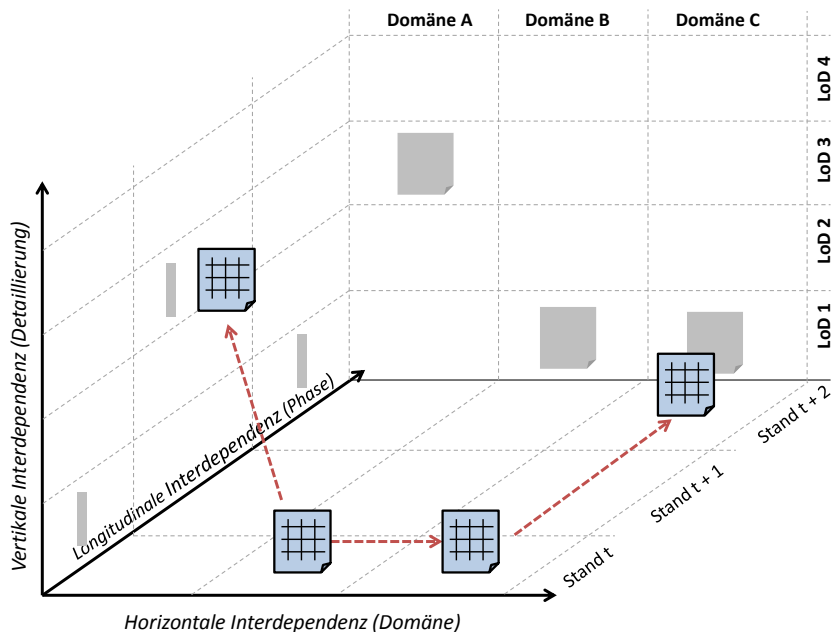


Abbildung 9: Verschiedene Interdependenzen zwischen Fachmodellen

- *Horizontale Interdependenzen* treten häufig zwischen Fachmodellen unterschiedlicher Fachdomänen auf, in denen ähnliche Aspekte derselben Elemente unterschiedlich repräsentiert werden (z. B. Geometrie, Kosten oder Termine). Beispielsweise sind Fachmodelle für den Rohbau abhängig von Fachmodellen der technischen Gebäudeausstattung (Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektroinstallation etc.), wenn z. B. Schlitzte, Durchbrüche, Leitungsführungen notwendig sind. Horizontale Interdependenzen können aber auch zwischen Fachmodellen unterschiedlicher Formalisierungen in derselben Domäne auftreten, wie beispielsweise zwischen zwei Bauwerksmodellen in unterschiedlichen Granularitäten.
- *Longitudinale Interdependenzen* beschreiben die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Versionen eines Fachmodells im Verlauf des Bauwerkslebenszyklus. Insbesondere Änderungen, Verfeinerungen und Ergänzungen, die von den Akteuren im Laufe der Bearbeitung an den Fachmodellen vorgenommen werden, sind hier zu beachten.

Darüber hinaus können verschiedene Bearbeitungsprozesse auch durch unabhängige Fachmodelle unterstützt werden, wenn sich unterschiedliche Sachverhalte anhand anderer Fachmodelle anschaulicher darstellen lassen. Insbesondere für die Orientierung können Bauwerksmodelle in anderen Modelldomänen eine wertvolle Hilfe darstellen (Tulke, 2010, S. 2). Tabelle 4 stellt stark vereinfacht die Synergiepotentiale der einzelnen Fachmodelldomänen in Bezug zu den Anwendungsdomänen dar.

Tabelle 4: Unterstützungsfunktion der Modelldomänen

Modelldomänen	Softwaredomänen			
	Entwurf und Konstruktion	Kosten und Vertragsmanagement	Termin- und Kapazitätsmanagement	Kollaborations-, Handels- und Informationsportale
Bauwerksmodelle	■	■	■	■
Baustellenmodelle	■	■	■	■
Organisationsmodelle	■	■	■	■
Leistungsmodelle	■	■	■	■
Kostenmodelle	■	■	■	■
Terminmodelle	■	■	■	■
Prozessmodelle	■	■	■	■

Trends der Forschung zur Standardisierung von Baufachmodellen

Im Forschungsbereich der Bauinformatik existieren schon länger Bestrebungen, Baufachmodelle zu standardisieren, um die Heterogenität in interdisziplinären Bauprojekten einzudämmen. Dabei lassen sich zwei Entwicklungsrichtungen identifizieren. Auf der einen Seite wird in verschiedenen „top-down“-Ansätzen versucht, durch eine Standardisierung des Datenaustauschs alle Aspekte des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes und damit die Daten für alle Projektbeteiligten in einem *integrierten Modell* (sog. Projektmodell) abzubilden (Beetz, 2009; Tauscher, 2011; Tulke, 2010). Entsprechend der Grundannahme, dass sich Projektinformationen explizit oder implizit immer einem Bauwerk zuordnen lassen, fokussiert dieser Ansatz auf die Standardisierung von digitalen Bauwerks- oder Produktmodellen. Diese *Building Information Models* (BIM) unterstützen die Kooperation im Bauwesen durch offene, herstellerunabhängige und domänenübergreifende Datenstandards für Austausch, Archivierung, Vergleiche und Integration von Bauwerksinformationen. Als offener Datenstandard für BIM haben sich die *Industry Foundation Classes* (IFC)³⁰ etabliert, die eine Integration zahlreicher Anwendungsdomänen durch die Beschreibung geometrischer, zeitlicher und kaufmännischer Aspekte unterstützen. Fachmodellinterdependenzen werden modellintern abgebildet und mit dem integrierten Modell übertragen. Da viele domänenspezifische Problemstellungen nur Teile der IFC-Elemente nutzen, kann allerdings nicht sichergestellt werden, dass ein IFC-Modell einer Problemstellung immer auch die erforderlichen Informationen für eine andere Problemstellung enthält. Aus diesem Grund wurden weitere ergänzende Datenspezifikationen und Modellierungstechniken entwickelt. Das *Information Delivery Manual* (IDM)

³⁰ Die *Industry Foundation Classes* (IFC) sind eine Produktmodell-Spezifikation für die Bauindustrie, die von der International Alliance for Interoperability (IAI) entwickelt wurde und 2004 von der International Organization for Standardization (ISO) offiziell als Spezifikation ISP/PAS 16793 akzeptiert wurde (ISO, 2004).

beschreibt inhaltliche Anforderungen an unterschiedliche Fachmodelle in Bauprojekten, und *Model View Definitions* (MVD) definieren spezielle Modellsichten (Chipman et al., 2013). Zusätzlich dient das *BIM Collaboration Format* dazu, Modellkommentare auszutauschen (Stangeland, 2011). Der Ansatz der Integration mehrerer Domänenmodelle in einem zentralen Modell wird in der Literatur rege diskutiert und bezüglich der Kompatibilität, Größe, Komplexität und Inflexibilität (gegenüber Änderungen) kritisiert (Chahrour, 2007, S. 50; Kiviniemi und Adviser-Fischer, 2005, S. 41). Insbesondere wird thematisiert, dass verschiedene Fachdisziplinen unterschiedliche Teilmengen des Projektmodells mit spezifischen Strukturen und Informationen zur Aufgabebearbeitung benötigen (Kam und Fischer, 2004, S. 41; Rebolj et al., 2002, S. 1). Es wird weitgehend bezweifelt, dass sich ein Gesamtmodell finden lässt, das alle Lebenszyklusphasen eines Bauwerkes und Projektphasen eines Bauprojektes vollständig abdeckt sowie die Informationsprozesse aller Fachdisziplinen gleichermaßen unterstützt (Katranuschkov et al., 2001; Turk und Scherer, 2001). Aus diesem Grund versucht eine andere aktuelle Forschungsrichtung, über einen „bottom-up“-Ansatz durch unabhängige minimalistische Standardisierung der einzelnen Fachmodelltypen eine maximale Flexibilität zu bewahren (Kiviniemi und Adviser-Fischer, 2005, S. 42; Schapke, 2011, S. 2). Vertreter dieser Entwicklungsrichtung sind beispielsweise die Formate *landXML* und *gbXML*. In heterogenen Fachmodellen können neue Anforderungen und Aspekte leichter und schneller abgebildet werden. Bei der Verwendung des Ansatzes der heterogenen, verteilten Fachmodelle existiert kein zentrales führendes Fachmodell (Scherer und Schapke, 2014, S. 373). Somit müssen die Fachmodellinterdependenzen modellextern durch eine übergeordnete Verknüpfung formalisiert werden. Dafür gibt es verschiedene Ansätze. WILLENBACHER UND HÜBLER (2004) schlagen eine linkbasierte Integrationsplattform zur Verknüpfung verteilter Partialmodelle vor. REBOLJ UND TIBAUT (2002) verwenden ein Metadatenmodell zur Formalisierung von Verknüpfungen eines lose gekoppelten virtuellen Produktmodells. FUCHS (2012) beschreibt ein generisches Multimodell aus lose verknüpften Fachmodellen, in dem Abhängigkeiten durch Linkmodelle repräsentiert werden. Da sich Multimodelle zur Beschreibung kontextgerechter Informationsräume eignen wird dieser Ansatz in dieser Arbeit weiter vertieft.

2.1.3 Interoperabilität der Informationslogistik im Bauprojekt

Ein erfolgreicher Informationstransfer bedingt stets die Verwendbarkeit der ausgetauschten Informationen beim Empfänger. Dafür dürfen die empfangenen Informationen weder unverständene Details beinhalten noch fehlenden Zweckbezug oder zu große Vagheit aufweisen. In Kapitel 2.1.2 wurde die historisch und strukturell bedingte Heterogenität der Anwendungen und Fachmodelle im Bauwesen beschrieben. Damit unter diesen Rahmenbedingungen die Interpretation der ausgetauschten Informationen bei allen Beteiligten zu einem einheitlichen Verständnis führt, ist es nötig, eine ausreichende Interoperabilität zwischen den verteilten Projektpartnern und deren Fachanwendungen zu erreichen.

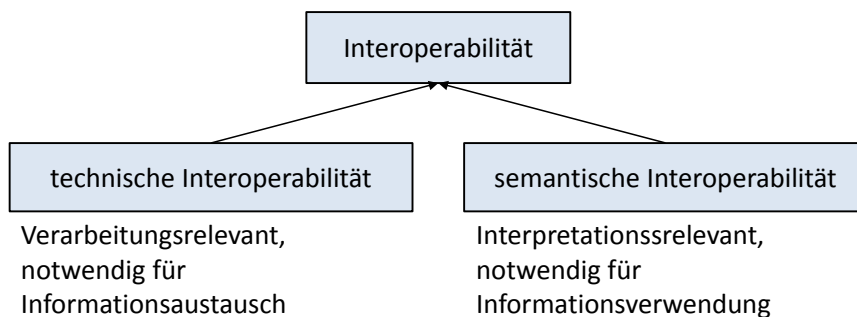


Abbildung 10: Ebenen der Interoperabilität³¹

Interoperabilität wird dabei unterschieden in eine *technische Ebene*³², die den syntaktisch fehlerfreien Austausch der Informationen beschreibt, und eine *semantische Ebene*, die eine semantisch korrekte Interpretation im jeweiligen Kontext betrachtet. Abbildung 10 verdeutlicht diese beiden Ebenen entsprechend der Definition des Interoperabilitätsbegriffes durch die IEEE (IEEE, 1990). Für einen erfolgreichen Informationstransfer müssen beide Ebenen beachtet werden.

Im Allgemeinen werden die Informationen unterschiedlicher Domänen durch Fachexperten aus dieser Domäne (implizit oder explizit) beschrieben. Dabei behindern die verschiedenen domänenspezifischen Konventionen und Vokabulare eine domänenübergreifende einheitliche Bewertung des Informationsangebotes, da Begrifflichkeiten und Konzepte in den unterschiedlichen Domänen ungleich belegt sind. Dies führt zu einer semantischen Vagheit oder Unbestimmtheit der übertragenen Fachmodelle, die bei jeder interdisziplinären Bearbeitung durch eine aufwendige intellektuelle Erschließung durch ggf. domänenfremde Akteure behoben werden muss (Kamphusmann, 2001, S. 83). Dabei bilden sich zwischen Akteuren aus verschiedenen Fachgebieten leicht psychologische Kommunikationsbarrieren, die eine effiziente Kollaboration im Projektgeschehen verhindern. Aufgrund unterschiedlicher Werdegänge und Wissenshintergründe filtern und interpretieren die handelnden Akteure Informationsinhalte entsprechend ihren Erwartungen und Motiven. Diese subjektive selektive Wahrnehmung kann dazu führen, dass Metadaten uneinheitlich interpretiert und gleiche Kommunikationsinhalte verschiedenen Bedeutungen zugeordnet werden (Wastian et al., 2009, S. 67). Insbesondere wenn der Autor und ein Nutzer einer Informationsressource unterschiedliche Begriffe für umfangs- und inhaltsgleiche Konzepte verwenden (Synonyme) oder umfangs- und inhaltsverschiedene Konzepte gleich benennen (Homonyme), können widersprüchliche, unkorrekte und unpräzise Aussagen entstehen. Die Abbildung 11 stellt eine Typologie semantischer Unbestimmtheit dar. Für eine effiziente Informationslogistik ist es

³¹ nach (Ingenerf, 2007).

³² In der Literatur wird zusätzlich die technische Ebene oft unterteilt in eine syntaktische und eine strukturelle Interoperabilität. So z. B. in (ICH, 2004). Darauf wird hier verzichtet.

notwendig, die Informationsbeschreibung dermaßen zu präzisieren, dass eine homogene Interpretation durch alle Beteiligten erfolgen kann. Notwendige Basis dafür ist eine konsistente Begriffswelt, deren verbindliche Verwendung vereinbart und kontrolliert wird.

Eine semantische Interoperabilität, durch die ausgetauschte Informationen sowohl für den Sender als auch für den Empfänger gleichermaßen bewertbar und verwendbar werden, kann durch Verwendung eines *kontrollierten Annotationsvokabulars*³³ unterstützt werden, das von allen beteiligten Akteuren und Anwendungen in konsistenter Weise für die Beschreibung von Informationsressourcen verwendet wird. Solch ein Annotationsvokabular kann die unterschiedlichen domänenspezifischen Terminologien der beteiligten Fachrichtungen abgleichen und damit verschiedene Beschreibungsmodelle homogenisieren. Dabei reicht es oft aus, lediglich eine informationslogistisch relevante Schnittmenge aller Konzepte abzubilden. Eine semantische Beschreibung von Fachmodellen kann dabei sowohl auf Ebene der Metadaten als auch auf Ebene der Modellinhalte stattfinden, weswegen hier unterschiedliche Bezeichnungen für die eingesetzten Techniken existieren (Scherer, 2014, S. Kapitel A1).

Während bei der Attributierung der Modellinhalte Merkmalskataloge³⁴ oder Merkmalskalen verwendet werden, wird die Annotation auf Metadatenebene durch Metadatenkataloge unterstützt. Beide Ansätze verwenden Annotationsvokabulare, die Vorgaben für verwendbare Attributnamen und deren Vokabular enthalten, und lassen sich in folgender Definition zusammenfassen:

Definitionen 6 (Annotationsvokabular) *Ein kontrolliertes Annotationsvokabular für Fachmodelle besteht aus Attributnamen, zugehörigen Attributwerten und der Beschreibung des Anwendungsbereiches.*

Bei der Beschreibung verschiedener Fachmodelle ist zu beachten, dass sowohl die Attributmenge als auch die Attributvokabulare modelltypabhängig bzw. elementtypabhängig sind. Beispielsweise kann die Modellgranularität eines Terminplans nicht auf dieselbe Art und Weise spezifiziert werden wie die eines Rohbaumodells.³⁵ Für die Beschreibung von Informationsressourcen existiert in der Informationswissenschaft eine Vielzahl von Klassifikationssystemen. Ausgehend von Metadaten nomenklaturen für die Beschreibung und Verwaltung bibliographischer Kataloge (z. B. das *information-and-documentation*-Format, ISO, 2008) erreichen Metadatenstandards für digitale Ressourcen eine zunehmende Verbreitung (z. B. *Dublin Core Metadata Element Set*, ISO, 2003).

³³ Alternativ werden häufig auch die Begriffe Metadatenkataloge und Metadaten-Nomenklaturen, Attributkataloge, Metadaten vokabulare und Merkmalskataloge verwendet.

³⁴ Für eine Beschreibung von Modellelementen existieren eine Vielzahl von spezifischen Vokabularen, Klassifikationen und Kodierungsschlüsseln. Insbesondere existieren in einigen Fachmodellformaten freie Klassifikationsattribute, die genutzt werden können, so z. B. die IFC-Merkmalskataloge für Bauwerkselemente.

³⁵ Auf diese Problematik wird in Abschnitt 3.1.3, Semantische Beschreibung von Multimodellen, S. 74 ff. näher eingegangen.

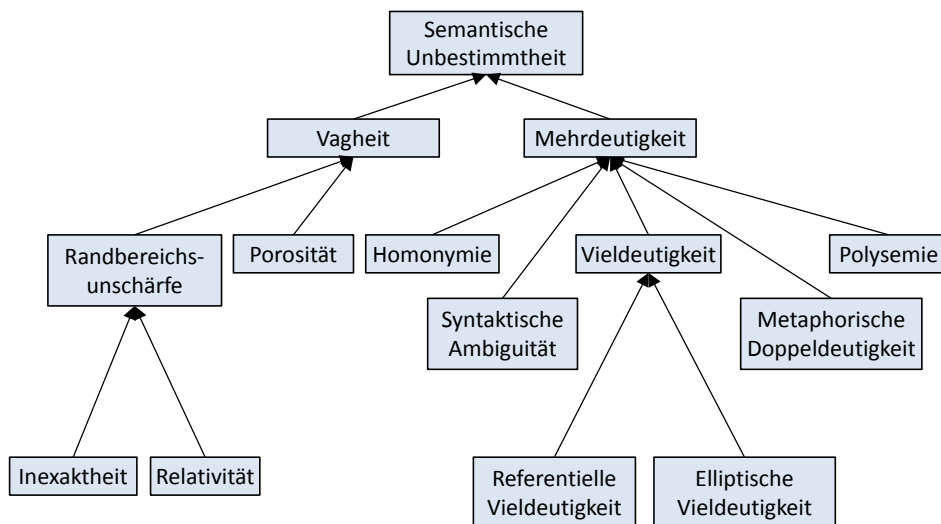


Abbildung 11: Typologie semantische Unbestimmtheit³⁶

Die Notwendigkeit der semantischen Interoperabilität wurde im Bauwesen schon recht früh erkannt³⁷. Dennoch existiert im deutschen Bauwesen keine branchenweit anerkannte Terminologie zur Beschreibung von Informationsressourcen, auf der ein allgemeingültiges Annotationsvokabular aufsetzen könnte (Scherer, 2014, S. B4). Die Begriffssysteme der verschiedenen Fachgebiete ergeben sich im Wesentlichen aus zahlreichen technischen Normen, in denen die Konzepte des jeweiligen Fachgebiets definiert werden (z. B. die Konzepte Scheibe, Wand oder Platte im Massivbau durch die DIN 1045). Diese liegen meist als kommerzielle Bausoftware oder als allgemein anerkannte Baustandards vor. Zur Strukturierung der Begriffssysteme existieren in den einzelnen Anwendungsbereichen verschiedene, z. T. standardisierte Klassifikationssysteme. Gebräuchlich sind sowohl rein nominale Kennzeichnungssysteme für Gewerke, Leistungsbereiche, Fachgebiete und Modelldomänen (z. B. STL B Bau³⁸, VOB³⁹, Teil C) als auch hierarchische und ordinale Klassifikationen für Projektphasen,

³⁶ nach (Pinkal, 1985, S. 91)

³⁷ Der Bedarf an einem einheitlichen gewerke- und organisationsübergreifenden Projektvokabular wurde bereits vor 3000 Jahren erkannt: „Jedesmal, wenn die in den Bauarbeiten geübten Stammesangehörigen zur Ausführung einer größeren Aufgabe zusammengerufen wurden, entstand eine Sprachverwirrung, die später zum System der symbolischen Bauarbeitersprache führte, so daß sich jeder Bauarbeiter durch Zeichen mit den übrigen verständigen konnte“ (Binding et al., 1993, S. 14).

³⁸ STL B Bau – Standardleistungsbuch für das Bauwesen, herausgegeben vom Gemeinsamen Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB). Weitere Informationen unter: <http://www.gaeb.de>.

³⁹ Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB, 2006).

Modelldetaillierungen oder Bearbeitungsstatus (z. B. HOAI⁴⁰, AHO⁴¹, DIN 6779-12⁴²). Darüber hinaus werden häufig projekt- oder unternehmensspezifische Attributkataloge verwendet (z. B. Planschlüssel).

International gibt es ebenfalls unterschiedliche Klassifikationssysteme zur Beschreibung von bauspezifischen Informationsressourcen. Viele dieser Terminologien folgen dabei allerdings meist länderspezifische Anforderungen, da die im Bauwesen zu beachtenden Regeln und Randbedingungen traditionsbedingt einen sehr lokalen Charakter besitzen. Rollen und Aufgaben sind länderspezifisch unterschiedlich verteilt. Während beispielsweise in Deutschland größtenteils die VOB⁴³ als Grundlage für Ausschreibungen verwendet wird und GAEB-basierte Datenaustauschphasen⁴⁴ vorgeschrieben werden, gibt es in anderen Ländern ebenfalls landesspezifische Regelungen und Aufgabenverteilungen. Seit Anfang der 90er Jahre wird im angloamerikanischen Raum die Bauklassifikation *OmniClass*⁴⁵ entwickelt und genutzt, die einen effizienten Informationsaustausch zwischen verschiedenen ISO-kompatiblen Klassifikationssystemen fokussiert. Im angelsächsischen Raum werden häufig die britischen Standards *BS 6100*⁴⁶ oder *CI/SfB* verwendet (Ray-Jones und Clegg, 1976). Zurzeit setzt sich auch immer mehr die *Unified classification for the Construction Industry* durch (Royal Inst. of British Architects, 1997). Die ISO-Norm 12006-2⁴⁷ erfährt in Europa wachsende Bedeutung und wird häufig als Grundlage unterschiedlicher nationaler Klassifikationssysteme verwendet (z. B. Großbritannien und Dänemark). In den Niederlanden wurde für den digitalen Austausch von Informationen innerhalb der Bau- und Konstruktionsindustrie mit der *LexiCon*-Taxonomie eine besondere Art von Klassifikationssystem entwickelt (Woestenenk, 2002).

⁴⁰ HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) (Hebel, 2013).

⁴¹ AHO – Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e. V. (www.aho.de).

⁴² DIN 6779, Teil 12: Bauwerke und technische Gebäudeausrüstung: Normenreihe für die Kennzeichnung technischer Produkte und Produktdokumentationen (DIN, 2011).

⁴³ Definiert in der VOB, Teil A: *Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen*, insbesondere den Datenaustausch in der Vergabephase normiert (VOB, 2006).

⁴⁴ GAEB gliedert sich in mehrere Phasen. Während die sog. 90er-Phasen den Datenaustausch zwischen Lieferanten und Bewerbern (bzw. Auftragnehmern) beschreiben, bilden die sog. 80er-Phasen (insbesondere X83 bis X86) den Kernprozess des Austausches von Leistungsverzeichnissen ab, wie sie in der VOB Teil A geregelt sind.

⁴⁵ Das *Omni-Class-Construction-Classification-System* (OmniClass) ist ein Klassifikationssystem, das unterschiedliche Bauinformationsfacetten abbildet. Es basiert auf den beiden Standards ISO 12006-2 und ISO 12006-3 (OCCS Development Committee, 2006).

⁴⁶ Die *Glossary of Building and Civil Engineering Terms* (BSI 6100) repräsentieren ein umfassendes Fachvokabular, das in einer Monohierarchie mit drei Ebenen gegliedert ist und über eine fünfstellige Indexnummer referenziert werden kann (BSI, 1984).

⁴⁷ ISO 12006-2 „Hochbau – Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Hoch- und Tiefbauten – Teil 2: Struktur für die Klassifizierung von Informationen“ .

Diese bietet eine Bibliothek, die auf Basis der Annotationsmethodik des ISO-12006-3-Standards entwickelt wurde und durch ihre semantische Ausdrucksstärke und die Möglichkeit, Querbezüge abzubilden, mehr als ein klassisches Klassifikationssystem darstellt. Die *Industry Foundation Classes* (IFC) beschreiben im Wesentlichen Bauobjekte, berücksichtigen aber auch verschiedene andere bauprojektspezifische Aspekte (Liebich et al., 2012). Es können Objekte und Relationen definiert werden, die konkrete und konzeptionelle Dinge der Planungs- und Ausführungsphasen abbilden. Hier ist allerdings ein Hinzufügen neuer Elementklassen nur sehr eingeschränkt möglich und ein domänenübergreifender Austausch von semantischen Ressourcen ist aufgrund der Modellierungssprache EXPRESS (ISO, 2004) und des Fehlens nichtkommerzieller Software nur sehr begrenzt möglich.

2.1.4 Zusammenfassung

Diese Arbeit fokussiert die Unterstützung interdisziplinärer Kollaborationsprozesse in Bauprojekten. Dafür wurden in diesem Abschnitt zunächst die Rahmenbedingungen herausgearbeitet, die für Projekte im Bauwesen prägend sind. Die Merkmale kollaborativer Informationsprozesse im Bauwesen lassen sich abschließend folgendermaßen zusammenfassen⁴⁸:

- Die Zusammenarbeit im Bauwesen ist gekennzeichnet durch modell-, format-, domänen- und organisationsübergreifende Informationsprozesse mit dezentralem Austausch der Baufachmodelle zwischen einer großen Anzahl Beteiligter (z. B. Architekten, Planer, Gewerke und Ämter).
- Die unterschiedlichen domänenspezifischen Informationen werden durch verschiedene heterogene Baufachmodelle abgebildet. Aufgrund der Diversität sowohl der Bauprojekte als auch der Bauwerke ist die Nutzung eines integrierten allumfassenden Datenmodells für alle Planungs- und Ausführungsprozesse nicht möglich.
- Die Baufachmodelle werden durch spezialisierte Fachanwendungen erzeugt und bearbeitet. Aufgrund der Fragmentierung der Bauindustrie und der Verschiedenheit der Bauprojekte existiert keine branchenweite Softwareanwendung, die alle Planungs- und Ausführungsprozesse unterstützen kann.
- Bei der Betrachtung der Bauprojekte lässt sich ein mengenmäßiges Anwachsen der verwendeten Baufachmodelle feststellen. Ausschlaggebend dafür sind eine zunehmende Digitalisierung, steigende Komplexität der Bauwerke sowie aktuelle gesetzliche Bestimmungen.
- Bei den verwendeten Baufachmodellen ist ein Anschwellen des Umfangs und der Komplexität auszumachen. Grund dafür sind erhöhte Anforderungen an das Bauwerk und seine Planung sowie langfristige Verwendungsziele der Produktmodelle.

⁴⁸ Diese Rahmenbedingungen finden sich auch in den Thesen dieser Arbeit wieder (vgl. Abschnitt 1.2 Herausforderung der Informationsversorgung im Bauwesen, S. 2).

- Zwischen den verwendeten Baufachmodellen existieren Abhängigkeiten, da für viele Problemstellungen in Bauprojekten die Elemente der Baufachmodelle miteinander in Bezug gesetzt werden müssen.

Anschließend wurde die Verwendung von bauspezifischen Fachanwendungen und Fachmodellen betrachtet. Hierbei erschwert insbesondere in interdisziplinären Bauprojekten die Verwendung verschiedener domänenspezifischer Fachmodelle eine effiziente Informationslogistik. Da diese Fachmodelle jeweils zielgerichtet für spezifische Aufgabenstellungen entwickelt wurden und daher teilweise sehr unterschiedliche Datenstandards, Strukturen und Semantiken besitzen, wird sowohl deren Kombinierbarkeit als auch die Abbildung gegenseitiger Abhängigkeiten erschwert. Diese Interoperabilität der Informationslogistik im Bauwesen wurde näher beleuchtet und es wurden verschiedene internationale Standardisierungsbemühungen umrissen. Es existiert aufgrund der an nationalen Situationen ausgerichteten Randbedingungen der verschiedenen Annotationsvokabulare kein länderübergreifendes europäisches oder gar internationales Klassifikationssystem für das Bauwesen, das gezielt für die Beschreibung von Informationsräumen eingesetzt werden könnte.

Die schwierigen Randbedingungen der Bauindustrie, insbesondere die starke Fragmentierung in kleine und mittelständische Unternehmen, die Segmentierung der Prozesskette und die wirtschaftliche Lage verhindern sowohl die zeitnahe Anwendung neuer informationstechnologischer Innovationen aus der Forschung als auch die Umsetzung durchgehender digitaler Datenflüsse⁴⁹ zwischen den Informationssystemen der Bauplanung und Bauausführung. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) scheuen aufgrund fehlender personeller und finanzieller Ressourcen das Risikopotential⁵⁰ neuer komplexer Systeme (Günthner und Borrmann, 2011, S. 331; Hörger, 2003, S. 24).

Die beschriebenen Rahmenbedingungen haben einen bedeutenden Einfluss auf die Anforderungen an eine kontextgerechte Informationslogistik, die im folgenden Abschnitt erarbeitet werden.

⁴⁹ Hannus (1987) identifiziert im Bauwesen sog. Automatisierunginseln (Islands of Automation), die zur Realisierung von Teilaufgaben ausgezeichnet geeignet sind, jedoch wenig bis gar keine Unterstützung für den Austausch mit anderen Fachanwendungen bieten.

⁵⁰ KMU müssen ihre Unternehmensorganisation anpassen, Personal ausbilden und Implementierungsstrategien entwickeln und können erst dann mit Pilotprojekten beginnen.

2.2 Anforderungen an eine kontextgerechte Informationslogistik

Überblick

Um die Informationslogistik im Bauwesen zu verbessern, ist es nötig, ihre Anforderungen an eine informationstechnische Unterstützung zu spezifizieren. Dafür werden in diesem Abschnitt kollaborative Informationsprozesse näher betrachtet und deren Kontextabhängigkeit erörtert. Sowohl der entstehende Informationsbedarf solcher Prozesse als auch die kontexttragenden Annotationen des Informationsangebotes werden dazu untersucht. Abschließend werden konzeptionelle Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung und informationstechnologische Anforderungen an die Kontextmodellierung sowie Anforderungen an bauspezifische Informationsräume herausgearbeitet.

2.2.1 Kollaborative Informationsprozesse

Die Zusammenarbeit von Wertschöpfungspartnern innerhalb von Unternehmensnetzwerken bedingt einen Informationsaustausch, der auf verschiedenen Interaktionsmechanismen basiert. In Anlehnung an das 3K-Modell nach TEUFEL (1995, S. 11) wird in der Literatur dabei zwischen Kommunikation, Koordination, Kooperation und Kollaboration unterschieden. Die Unterscheidung basiert dabei auf einem Merkmalsraster, das die Interaktionsmechanismen nach deren Intensitätsgrad und dem Grad der Integration einordnet. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 12 illustriert und im Folgenden kurz erläutert.

Unter *Kommunikation* versteht man einen verlässlichen, zweckgerichteten und zielorientierten wechselseitigen Austausch von Informationsobjekten zwischen mindestens zwei Akteuren. Bei den beteiligten Akteuren kann es sich um Personen, Organisationseinheiten, Softwareagenten oder Maschinen handeln. Bei den ausgetauschten Informationsobjekten handelt es sich um Informationen, Daten, Datenmodelle oder Nachrichten.

Kommunikationsprozesse haben meist eine Intention und sind in der Lage, durch das Erweitern, Absichern und Korrigieren vorhandener Daten- und Informationsbestände Informationsdefizite zu beheben oder eine Verständigung über Vorgehensweisen und Ziele herbeizuführen. Im Gegensatz zu Informationen, die für einen Abruf mittels Pull-Mechanismen bereitgestellt werden, beschreiben Kommunikationsprozesse den aktiven Austausch von Informationsobjekten durch Push-Mechanismen (Gronau, 2001, S. 5; Maier und Lehner, 1995, S. 142; Rüppel, 2007, S. 8; Teufel, 1995, S. 12).

Für die Integration der Handlungen der beteiligten Akteure und zur Vermeidung von Redundanzen oder zusammenhanglosen (Teil-)Ergebnissen ist *Koordination* notwendig. Koordinationsprozesse üben einen lenkenden Einfluss auf die Akteure aus und informieren darüber, zu welchem Zeitpunkt welche Handlungen zum Zweck der Zielerreichung des Gesamtsystems notwendig sind. Dabei bedingt Koordination eine Kommunikation sowie gemeinsame Interessen der beteiligten Akteure (Teufel, 1995, S. 12; Stiefel, 2011, S. 13).

Von *Kooperation* hingegen spricht man, wenn die beteiligten Akteure gemeinsam arbeitsteilig eine Leistung erzeugen oder an einer gemeinsamen Aufgabe arbeiten. Kooperationsprozesse beschreiben dabei die Verteilung der Mitarbeit der Akteure.

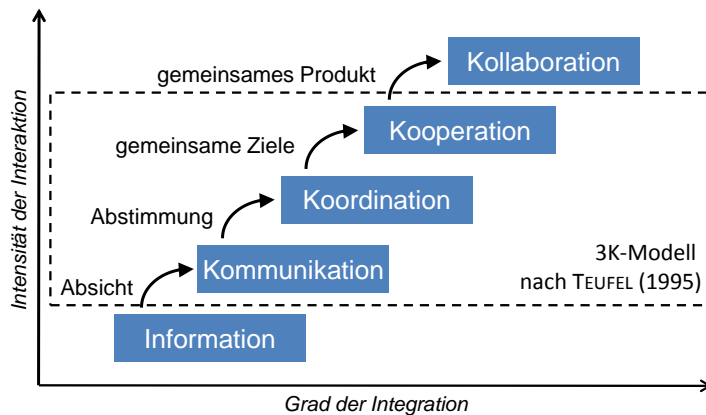


Abbildung 12: Einordnung der Interaktionsmechanismen

Eine Grundvoraussetzung ist eine starke Übereinstimmung von Zielen und das Bewusstsein von kooperationsweiten (globalen) Konsequenzen der einzelnen Handlungen (Gronau, 2001, S. 5; Stiefel, 2011, S. 14).

Die durch das 3K-Modell beschriebenen Interaktionsmechanismen Kommunikation, Koordination und Kooperation beziehen sich auf unterschiedliche Aufgaben, die von einzelnen Akteuren verteilt ausgeführt werden. Die *gemeinsame* Bearbeitung einer Aufgabe am selben Objekt bezeichnet einen Spezialfall der Kooperation und wird als *Kollaboration*⁵¹ bezeichnet. Während bei der Kooperation abgegrenzte Teilaufgaben jeweils einzeln von den Akteuren bearbeitet werden, findet bei der Kollaboration eine Integration der Aufgabenbewältigung statt, wodurch sich einzelne Teilaufgaben nicht mehr klar abgrenzen lassen und Akteure gemeinsam und teilweise gleichzeitig an der Aufgabenerfüllung arbeiten (Gronau, 2001, S. 6; Hofer et al., 2007, S. 64; Werth, 2006, S. 24). Abbildung 13 zeigt die unterschiedlichen Ansätze von Kooperation und Kollaboration in Bezug auf den Informationsaustausch.

Mit der unterschiedlichen Strukturierung der verteilten Aufgabenbearbeitung unterscheiden sich auch die Informationen, die für eine Sicherstellung eines gemeinsamen Arbeitsergebnisses notwendigerweise auszutauschen sind. Während bei der Kooperation Übergabebedingungen und Aufgabenbeschreibungen eine wesentliche Rolle für die Bearbeitung der Teilaufgaben spielen, sind es bei der Kollaboration Mechanismen zur Informationsverteilung und Zugriffssteuerung.

⁵¹ Etymologisch geht der Begriff auf das lateinische Verb *collaborare* zurück, das „mitarbeiten“ oder „zusammenarbeiten“ bedeutet (Baer, 2000, S. 555). Die Verwendung des Begriffes Kollaboration setzt sich im deutschen Sprachraum nur langsam durch, da der Begriff historisch bedingt die negative Konnotation des „Zusammenarbeitens mit Feinden“ besitzt (Theling und Loos, 2004, S. 2).

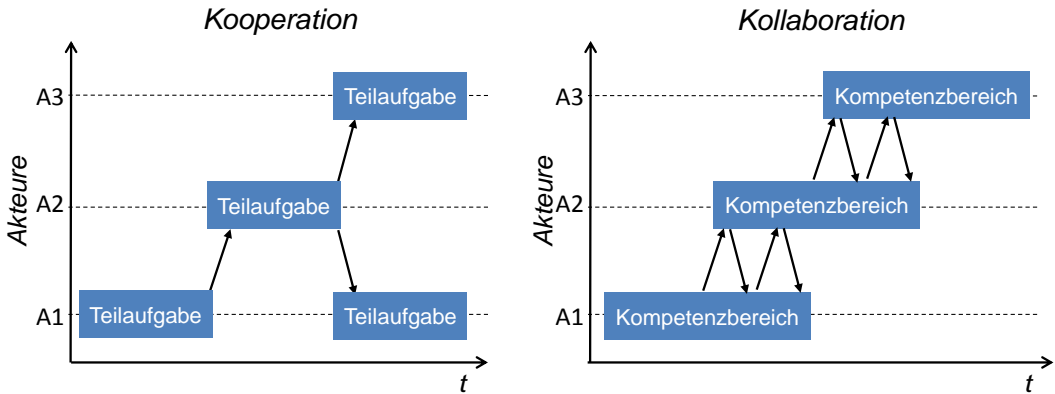


Abbildung 13: Informationsaustausch bei Kooperation und Kollaboration⁵²

Für die Sicherstellung weiterverwendbarer Arbeitsergebnisse müssen Kollaborationsmechanismen zur Verfügung gestellt werden, die eine Informationskonsistenz sicherstellen (z. B. Versionsmanagement, Blocking-Mechanismen, Berechtigungsverwaltung). Ein Kollaborationsbeispiel ist die gemeinsame verteilte Bearbeitung eines Fachmodells oder die Spezifizierung von Produkthanforderungen im Rahmen des Bauplanungsprozesses (s. Abschnitt 3.1.6).

In Anlehnung an (Rüppel, 2007, S. 7) lassen sich verschiedene Klassifikationskriterien der vorgestellten Interaktionsformen identifizieren:

- Verteilungsstruktur: klassische 1:1-Interaktion, 1:n- (z. B. Broadcast-Verteilung) oder n:1-Interaktion (z. B.: Statusmeldungen, Berichte),
- Interaktionsrichtung: einseitig oder wechselseitig Interaktion,
- zeitliche Verteilung: synchron (gleichzeitig) oder asynchron (zeitversetzt),
- räumliche Verteilung: zentral (Akteure agieren am selben Ort) oder verteilt (Akteure agieren an verschiedenen Orten),
- Art des Informationsaustausches: explizit, implizit oder stillschweigend,
- Anzahl der Partner: zwei Personen oder Personengruppen,
- Anzahl der bearbeiteten Objekte: gemeinsame Bearbeitung desselben Objektes (wechselseitig) oder Bearbeitung verschiedener Objekte (parallel).

Prozesse zur Erfüllung betrieblicher Aufgaben eines Unternehmens, die eine Leistung in Form von Informations- oder Materialtransformation erbringen, nennt man *Geschäftsprozesse*. Anhand des Prozessinhaltes lassen sich Geschäftsprozesse unterscheiden in *Materialprozesse*, die Rohmaterial in Halb- und Fertigerzeugnisse umwandeln, und *Informationsprozesse*, die Daten verarbeiten (Allweyer, 2009, S. 8). Im Fokus dieser Arbeit stehen Informationsprozesse, die wie folgt definiert werden:

⁵² nach (Gronau, 2001)

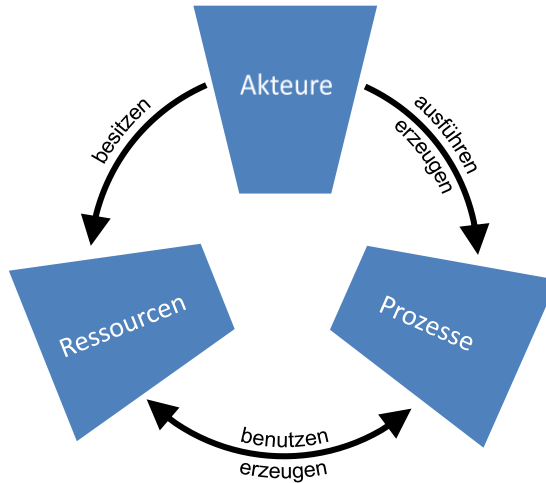


Abbildung 14: Entitäten des 3E-Kollaborationsmodells

Definitionen 7 (Informationsprozesse) *Informationsprozesse bezeichnen Geschäftsprozesse, in denen Daten und Informationen gewonnen, bearbeitet und übermittelt werden.*

GABLER (1993) untergliedert Informationsprozesse weiter in Teilprozesse der Informationsgewinnung, Informationsübermittlung und Informationsverarbeitung. Damit werden alle selbstständigen, gleichzeitigen und sich gegenseitig bedingenden Schritte zur gezielten Informationssuche und Informationsnutzung einbezogen. Das Verarbeitungsergebnis eines Informationsprozesses kann seinerseits wiederum Input für nachfolgende Informationsprozesse darstellen. Da in dieser Arbeit die unternehmensübergreifende Kollaboration fokussiert wird, verwenden wir für die betrachteten unternehmensübergreifenden Informationsprozesse entsprechend die Bezeichnung *Kollaborative Informationsprozesse*.

Definitionen 8 (Kollaborative Informationsprozesse) *Kollaborative Informationsprozesse bezeichnen organisationsübergreifende Prozesse, in denen mehrere, ggf. verteilte Akteure Informationsobjekte gemeinsam bearbeiten.*

Innerhalb von kollaborativen Informationsprozessen konsumieren, bearbeiten und erzeugen Akteure Informationsressourcen durch die Ausführung von Prozessen. Dieser Zusammenhang der beteiligten Entitätstypen⁵³ wird in einem 3E-Kollaborationsmodell in Abbildung 14 dargestellt.

⁵³ Als Entitäten werden hier Phänomene verstanden, die in einem betrachteten Realitätsausschnitt als abgegrenzte Objekte wahrgenommen und somit von anderen Objekten desselben Realitätsausschnittes unterschieden werden können.

Kollaborative Informationsprozesse werden partnerübergreifend aufeinander abgestimmt und innerhalb von Wertschöpfungsketten verknüpft. Anhand der Informationsverarbeitung unterscheidet VANDERHAEGHEN (2007) folgende Arten der kollaborativen Informationsprozesse:

- Translation (Wechsel der Informationsformalisierung ohne Inhaltsänderung)
- Transmission (Wechsel des Informationsmediums)
- Transport (Überbrückung von Ort oder Zeit)
- Transformation (Veränderungen des Informationsinhaltes)

Während sich die ersten drei Prozesstypen relativ leicht durch den Einsatz von Informationstechnik unterstützen lassen, müssen Prozesse der Informationstransformation differenziert betrachtet werden. Routinetransformationen adressieren eine häufige Aufgabenbearbeitung und sind tendenziell automatisierbar. Innovative Transformationen für spezielle Problemlösungen dagegen erfordern spezifische kognitive Fähigkeiten der Akteure (Vanderhaeghen, 2007, S. 18 f.) Solcherart Informationstransformationsprozesse werden auch als *wissensintensive Prozesse* (Knowledge Intensive Task) bezeichnet (Morgenroth, 2006, S. 174). HINKELMANN ET AL. (2002, S. 69) definiert diese wissensintensiven Prozesse als „... Prozessaktivitäten, die auf Kernkompetenzen basieren und dem Bearbeiter ein hohes Maß an Gestaltungsmöglichkeiten und Entscheidungsspielräumen geben“. Die Bearbeitung solcher Informationsprozesse ist nicht vollständig automatisierbar, allerdings kann sie durch eine angepasste Informationsversorgung gezielt unterstützt werden.

2.2.2 Kontextabhängigkeit der Informationslogistik

Für eine effiziente Verwendung wirtschaftlicher Ressourcen (z. B. Menschen, Rohstoffe, Betriebsmittel und Finanzen) muss deren Einsatz systematisch geplant, gesteuert und kontrolliert werden. Da Information zunehmend als gleichwertige Ressource neben anderen Produktionsfaktoren verstanden wird, gilt dies auch für Informationsressourcen (Brockhaus, 1992, S. 39; Krcmar, 2005, S. 17). Für die „effiziente, effektive und ökonomische Behandlung aller Informationen und Informationswerkzeuge der Organisation“ ist das *Informationsmanagement*⁵⁴ zuständig (Biethahn et al., 2004, S. 17; Krcmar, 2005, S. 28). Voss und Gutenschwager (2001, S. 70) definiert dazu: „Informationsmanagement ist die wirtschaftliche (effiziente) Planung, Beschaffung, Verarbeitung, Distribution und Allokation von Information als Ressource zur Vorbereitung und Unterstützung von Entscheidungen (bzw. Entscheidungsprozessen) sowie die Gestaltung der dazu erforderlichen Rahmenbedingungen.“ Während das Konzept des Informationsmanagements somit sehr allgemein die Bereitstellung und Verarbeitung von Informationen fokussiert, stellt das Teilgebiet *Informationslogistik* die Qualität

⁵⁴ Synonyme Bezeichnungen für den Begriff *Informationsmanagement* sind, in chronologischer Reihenfolge ihrer Entstehung: „Information Resources Management“, „Informatikmanagement“, „Management der Informationsversorgung“ und „IT-Management“. Ein guter Überblick findet sich in (Krcmar, 2005).

der Informationsbereitstellung in den Mittelpunkt. Der Fokus liegt hier auf einer möglichst hohen thematischen Übereinstimmung der vom System automatisch angebotenen Informationen mit einem situativen Informationsbedarf (Biethahn et al., 2004, S. 17; Kamphusmann, 2001, S. 84; Voß und Gutenschwager, 2001, S. 84).

Definitionen 9 (Informationslogistik) *Die Informationslogistik befasst sich mit der rechtzeitigen Bereitstellung der richtigen Information in der notwendigen Qualität am richtigen Ort.*

Eine *effiziente Informationslogistik* verhindert eine „Überflutung“ mit vielen wenig relevanten Informationen. Insbesondere in Projekten mit wissensintensiven Prozessen ist eine effiziente und optimale Informationslogistik unbedingt notwendig (Härtwig, 2009, S. 1). Eine erfolgreiche Informationslogistik basiert auf dem Vorhandensein von richtigen und ausreichenden Informationen. Die Menge der in einem Projekt verwendeten Informationen bildet ein *Informationsangebot*, das den Projektpartnern zur Verfügung steht. Zur Bearbeitung einzelner Aufgaben benötigen die Akteure jedoch nur aufgabenrelevante Teilmengen des gesamten Informationsangebotes. Diese Teilmengen werden durch den *Informationsbedarf*⁵⁵ spezifiziert, der das Bedürfnis repräsentiert, „aktuell vorhandenes Wissen durch zusätzliche Informationen zu ergänzen, zu verifizieren oder zu modifizieren“ (Morgenroth, 2006, S. 28). Die Relevanz eines konkreten Informationsangebotes für eine zu bearbeitende Aufgabe kann sowohl durch objektive Kriterien (z. B. die Vollständigkeit, Korrektheit, Verfügbarkeit, Aufgabenbezogenheit und Pünktlichkeit) als auch durch subjektive Kriterien (z. B. die Verknüpfungsmöglichkeiten mit individuellem Wissen und Erfahrungen) bestimmt werden. Aus diesem Grund hat sich in der Literatur eine differenzierte Betrachtung des Informationsbedarfes durchgesetzt, die zwischen einem *subjektiven* und *objektiven Teilbereich* unterscheidet:

- Der *subjektive Informationsbedarf* eines handelnden Akteurs beschreibt die Informationen, die aus dessen persönlicher Sichtweise zur Erfüllung einer Aufgabe als relevant betrachtet werden. Der subjektive Informationsbedarf ist damit stark abhängig von einer persönlichen, auf Wissen, Erfahrungen und Sozialisierung basierenden Sichtweise (Lehner, 2012, S. 19; Krcmar, 2005, S. 38).
- Der Begriff des *objektiven Informationsbedarfs* beschreibt aus Sicht eines angenommenen, allwissenden Beobachters die ideale und optimale Art und Menge an Informationen, die ein Akteur zur Erfüllung einer Aufgabe verwenden sollte (Reichwald et al., 2003, S. 81f.; Szyperski, 1980, S. 905).

⁵⁵ Der Begriff *Informationsbedarf* ist eine objektive Abstraktion von Einzelbedürfnissen betrachteter Akteure.

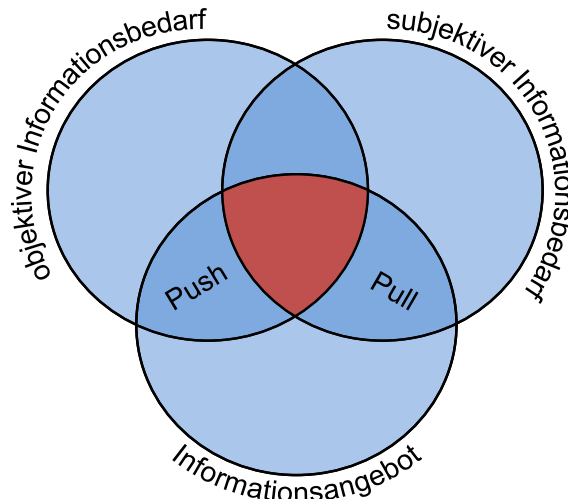


Abbildung 15: Konzepte des Informationsbedarfes

Beide Informationsbedarfe sind in der Regel nicht deckungsgleich, sondern besitzen eine Schnittmenge, die sowohl die von einem System als auch vom Akteur als relevant erkannten Informationen enthalten (vgl. Abbildung 15). Dieser *erkannte Informationsbedarf* (Abbildung 15, Mitte) kann nur in dem Bereich gedeckt werden, in dem er sich mit dem Informationsangebot überschneidet (Lehner, 2012, S. 20; Weck, 2003, S. 13).

Die Prozesse der Informationslogistik unterscheiden sich in Hinblick darauf, ob es sich um eine nutzerinitiierte Informationsanfrage oder eine systeminitiierte Informationsbereitstellung handelt. Bei der ersten Vorgehensweise wird zusätzlich zum erkannten Informationsbedarf der als Pull-Bereich gekennzeichnete Informationsbedarf angefragt, während bei der zweiten Variante der Push-Bereich zusätzlich übertragen wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird die proaktive Informationsversorgung durch Informationssysteme fokussiert, die den objektiven Informationsbedarf abschätzt. Daher wird in der weiteren Arbeit unter dem Begriff Informationsbedarf jeweils der objektive Teil betrachtet.

Definitionen 10 (Informationsbedarf) *Der Informationsbedarf spezifiziert die Art, Menge und Qualität der von einem Akteur bei seiner Aufgabe benötigten Informationen.*

Der Informationsbedarf ist nicht statisch, sondern verändert sich mit der Zeit. Insbesondere durch die Informationsversorgung kann sich das ursprüngliche Informationsbedürfnis verfeinern oder ein weiterer Informationsbedarf entstehen (Morgenroth, 2006, S. 28).

Teilbereiche des Informationsbedarfes

Der Informationsbedarf bestimmt, welche Informationen insgesamt für die Bewältigung konkreter Aufgaben erforderlich sind. Bei der Betrachtung von Informationsprozessen lassen sich die benötigten Informationen in *Primär-* und *Sekundärinformationen* unterscheiden (vgl. dazu auch Goesmann, 2002).

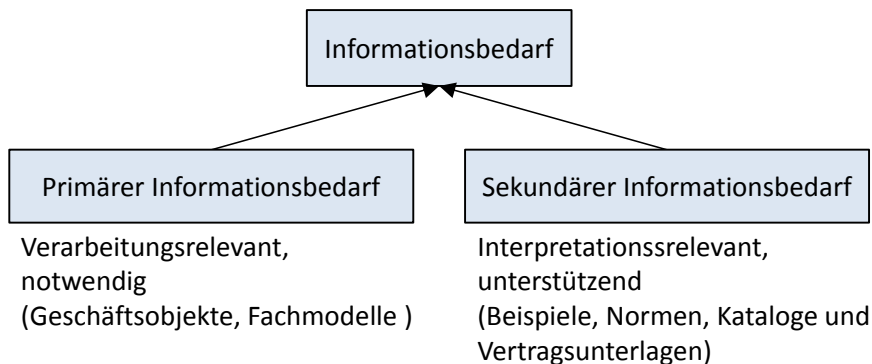


Abbildung 16: Teilbereiche des Informationsbedarfes

Während die Primärinformationen als Geschäftsobjekte diejenigen Informationen umfassen, die für die Aufgabenbearbeitung direkt benötigt werden, beschreiben die Sekundärinformationen Zusatzinformationen, die eine Bearbeitung steuern und gestalten. Primäre Informationen bilden die Geschäftsobjekte und sind damit für die Bearbeitung von Geschäftsprozessen relevant. Sie werden in der Regel durch einem Prozessmodellierer in einem Prozessmodell festgelegt (Goesmann, 2002, S. 59).

Definitionen 11 (Primärinformationen) *Primärinformationen bezeichnen diejenigen Informationen, die zur Erfüllung einer Aufgabe in einer Bearbeitungssituation direkt benötigt werden. Primärinformationen können durch Bearbeitung verändert werden.*

Für die Bearbeitung vieler Informationsprozesse sind aber nicht nur die im Prozessmodell festgelegten Informationen relevant, sondern es existieren weitere Wissensbedarfe, die erst bei der Aufgabenbearbeitung identifiziert werden und von konkreten Gegebenheiten abhängen. Teilweise wird in Abhängigkeit von der Komplexität einer Aufgabenstellung zusätzliches Wissen benötigt (z. B. Erfahrungen, Beispiele oder Zusatzinformationen in Form von Best-Practice-Checklisten). Diese Zusatzinformationen, die einen Akteur in einer konkreten Bearbeitungssituation gezielt unterstützen (z. B. die Prozessbearbeitung verbessern oder beschleunigen), werden als Sekundärinformationen bezeichnet. Typische Sekundärinformationen sind Beispiele, Normen, Kataloge, zusätzliche Vertragsbedingungen und politische, organisatorische, sicherheitsrelevante oder wirtschaftliche Randbedingungen sowie prozesserleichternde Zusatzinformationen.

Definitionen 12 (Sekundärinformationen) *Sekundärinformationen bezeichnen die Informationen, die eine Aufgabenbearbeitung beeinflussen (z. B. steuern, gestalten oder erleichtern). Sekundärinformationen liegen nach der Bearbeitung unverändert vor.*

Die Relevanz von Sekundärinformationen kann oftmals erst situativ eingeschätzt werden, weshalb diese Informationen nicht vorab in vollem Umfang innerhalb von Prozessmodellen definiert werden können (Goesmann, 2002, S. 59). Entsprechend der beschriebenen Einordnung gliedert sich auch der Informationsbedarf in einen primären und einen sekundären Teilbereich (vgl. Abbildung 16).

Kontextabhängigkeit

Informationsprozesse im Bauwesen sind schwach strukturiert. Die Aufgabenbearbeitung durch die Akteure folgt in der Regel einem flexibel vorgegebenen Ablauf, der erst durch den konkreten Bearbeitungskontext situativ ausgeprägt wird. Unterschiedliche Informationsmengen und Informationsqualitäten werden benötigt, wenn verschiedene Akteure die gleiche Aufgabe bearbeiten oder derselbe Akteur verschiedene Aufgaben erledigt (Taschner, 2012, S. 17). Dabei werden mitunter Informationen benötigt, die zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht existieren, sondern erst während der Abarbeitung (ggf. über eine Anzahl von Aufgaben hinweg) aufgebaut werden. Die Relevanz solcher Informationen kann zum Zeitpunkt der Prozessmodellierung schwer eruiert werden, weshalb die entsprechenden Informationsbedarfe auch schlecht vorausplanbar sind. Die Bewertung der Relevanz bestimmter Informationen für eine Aufgabenbearbeitung kann nur unter Berücksichtigung der konkreten Bearbeitungssituation und des Akteurs selbst geschehen. Der konkrete Informationsbedarf ist somit abhängig vom Bearbeitungskontext. Bei der Modellierung werden die Informationsanforderungen der Prozesseingangsinformationen mehr oder weniger vage in Form von Vorlagen modelliert. Aus diesem Grund muss zwischen der kontextfreien Modellierung und dem kontextsensitiven Ausführen von Informationsprozessen unterschieden werden. Nach der Bearbeitung von Informationsprozessen finden sich die Inhalte der Primärinformationen meist in den Ergebnisinformationen wieder, indes die Sekundärinformationen bei der Aufgabenbearbeitung „verbraucht“ werden. Abbildung 17 illustriert diesen Umstand anhand der Betrachtung des Informationsumfeldes eines Referenzprozesses (Diese Abbildung ist strukturell an der IDEF0-Notation⁵⁶ angelehnt, wie rechts unten skizziert ist). Erst bei der Prozess-Instanziierung und -Orchestrierung werden diese Vorlagen durch Instanzen ersetzt. Der nun vorhandene Kontext hat sowohl Einfluss auf den Informationsbedarf der Eingangsinformationen als auch auf die Ausgestaltung der Ergebnisinformationen (siehe Abbildung 18).

Der Kontexteinfluss auf die Eingangsinformationen betrifft in erster Linie die Qualitäten der Primärinformationen sowie die Menge und Qualität der Sekundärinformationen. Neben dem Prozesskontext existieren zusätzlich weitere transitive Einflüsse. Diese können beispielsweise aus den Anforderungen an die Eingangsinformationen eines nachfolgenden Prozesses entstehen. Neben den kontextabhängigen Qualitäten der Eingangsinformationen werden auch die Ergebnisinformationen durch den Kontext geprägt. Beispielsweise bestimmt die Wahl der Fachanwendung die Menge der erzeugbaren Dateiformate. Kontextabhängige Informationsanforderungen beschreiben somit denjenigen Informationsbedarf, der erst nach der Instanziierung der Prozesse erkannt und beschrieben werden kann. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Modellqualitäten (z. B. Formate und Ausschnitte der benötigten Fachmodelle), die sich aus dem *Prozesskontext* ableiten lassen. Die einzelnen Kontextaspekte und ihr Einfluss auf den Informationsbedarf werden in Kapitel 3.2.4 erarbeitet.

⁵⁶ Die IDEF0 Methode (Integration Definition for Function Modeling) ist eine weit verbreitete Technik für die Analyse und Modellierung von Funktionen. (<http://www.idef.com>)

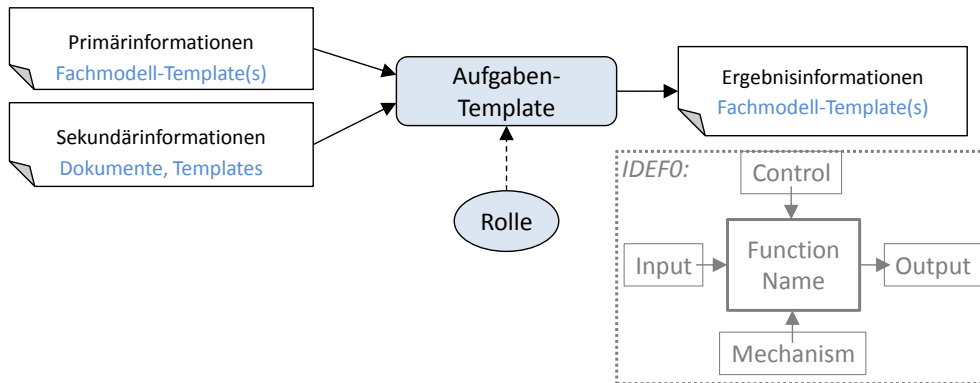


Abbildung 17: Informationsumfeld eines Prozesstemplates

Informationsbedarfsermittlung

Für die Ermittlung des Informationsbedarfs existieren in der Literatur verschiedene Ansätze. Während einzelne Autoren argumentieren, dass der Informationsbedarf für einen Beobachter (insb. durch ein beobachtendes System) nicht direkt zu erkennen sei, sondern sich nur aus der Kommunikation des Bedürfnisses durch einen Akteur oder dessen Handlung erschließen lässt (z. B. Wilson, 1997), vertritt die Mehrheit der Autoren den Standpunkt, dass sich der Informationsbedarf eines Akteurs sowohl aus dessen aktueller Beschäftigung als auch aus seinem Umfeld ableiten lasse. Hierzu existieren eine Vielzahl von Anstrengungen, die den Informationsbedarf über induktive Methoden (Analyse der tatsächlichen Gegebenheiten) oder deduktive Methoden (Analyse der normativen Ziele und Aufgaben) abzuschätzen versuchen (Fink et al., 2005, S. 47; Morgenroth, 2006, S. 27; Nicholas, 2000; Voß und Gutenschwager, 2001, S. 129 ff.; Weck, 2003, S. 13).

2.2.3 Anforderungen an die Informationsversorgung

Die wesentliche Intention dieser Arbeit ist die Unterstützung kollaborativer Informationsprozesse durch eine kontextgerechte Informationsversorgung. Dafür wurden in den vorangegangenen Abschnitten die Rahmenbedingungen der kollaborativen Informationsprozesse des Bauwesens betrachtet und deren Kontextabhängigkeit diskutiert. Darauf aufbauend werden nun Anforderungen an ein Konzept für eine kontextgerechte Informationsversorgung zusammengestellt. Der allgemeine Lösungsansatz des entwickelten Konzeptes besteht darin, kontextabhängige Informationsbedarfe durch adaptive Informationsräume zu decken.

Aus der Untersuchung dieses Ansatzes lassen sich sowohl konzeptionelle Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung als auch allgemeine Anforderungen an den Inhalt und die Struktur bauspezifischer Informationsräume ableiten. Aus diesen Anforderungen werden schließlich informationstechnologische Anforderungen an eine semantische Beschreibung von Informationsbedarfen und Informationsressourcen sowie an eine entsprechende Kontextmodellierung gefolgert und als Aufgaben formuliert.

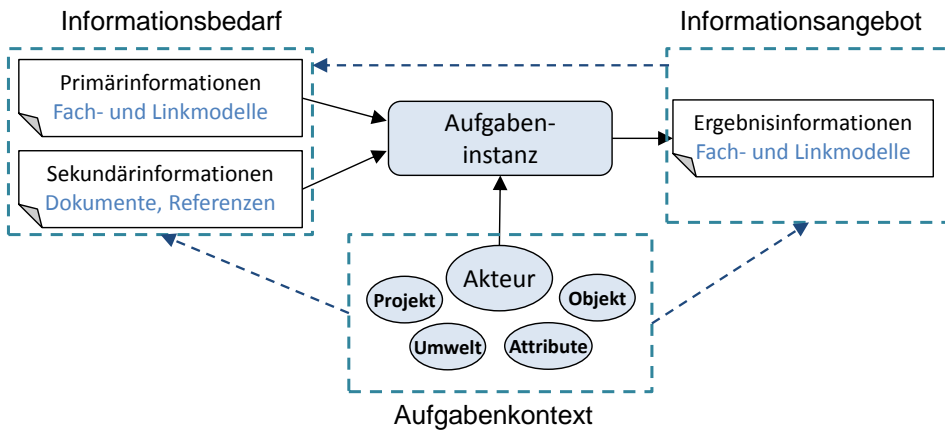


Abbildung 18: Kontexteinfluss auf Informationsbedarf und -Angebot

Konzeptionelle Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung

Die verschiedenen Informationsprozesse im Rahmen eines Bauprojektes erzeugen unterschiedliche kontextabhängige Informationsbedürfnisse. Das Ziel einer kontextgerechten Informationsversorgung besteht darin, Informationen entsprechend dieser Informationsbedürfnisse aufzubereiten und dem Informationsverwender in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen. Aus dieser Zielstellung lassen sich neben den grundlegenden Anforderungen der Informationslogistik, die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort bereitzustellen, folgende konzeptionelle Anforderungen ableiten:

- Anforderung A1** *Vollständigkeit der Informationen:* Für eine effektive Aufgabenbearbeitung sind alle benötigten Informationen bereitzustellen, um ergänzende Recherchen zu vermeiden.
- Anforderung A2** *Adaptivität der Informationen:* Aufgrund unterschiedlicher Verwendungszwecke sind für eine effiziente Aufgabenbearbeitung situationsangepasste Informationen mit unterschiedlichen Qualitäten (z. B. Granularität, Detaillierungsgrad, Ausschnitte und Verknüpfungsgrade) notwendig.
- Anforderung A3** *Bewertbarkeit der Informationen:* Informationen zum Entstehungskontext sowie zuverlässige Angaben zur Aktualität und Verbindlichkeit (z. B. Prüfstatus) sind notwendige Voraussetzungen für eine Einschätzung der Qualität der bereitgestellten Informationen.
- Anforderung A4** Die *Informationsversorgung* soll proaktiv stattfinden. Eine zusätzliche Anfrageinteraktion seitens des Akteurs ist zu minimieren.

Allgemeine Anforderungen an bauspezifische Informationsräume

Im Rahmen der kollaborativen Informationsprozesse beim Planen und Ausführen werden diverse Fachmodelle aus den verschiedenen beteiligten Gewerken und Fachgebieten miteinander zu Informationsräumen verknüpft. Damit Verknüpfungsinformationen erhalten bleiben und dennoch die Fachmodelle einzeln verwendbar bleiben, ergeben sich folgende Anforderungen an einen *Informationsraum*:

- Anforderung A5** *Einheitliche Begrifflichkeiten*: Für eine domänenübergreifende Verwendbarkeit der Informationsräume muss deren semantische Beschreibung (vgl. Anforderung A8) auf einem projektweit einheitlichen Annotationsvokabular basieren.
- Anforderung A6** *Verknüpfungsabbildung*: Die Interdependenzen zwischen den Fachmodellen müssen durch den Informationsraum geeignet abgebildet werden.
- Anforderung A7** *Lose Kopplung*: Einzelne Fachmodelle müssen trotz Verknüpfung mit anderen Informationsressourcen weiterhin einzeln verwendbar sein.
- Anforderung A8** *Semantische Beschreibung*: Für eine bedarfsgerechte Informationsversorgung ist eine ausreichende semantische Beschreibung sowohl vorhandener als auch benötigter Informationsräume notwendig. Eine umfassende Beschreibung von Informationsräumen sollte folgende Aspekte enthalten:
- *Qualitäten*: Die qualitativen Eigenschaften der einzelnen Fachmodelle, wie Granularität, Aktualität usw., sind entscheidend für die Beschreibung des gesuchten oder vorhandenen Informationsraumes.
 - *Ausschnitte*: Der durch den Informationsraum abgebildete oder abzubildende Ausschnitt sowohl aus dem Gesamtprojekt als auch aus dem Bauobjekt muss beschrieben werden.
 - *Verknüpfungsgrade*: Die abgebildeten Interdependenzen zwischen den Fachmodellen müssen beschrieben werden (evtl. mit Verknüpfungsententionen).
 - *Intention*: Die Absicht des Informationsraumes sollte hinterlegt und übertragen werden. Das kann durch Angabe des Quell- und Zielprozesses geschehen sowie durch den Erstellungskontext.

Informationstechnologische Anforderungen an die Kontextmodellierung

Während einerseits kollaborative Informationsprozesse einer geeigneten Informationsversorgung bedürfen, können sie andererseits die Informationsversorgung anderer Prozesse unterstützen. Da sowohl die Prozesse der Informationsentstehung als auch die Prozesse der Informationsverarbeitung oft zeitlich, sachlich und organisatorisch getrennt stattfinden, ist

der Entstehungskontext für eine Bewertung der Informationen für die Informationsverwendung hilfreich. Durch Informationen über den Entstehungskontext kann erreicht werden, dass alle Partner die übermittelten Informationsinhalte im Sinne der Intention des Informationserzeugers interpretieren. In dem vorgestellten Ansatz werden Kontextinformationen dazu verwendet, sowohl Informationsbedarfe zu ermitteln als auch Informationsbestände zu beschreiben. Damit dafür sowohl der Verarbeitungs- als auch der Entstehungskontext in einem Kontextmodell flexibel abgebildet werden kann, ergeben sich folgende Anforderungen an eine informationslogistische Kontextmodellierung:

- Anforderung A9** *Granularität:* Die einzelnen Kontextaspekte haben verschiedenen Einfluss auf die Informationsraumgestaltung. Diese Aspekte sind mit der dafür notwendigen Detaillierung zu modellieren.
- Anforderung A10** *Dynamik:* Durch die Angabe verschiedener Aktualisierungsraten soll die Dynamik von Kontextinformationen abbildbar werden.
- Anforderung A11** *Verknüpfungsstrukturen:* Kontextinformationen sind meist miteinander verknüpft. Diese Abhängigkeiten sollen durch das Kontextmodell dargestellt werden können. Aus vorhandenen expliziten Kontextinformationen sollen durch logisches Schließen neue implizite Informationen ableitbar sein und das Kontextmodell soll das Zusammenführen verteilter anfallender Kontextinformationen ermöglichen.
- Anforderung A12** *Validierbarkeit:* Kontextinformationen sollen sowohl auf Struktur- als auch auf Instanzebene gegen das Kontextmodell validierbar sein. Unzulässige Zustände und unplausible Kontextinformationen sollen erkannt werden können.
- Anforderung A13** *Erweiterbarkeit:* Da in kontextunterstützten Systemen viele Kontextquellen und Kontextabhängigkeiten nicht im Vorhinein bekannt sind, sollte das Modell so aufgebaut sein, dass die Erfassung kontexttragender Einflussfaktoren sukzessive erfolgen kann.
- Anforderung A14** *Werkzeugunterstützung:* Damit das Kontextmodell plattform- und programmiersprachenunabhängig verwendet werden kann, sollte es in einer etablierten Modellierungssprache formalisiert werden. Dies impliziert auch die Wiederverwendbarkeit in anderen Systemen.

2.2.4 Zusammenfassung

Um die Anforderungen an eine informationstechnische Unterstützung zur Verbesserung der Informationslogistik im Bauwesen zu spezifizieren, wurden in diesem Abschnitt kollaborative Informationsprozesse näher betrachtet. Insbesondere der entstehende Informationsbedarf sowie die kontexttragenden Annotationen des erzeugten Informationsangebotes bei der Ausführung solcher Prozesse wurden diskutiert. Hierbei wurde eine Kontextabhängigkeit erkannt, die für eine effektive Informationsversorgung näher betrachtet werden muss. Durch

die Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärinformationen lässt sich dabei sowohl der Einfluss der Informationen auf den Kollaborationsprozess als auch die Art der Abhängigkeiten von verschiedenen Kontextaspekten bestimmen. Für die Konzeption und Implementierung einer Architektur für eine kontextsensitive Informationslogistik wurden abschließend detaillierte konzeptionelle Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung, informationstechnologische Anforderungen an die Kontextmodellierung sowie Anforderungen an bauspezifische Informationsräume herausgearbeitet. Dabei gelten die beschriebenen Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung nicht allein für Informationsprozesse im Bauwesen, sondern in gleichem Maße auch für die Informationsprozesse in anderen Industriezweigen, in denen verknüpfte Fachmodelle kollaborativ bearbeitet werden.

2.3 Stand der Entwicklung

Überblick

Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Konzeption einer kontextgerechten Informationsversorgung bei kollaborativen Informationsprozessen in Bauprojekten liegt, werden im nächsten Abschnitt zunächst die in der Praxis verwendeten Lösungen zur Kollaborationsunterstützung in Bezug auf deren Kontextverwendung untersucht. Auf der Grundlage dieser Betrachtung wird im zweiten Abschnitt der Entwicklungsbedarf analysiert und konkrete Aufgaben spezifiziert. Im letzten Abschnitt werden vorhandene Ansätze und Lösungen aus der Forschung auf dem Gebiet der Kontextmodellierung und -verwendung untersucht. Diese werden hinsichtlich der Zielsetzung dieser Arbeit bewertet und abgegrenzt.

2.3.1 Kollaborationsunterstützung im Bauwesen

Wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben, besteht die Informationsbasis eines Bauprojektes sowohl aus digitalen, heterogenen, modellbasierten Baufachmodellen als auch aus weitgehend unstrukturierten Informationen. Während bei kleineren Projekten mit wenigen Partnern diese Informationen durchaus über einfache Dateiaustauschplattformen oder Raumplanungswerkzeuge ausgetauscht werden können, stellt die Informationsversorgung großer, häufig international abgewickelter Bauprojekte eine logistische Herausforderung dar. Dabei müssen die Verwaltung, die Archivierung und die Bearbeitung der projektweiten Informationen geeignet organisiert werden, damit eine Vielzahl von Fachmodellen von Projektpartnern in verschiedenen Ländern verteilt und parallel bearbeitet, geprüft und freigegeben werden können.

Mit verschiedenen Ansätzen wurde in der Vergangenheit versucht, die Informationslogistik in Bauprojekten zu unterstützen. Die Formen der informationstechnischen Unterstützung entwickelten sich dabei im Laufe der Zeit von reinen Webseiten mit relativ geringem Unterstützungswert über die Verwendung branchenübergreifender Standardwerkzeuge für die Kommunikation (z. B. Mail, Foren, Chat) hin zu branchenspezifischen Diskussionsforen und Portalseiten (z. B. Enterprise Information Portals). Für die Kommunikationsunterstützung in

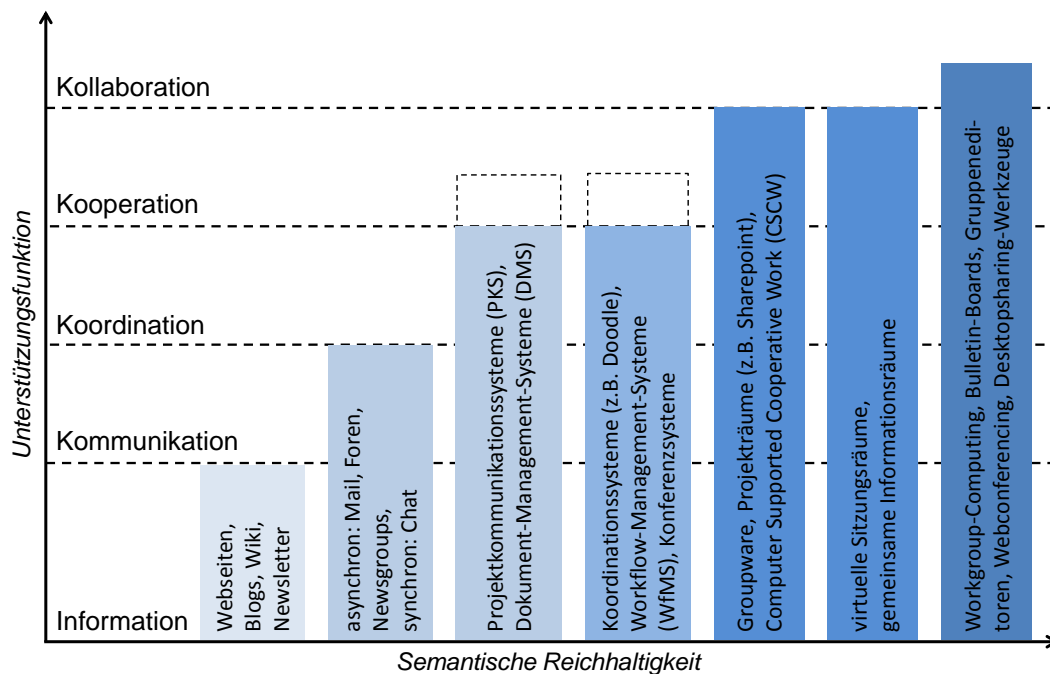


Abbildung 19: Ansätze zur Unterstützung der Informationslogistik

Bauprojekten werden meist branchenspezifische Projektkommunikationssysteme (PKS) oder auch Dokumenten-Management-Systeme (DMS) für den orts- und zeitunabhängigen Zugriff auf Projektinformationen eingesetzt (Rüppel, 2007, S. 8). Die Koordination in Bauprojekten kann durch webbasierte Konferenz- und Koordinationssysteme sowie Workflow-Managementssysteme unterstützt werden. Virtuelle Projekträume und Kooperationsplattformen dienen als zentrale Plattformen für alle Projektbeteiligten und bieten oft zusätzlich zum Dokumentenmanagement sowohl allgemeine Kommunikationsdienste als auch Prozessunterstützung. Gruppeneeditoren und Bulletin-Board-Systeme sowie Webconferencing- und Desktopsharing-Werkzeuge unterstützen letztendlich die interaktive Informationsbearbeitung (Keller, 2007; Rivard et al., 2004; Rüppel, 2007, S. 8 ff.)

Die Abbildung 19 stellt die verschiedenen Ansätze und ihre Unterstützungsfunktionen einander gegenüber. Im Folgenden werden auf dem Markt befindliche Dokumenten- und Produkt-Managementssysteme näher betrachtet, da diese aufgrund ihrer semantischen Reichhaltigkeit das größte Potential zur Verbesserung der kontextgerechten Informationsversorgung bieten.

Kategorisierung:

Softwaresysteme für die dokumentenbasierte Informationsverwaltung (Dokumenten-Management-Systeme, DMS) werden unterschieden in *Enterprise-Content-Management-Systeme* (ECM) und *Cross-Enterprise-Collaboration-Systeme* (ECS). Während ECM-Systeme die digitalen Dokumente innerhalb eines Unternehmens verwalten, sorgen ECS-Systeme für die

projektbezogene Zusammenarbeit über Firmengrenzen hinweg. ECM-Systeme werden bei Bauplanern oder bauausführenden Firmen zur unternehmensinternen Dokumentenverwaltung eingesetzt und verwalten neben den eigentlichen Dateien auch Metadaten, Dateiverknüpfungen und Zugriffsregelungen. Aktuelle ECS-Systeme repräsentieren kollaborative Informationssysteme meist als internetbasierte *Projektplattformen* für geschlossene Benutzergruppen, deren Akteure über einen Thin- oder Rich-Client⁵⁷ zugreifen. Sie verfügen meist über einen leistungsstarken Viewer, Anbindungen zu Erzeugersystemen sowie verschiedene Status- und Workflow-Verwaltungsmöglichkeiten (Borrmann et al., 2009, S. 3; Günthner und Borrmann, 2011, S. 126 f.) Webbasierte Projektplattformen⁵⁸ verbinden über Unternehmensgrenzen hinweg Projektbeteiligte im Sinne virtueller Communities. Relevante Projektinformationen sind nicht länger in den Postfächern oder lokalen Datenträgern der Projektbeteiligten gespeichert, sondern zentral strukturiert hinterlegt. Zugriffsberechtigte Projektbeteiligte können von jedem internetfähigen Computer der Welt aus rund um die Uhr darauf zugreifen. Durch diese komfortable Bereitstellung von aktuellen Dokumenten und Informationen können die Prozessaktualität, die Transparenz, die Rechtssicherheit und damit die Qualität der Informationsprozesse erhöht werden. Diese Projektplattformen werden für die Projektlaufzeit meist von einem Service-Provider angemietet⁵⁹ (Korn, 2004; Schapke, 2013; Sturm, 2007). Dabei weisen die zahlreichen auf dem Markt vertretenen Projektplattformen unterschiedliche Funktionsschwerpunkte auf (Günthner und Borrmann, 2011, S. 126 ff.; Scherer, 2014, S. 9). Speziell für das Bauwesen existieren Projektplattformen, die neben dem Dokumentenmanagement weitere spezifische Funktionsbausteine für die Bereiche Projektorganisation, Projektkommunikation, Projektdokumentation und Projektkoordination oder speziell für das Ausschreibungs-, Plan- und Mängelmanagement anbieten. Bekannte Projektplattformen sind beispielsweise der *AWARO-Projektraum*⁶⁰, der *eProjectCare-Projektraum*⁶¹ sowie die *Eplass-Project-Collaboration-Plattform*⁶². Einige Projekträume bieten zusätzlich die Verwendung von speziellen Workflows an, die eine Automatisierung von Geschäftsprozessen ermöglicht (z. B. Freigabeprozesse für Pläne).

⁵⁷ Ein Rich-Client ist eine Desktop-Anwendung mit meist umfangreichem Funktionsumfang, während ein Thin-Client meist als Web-Anwendung über einen Internet-Browser zu erreichen und auf wesentliche Funktionen beschränkt ist.

⁵⁸ Weitere, oft synonym verwendete Bezeichnungen sind: Internetbasiertes Bau-Projektmanagement (IBPM), Projekt-Kommunikations-Management (PKM), Projekt-Kommunikationssystem (PKS), Internetbasiertes Projektmanagement (IBPM), Extranet, Kollaborations-Portal, Cross-Enterprise-Collaboration-Plattform, Bauplattform oder Bau-Projektraum.

⁵⁹ In aller Regel werden Projekträume von sog. Application-Service-Providern als „Software On Demand“- oder „Software as a Service“-Lösung über das Internet angeboten.

⁶⁰ ehemals projectSphere; <http://www.awaro.com/>

⁶¹ <http://www.pmgnet.de/produkte/eprojectcare-projektraum/>

⁶² <http://www.eplass.de/>

Beispiele hierfür sind der *McLaren Collaboration Workspace*⁶³, *Conetics-ProjektRaum*⁶⁴ und *EADOC's collaborative construction management*⁶⁵. Um sicherzustellen, dass alle betreffenden Partner die relevanten Informationen erhalten oder zumindest über deren Vorhandensein informiert werden, benutzen einige Plattformen vordefinierte Verteilergruppen (z. B. die Projektplattform *pm* von Conject⁶⁶), während sich andere an automatisierten Workflows orientieren (z. B. *TeamBinder* von QA Software⁶⁷). Die Verwendung von Kontextinformationen für die Informationsbereitstellung ist noch sehr rudimentär. Beispielsweise erkennt die Plattform *RIB iTWOCollaboration Exchange* (iTWOCx)⁶⁸ automatisch die vom Anwender gewählte Sprache und passt sich daran an, während der *UNIT4 Business Collaborator*⁶⁹ verschiedene Formatderivate eines Dokumentes vorhält und sie dann in Abhängigkeit von den Möglichkeiten des Anwenders auswählt und überträgt. In der stationären Industrie (z. B. Anlagen-, Flugzeug- und Automobilbau) werden für die Verwaltung von produktbezogenen Informationen *Produktdatenmanagementsysteme* (PDM-Systeme) oder *Produktmodellserver* (z. B. BIM-Server) eingesetzt, die eine Informationsressourcen anhand eines geometrischen Modells des zu erstellenden Produktes organisieren (Borrmann, 2011). Aufgrund der semantisch reichhaltigen Informationsbeschreibungen solcher produktzentrierten Ansätze können kontextabhängige Visualisierungen realisiert werden (Schapke, 2013, S. 6). Allerdings bieten die für PDM-Systeme erforderlichen Funktionen und Schnittstellen zurzeit nur wenige ausgewählte CAD-Anwendungen, deren Vorhandensein nicht bei allen Projektbeteiligten vorausgesetzt werden kann. PDM-Systeme und Produktmodellserver bieten deshalb heute noch keine ausreichenden Fähigkeiten, um die Informationslogistik in der Praxis kontextgerecht zu unterstützen.

2.3.2 Entwicklungsbedarf

Die Anzahl und die Komplexität der verwendeten Fachmodelle in den Bauprojekten nehmen ständig zu (vgl. Abschnitt 2.2.2, S. 40). Der Aufwand, in der Vielzahl an verfügbaren Informationen die relevanten Informationen zu erkennen, kann enorme Ausmaße annehmen (Dippold et al., 2005, S. 14). Leider bieten aktuelle Softwaresysteme bei der Informationsversorgung nur eine eingeschränkte Situationsberücksichtigung. In Anbetracht dieser Lage besteht hier eine wichtige Schwachstelle der gegenwärtigen Informationslogistik im Bauwesen. Für die kollaborativen Informationsprozesse im Bauwesen spielt eine situationsgerechte In-

⁶³ ehemals BuildOnline; <http://www.mclarensoftware.de/>

⁶⁴ <http://www.conetics.com/de/produkte/projektraum/>

⁶⁵ <http://www.eadocsoftware.com/>

⁶⁶ <http://www.conject.com/de/de/applications-pm/>

⁶⁷ <http://www.qa-software.com/TeamBinder/>

⁶⁸ ehemals ProjectCentre; <http://www.rib-software.com/itwo/>

⁶⁹ <http://www.unit4collaboration.com/>

formationsversorgung eine sehr wichtige Rolle. Grundlage dafür ist ein effektives Informationsmanagement, dessen vorrangiges Ziel DIPPOLD (2005, S. 258) folgendermaßen beschreibt: *„Jeder Stelle im Unternehmen müssen alle relevanten Informationen zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort und in der für den Verwendungszweck erforderlichen Qualität zur Verfügung stehen.“* Wird diese unternehmenszentrierte Sichtweise für die Betrachtung von Bauprojekten erweitert, so lässt sich die Forderung formulieren, dass in Bauprojekten alle Akteure durch die Bereitstellung relevanter Informationen zur richtigen Zeit in der erforderlichen Qualität unterstützt werden sollten. Für die Planungsphase eines Bauprojektes konstatiert BERKHAHN (Berkhahn et al., 2007, S. 21) hierzu: *„Es besteht in der Baupraxis ein Bedarf für Planungswerkzeuge, die eine Kooperation verteilter Planungsakteure effizient unterstützen und die relevanten spezifischen Planungsinformationen für den jeweiligen Planungsakteur zur Verfügung stellen.“* Diese Aussage lässt sich durchaus auch für alle Phasen eines Bauprojektes adaptieren. Der aus der beschriebenen Situation folgende Entwicklungsbedarf für eine kontextgerechte Unterstützung der Kollaboration im Bauwesen wird im Folgenden analysiert.

Das Konzept der Bauinformationsräume verfolgt den Ansatz, die Interdependenzen digitaler Gebäudemodelle mit anderen Fachmodellen (Leistungs-, Kosten-, Termin- und Risikomodelle) abzubilden (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16). Für die Aufgabenstellungen in unterschiedlichen Domänen werden verschieden große und umfangreiche Informationsräume benötigt. Deshalb ist es nötig, den jeweiligen Informationsbedarf (vgl. Abschnitt 2.2.3, S. 45) zum Zeitpunkt der Ausübung einer Aktivität zu bestimmen. Dieser ist abhängig vom Bearbeitungskontext des Akteurs.

Ein kontextbewusstes Informationslogistiksystem sollte die Fähigkeit besitzen, Situationen zu erkennen und Informationsressourcen zu bewerten. Ein solches System sollte in der Lage sein, einen kontextabhängigen Informationsbedarf zu antizipieren und einen entsprechenden Informationsraum zu generieren. Ein solcher kontextgerechter Informationsraum enthält genau die in der Bearbeitungssituation benötigten Informationen in Form von verknüpften und annotierten Fachmodellen. Für die Relevanzbeurteilung der einzelnen Fachmodelle im Projekt sind neben dem Informationsbedarf auch Beschreibungen der projektweit vorhandenen Fachmodelle nötig. Durch die Metainformationen der Informationsräume kann hierfür der Entstehungskontext der Fachmodelle übertragen werden. Unter Umständen ist es nötig, die als relevant erkannten Fachmodelle zu bearbeiten, um den Anforderungen zu entsprechen. Dafür müssen entsprechende Adaptionsmechanismen herausgearbeitet werden. Für die Zusammenstellung kontextgerechter Informationsräume können Informationsräume neu erzeugt oder adaptierte Fachmodelle zu vorhandenen Informationsräumen hinzugefügt werden. Diese Informationsräume können dann mit einer Arbeitsaufgabe einem Akteur direkt zugestellt oder über eine Plattform bereitgestellt werden.

Dabei kann eine effektive Kollaborationsunterstützung nur erreicht werden, wenn möglichst viele der bisher manuellen Tätigkeiten der Filterung, Verknüpfung und Transformation von Informationen durch smarte Anwendungssysteme übernommen werden. Deshalb ist für die

Umsetzung der beschriebenen Funktionen neben der Formalisierung der Informationsräume und der Kontextinformationen ein Regelsystem nötig, das zum einen die Auswirkung des Entstehungskontextes auf die Informationsbeschreibung beschreibt und zum anderen die Wirkung der Kontextaspekte des Situationskontextes auf den Informationsbedarf definiert. Nur so kann ein kontextbewusstes Informationslogistiksystem den Informationsbedarf des anfragenden Bearbeiters abschätzen und diesen anhand des Projektinformationsangebotes in Form eines kontextgerechten Informationsraumes befriedigen.

In Anlehnung an diese Vorbetrachtungen und die Anforderungen an eine kontextgerechte Informationslogistik (vgl. Abschnitt 2.2.3, S. 45) lassen sich folgende Entwicklungsaufgaben für die Konzeption und Implementierung einer Architektur für eine kontextsensitive Informationslogistik identifizieren:

T1: Automatische Erhebung des Entstehungskontextes

Der Entstehungskontext soll über Metadaten eine automatisierte Bewertung und Relevanzerkennung unterschiedlicher Informationen ermöglichen. Zusätzlich unterstützen solche Annotationen die Informationsinterpretation bei einem Informationsempfänger.

T2: Automatische Ermittlung des Bearbeitungskontextes

Der Bearbeitungskontext beschreibt die Bearbeitungssituation in einer maschineninterpretierbaren Form. Dafür notwendig sind Informationen über den Akteur (Erfahrungen, Kompetenzen und Nutzerprofil), dessen Einbindung im Projekt (Projektorganisation, Rollen) sowie die Eingangsbedingungen und Ergebnisdefinitionen der betrachteten Informationsprozesse.

T3: Ableiten des Informationsbedarfs

Aus dem Bearbeitungskontext lässt sich ein situativer Informationsbedarf ableiten. Dafür muss der Einfluss der einzelnen Kontextaspekte auf den Informationsbedarf formalisiert werden. Durch die Verknüpfung der Rollen- und Aufgabenbeschreibungen mit Bestandteilen von Fachmodellen über Aspekte des Kontextmodells kann so der Kontexteinfluss auf den Informationsbedarf formuliert werden.

T4: Ermitteln der relevanten Informationen

Anhand der Informationsbeschreibungen und des Informationsbedarfs ist eine Relevanzbetrachtung der Projektinformationen möglich. Je nach Informationsbedarf können über Metadaten als Auswahlkriterium die geeigneten Informationen für die Informationsbereitstellung gefunden werden. Da die Veränderungsgeschwindigkeit der Informationen hoch sein kann, muss die Informationsbereitstellung anhand des aktuellen Informationsangebots durchgeführt werden und kann nicht im Vorfeld geschehen.

T5: Erzeugung der kontextspezifischen Informationsräume

Im Rahmen einer proaktiven Informationsversorgung sollen die relevanten Informationen angepasst und als kontextgerechter Informationsraum an den Akteur übertragen werden (Push-Prinzip).

2.3.3 Abgrenzung verwandter Arbeiten

Bei der Betrachtung existierender Arbeiten im Themenbereich kontextsensitiver Anwendungen lassen sich die beiden Bereiche *Kontextinfrastruktur* und *Kontextverwendung* unterscheiden. Im Folgenden werden die verwandten Arbeiten in beiden Themengebieten diskutiert.

Verwandte Ansätze zur Kontextinfrastruktur

Viele Forschungsarbeiten beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Kontextinfrastruktur und beschrieben Ansätze zur Ermittlung, Bereitstellung und Übertragung von Kontextinformationen. In diesem Bereich leistete beispielsweise SCHILIT (1994) Pionierarbeit bei der Beschreibung einer kontextbewussten Systemarchitektur aus mehreren, voneinander unabhängigen Kontextapplikationen.

DEY UND ABOWD (2001) entwickelten ein auf drei Komponentenklassen basierendes *Context-Toolkit* als Entwicklungsumgebung für kontextsensitive Dienste. Sog. Contextwidgets erkennen Kontextinformationen (z. B. Messdaten, Ortsinformationen) und leiten diese an Contextserver weiter, die einzelne Kontextinformationen zu höherwertigen Kontextaspekten aggregieren. Contextinterpreter schließlich verarbeiten, transformieren die Kontextinformationen und leiten anwendungsspezifische Kontextinformationen ab.

GU ET AL. (2005) fokussieren mit einer „*Service-Oriented Context-Aware Middleware*“ (SOCAM) die Bereitstellung höherwertiger Kontextinformationen für kontextbenutzende Anwendungen. Verschiedene Kontextinformationen von unterschiedlichen Kontext Providern werden aggregiert und interpretiert. Ähnliche Architekturen werden in „*A Middleware for Context-Aware Agents in Ubiquitous Computing Environments*“ verwendet (Ranganathan und Campbell, 2003).

In der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschäftigte sich ein Sonderforschungsbereich an der Universität Stuttgart damit, „Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ zu definieren. Die in diesem Bereich entwickelte *Nexus-Plattform*⁷⁰ für kontextsensitive Dienste hat das Ziel, durch ein gemeinsames globales Kontextmodell eine Vielzahl von kontextbasierten Anwendungen mit Kontextinformationen zu versorgen (Rothermel, 2008). Dafür wurden sowohl eine Modellierungssprache als auch eine Anfragesprache entwickelt. Da die Intention von Nexus darin bestand, Mobilität und Ortsabhängigkeiten abzubilden, wurden vor allem Umgebungsinformationen (z. B. Position, Zeit, Temperatur, Helligkeit) modelliert. Diese Spezialisierung schränkt allerdings die Ausdrucksstärke ein, womit dieser Ansatz den in dieser Arbeit gestellten Anforderungen an ein generisches Kontextmodell (vgl. Abschnitt 2.2.3, S. 45) nicht gerecht wird.

CHEN ET AL. (2004) entwickelten an der Universität Maryland eine agentenbasierte Architektur zur Unterstützung kontextbewusster Anwendungen mit dem Namen „*Context Broker Ar-*

⁷⁰ <http://nexus.dfki.de/>

chitecture“ (CoBrA). In sog. intelligenten Räumen können Sensoren zur Auswertung von Kontextinformationen verknüpft werden. Ein sog. Context Broker verwaltet ein zentralisiertes Kontextmodell und angeschlossene Geräte, Dienste und Agenten können dieses Modell nutzen, um Kontextinformationen zu beschaffen oder höherwertige Kontextinformationen abzuleiten. Die Kontextinformationen fokussieren dabei das Umfeld des Pervasive Computing⁷¹, und der Austausch der Kontextinformationen findet nur innerhalb des aufgespannten CoBrA-Informationsraumes statt (Heil, 2012, S. 129). KRAUSE (2007, S. 44) kritisiert hier Schwächen in der Ausgestaltung des Kontextmodells und das Fehlen einer einheitliche Kontextmodellierung.

KRAUSE (2006) stellt ein Konzept für die Kontextbereitstellung in offenen, ubiquitären Systemen vor, in dem Kontextinformationen auch in spontanen, dynamischen Konfigurationen bereitgestellt, gefunden, ausgetauscht und verstanden werden sollen. Neben der Modellierung der Kontextinformationen und der darauf aufbauenden Beschreibung für Kontextinformationendienste werden auch Kontextkonstruktionsbäume vorgestellt, mit denen nichtverfügbare Kontextinformationen abgeschätzt oder abgeleitet werden können.

Eine gute Übersicht über die Entwicklung im Bereich der Kontextinfrastruktur geben (Weissensteiner, 2006, S. 34 ff.) und (Krause, 2007, S. 34 ff.)

Verwandte Ansätze zur Kontextverwendung

Der Bereich der Kontextverwendung beschäftigt sich mit der Anwendung von Kontextinformationen durch kontextsensitive Systeme. Diese Systeme lassen sich anhand der Leistungsmerkmale unterscheiden, die sie speziell durch die Verwendung von Kontextinformation besitzen. Eine verbreitete Klassifizierung dieser Art stellten DEY UND ABOWD (1999) vor. Diese wurde durch Rothermel (2008) diskutiert und ergänzt. In Anlehnung an deren Klassifikation können kontextsensitive Anwendungen in die Fähigkeitsfelder kontextgerechte Präsentation, automatische Ausführung, kontextbasierte Selektion sowie kontextabhängige Ausführung eingeordnet werden⁷².

Die *kontextgerechte Präsentation* beschreibt die Fähigkeit, Informationen kontextangemessen zu präsentieren. Diese Fähigkeit ist insbesondere bei der mobilen Informationsversorgung wichtig. Abhängig von den Fähigkeiten verschiedener mobiler Endgeräte (z. B. Displaygröße oder Rechenkapazität) und der Umgebungssituation (z. B. Helligkeit und Lautstärke) lassen sich Präsentationsformen variieren. Beispielsweise skizzierten CHEN UND KOTZ (2000) die Kontextverwendung zur Überwindung der Hürden der mobilen Anwendungsbereiche. Begrenzte Datenmengen (Übertragung und Speicher) und Displaygrößen sollen bei der Informationsversorgung berücksichtigt werden.

⁷¹ Der Begriff *Pervasive Computing* (pervasive = durchdringend) beschreibt die Durchdringung aller Teilbereiche des täglichen Lebens mit Computertechnologie.

⁷² Kontextsensitive Anwendungen werden detailliert in Abschnitt 3.2.3 „Möglichkeiten der Kontextintegration“ betrachtet.

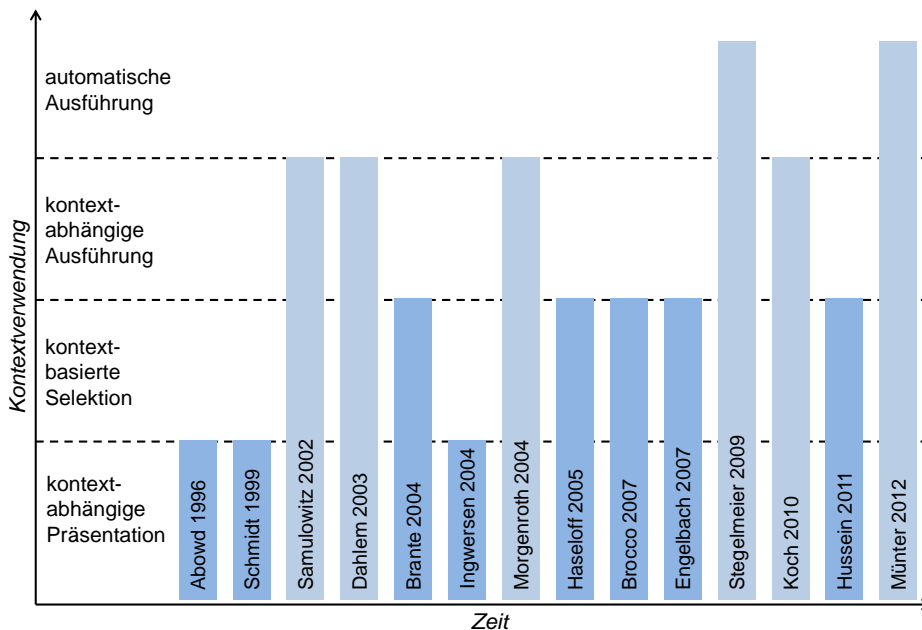


Abbildung 20: Entwicklung der Kontextverwendung

Dementsprechend stellen ZIPF UND JÖST (2006) ein kontextadaptives Geoinformationssystem vor, das für die Adaption von Kartendarstellungen auf mobilen Geräten die Restriktion von Bildschirmgröße und Übertragungsbandbreite beachtet. Eine kontextgerechte Präsentation spielt im Rahmen dieser Arbeit allerdings nur eine untergeordnete Rolle.

Die *automatische Ausführung* beschreibt die Fähigkeit, aufgrund bestimmter Kontextsituationen automatisch Dienste oder Anweisungen auszuführen oder ein System kontextangepasst neu zu konfigurieren. Hier lassen sich insbesondere Lösungen für die Kollaborationsunterstützung einordnen, die aufgrund von Umgebungsänderungen verschiedene Aktionen auslösen und Informationen bereitstellen oder Nachrichten versenden. Beispiele sind hier Lösungen zur situationsgerechten Navigationsunterstützung in Fahrzeugen (z. B. Münter, 2013) oder auch intelligente Raumsteuerungen (z. B. Stegelmeier et al., 2009).

Die *kontextbasierte Selektion* beschreibt die Fähigkeit, Funktionen oder Informationen kontextspezifisch auszuwählen. Ein großes Teilgebiet bilden hier ortsbasierte Ansätze im Bereich des Ubiquitous und Pervasive Computing zur Unterstützung mobiler Szenarien. Hier finden sich vor allem situationsangepasste Empfehlungssysteme für dynamische Umgebungen (Brocco et al., 2008; Engelbach und Delp, 2003). So beschrieb bereits ABOWD ET AL. (1997) die Verwendung von Ortsinformationen zur Verbesserung von elektronischen Stadt- und Museumsführern.

OPPERMANN ET AL. (1999) entwickelten dementsprechend einen mobilen Museumsführer, der sowohl eine angepasste Informationsbereitstellung als auch das angepasste Lernen der Besucher von Kunstausstellungen fokussierte. Ähnlich wurde auch im Rahmen des EU-Projekts

CRUMPET⁷³ ein mobiler Touristeninformationsdienst definiert, der personalisierte und ortsabhängige Tourismusinformationen sammelt und endgerätespezifisch darstellt (Schmidt-Belz et al., 2003). PETIT ET AL. (2006) beschreiben ein adaptives Geoinformationssystem für die maritime Navigation. Abhängig vom Nutzerkontext, dem geographischen Kontext und dem Systemkontext werden verfügbare Informationen ausgewählt und dargestellt. Bei den in dieser Arbeit fokussierten Kollaborationsszenarien in Bauprojekten spielen Ortsinformationen allerdings eine Nebenrolle, da die Akteure relativ statisch agieren.

Das zweite große Teilgebiet der *kontextbasierten Selektion betrifft das* kontextbasierte Information Retrieval. Hier werden wesentlich komplexere Kontextmodelle verwendet, um den situativen Informationsbedarf eines Anwenders zu antizipieren. PRIEBE ET AL. (2003) präsentierten hier einen Ansatz zur Integration von kontextbasiertem Information Retrieval in Portalsysteme. Der Entwurf geht davon aus, dass Benutzer ihren Informationsbedarf kennen und dieser über die Beobachtung von deren Navigation in einem Portalsystem erkennbar wird. Einen weiteren interessanten Ansatz zur Verwendung von Kontextinformationen für die Informationsversorgung im medizinischen Bereich untersucht KOCH (2010). Als Informationsressourcen werden dabei allerdings relativ einfach strukturierte Webseiten aus dem Internet verwendet, die kontextbasiert bewertet und dem Akteur vorgeschlagen werden. Einen ähnlichen Ansatz im Bauwesen entwickelte SCHREYER (2002). Ebenfalls auf der Basis von Webseiten werden kontextspezifisch Informationen über Baumaterialien präsentiert. Die Verwendung domänentypischer Fachmodelle oder gar eine kontextgerechte Adaption ist in allen drei Ansätzen nicht vorgesehen.

Einen ontologiebasierten Ansatz zur Unterstützung des Information Retrieval in Bauunternehmen beschreibt ISMAIL (2011). Hier werden Fachinformationen bewertet und für die Beschreibung des Informationsbedarfs ausgewertet.

Bei den beschriebenen Ansätzen wird davon ausgegangen, dass ein Akteur seinen Informationsbedarf selbst erkennt und durch sein Verhalten oder eine Anfrage preisgibt, die dann kontextbasiert beantwortet wird. Diese Vorgehensweise entspricht nicht der präferierten proaktiven Informationsunterstützung der vorliegenden Arbeit.

Eine andere Herangehensweise wählten HENRICH UND MORGEROTH (2006, S. V) für das kontextbasierte Information Retrieval. Sie definieren: „Kontextbasiertes Information Retrieval nutzt Informationen über die aktuelle Situation, den Kontext, in der sich ein Akteur befindet, um daraus auf einen möglichen Informationsbedarf des Akteurs zu schließen.“ Somit wird in diesem Ansatz nicht davon ausgegangen, dass ein Akteur seinen Informationsbedarf selbst erkennt und formuliert. In einem ähnlichen Ansatz versucht NEUNDORF UND RAPS

⁷³ CRUMPET, Creation of user-friendly mobile services personalized for tourism (Poslad et al., 2001).

(2004, S. 166) im Rahmen des Projekts KnowMore⁷⁴ die Bearbeiter wissensintensiver Aufgaben bei der Relevanzbeurteilung von Informationen zu unterstützen.

Die beiden letztgenannten Ansätze fokussieren somit eine proaktive kontextgerechte Informationsversorgung zur Unterstützung von Informationsprozessen, wie sie in Abschnitt 2.2 als Anforderung A4 an eine kontextgerechte Informationsversorgung formuliert wurden. Allerdings fehlen hier die Möglichkeit der Verwendung verknüpfter Fachmodelle (Anforderung A6) sowie die Beschreibung kontextgerechter Adaption (Anforderung A2).

Die *kontextabhängige Ausführung* letztendlich beschreibt die Fähigkeit, Methoden oder Anweisungen entsprechend dem Kontext unterschiedlich auszugestalten oder gar autonom auszuführen. Ansätze der kontextabhängigen Dienstnutzung lassen sich hier einordnen. So beschrieb SAMULOWITZ (2002) ein Konzept zur kontextadaptiven Dienstnutzung, das sowohl die Selektion als auch Ausführung von Diensten adaptiv gestaltet. Ähnlich beschreiben DAHLEM ET AL. (2003) kontextbezogene Anwendungen im medizinischen Bereich auf der Basis von kontextadaptiven Webservices. Einige Ansätze zur kontextbasierten Informationsversorgung besitzen sowohl die Fähigkeit der *kontextbasierten Selektion* als auch der *kontextabhängigen Ausführung* (so z. B. Henrich und Morgenroth, 2006; Koch, 2010). Die Abbildung 20 skizziert die historische Entwicklung ausgewählter Ansätze der Kontextverwendung.

2.3.4 Zusammenfassung

Die zurzeit im Bauwesen eingesetzten Projektplattformen unterstützen die Arbeit von räumlich und zeitlich verteilten Akteuren und stellen ihnen eine gemeinsame firmenübergreifende Informationsbasis zur Verfügung. Da die Informationslogistik im Bauprojekt überwiegend auf dem Austausch von Dokumenten zwischen den Projektbeteiligten basiert, decken die in der Praxis eingesetzten Projektplattformen hauptsächlich den Bereich der Kommunikationsunterstützung und des Dokumentenmanagements ab, wobei vereinzelte Produkte erweiterte Funktionen integrieren.

Allerdings bieten alle betrachteten Softwaresysteme nur eine eingeschränkte Situationsberücksichtigung. In Anbetracht der Zunahme der Menge und der Komplexität der Fachmodelle besteht hier eine Forschungslücke, die eine effektive situationsangepasste Informationslogistik im Bauwesen behindert. Auf der Grundlage dieser Analyse wurde im zweiten Teil dieses Abschnittes der Entwicklungsbedarf für die Konzeption und Implementierung einer Architektur für eine kontextsensitive Informationslogistik identifiziert. Es wurden fünf Teilaufgaben formuliert, die für die Erarbeitung eines Konzepts einer kontextgerechten Informationsversorgung als notwendig erachtet werden. Im letzten Teil des Abschnittes wurden verschiedene in der Literatur bekannte Ansätze der Kontextverwendung betrachtet und diskutiert. Obwohl viele dieser Ansätze oftmals ähnliche Intentionen verfolgen, sind sie jedoch

⁷⁴ KnowMore (Knowledge Management for Learning Organizations), DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern); <http://www.dfki.uni-kl.de/frodo/know-more.html>.

meistens durch ihr Anwendungsgebiet geprägt und selten generisch anwendbar. Insbesondere eine proaktive kontextbasierte Informationsversorgung bei Beibehaltung von bautypischen Fachmodellinterdependenzen fehlt. Die meisten untersuchten Arbeiten zu diesem Thema basieren auf der Verwendung von einzelnen unverknüpften Dokumenten, Webseiten oder Fachmodellen und fokussieren eine anwendergesteuerte fachdomäneninterne Zusammenarbeit. Die Akteure stellen meist direkte Anfragen an ein Informationssystem, das kontextunterstützt bearbeitet wird (Pull-Prinzip). Eine Integration von Kontextinformationen zur Verbesserung der gezielten Informationsversorgung hat bisher jedoch nicht stattgefunden. Bis auf wenige Ausnahmen geht die Verwendung von Kontextinformationen bei der Informationsversorgung in Bauprojekten meist nicht über die Nutzung von Rollen und Zugriffsberechtigungen hinaus. Weder der Erstellungskontext der Fachmodelle noch der Bearbeitungskontext der Akteure wird ausreichend berücksichtigt.

„Ein halbes Jahrtausend nach Gutenberg ist nicht der Mangel,
sondern der Überfluß an Informationen unser größtes Problem“

(Dorn, 1994, S. 13)

Kapitel 3 **Grundlagen kontextgerechter Informations- räume**

Wie bereits dargelegt wurde, ist für eine angemessene Unterstützung kollaborativer Informationsprozesse die Informationslogistik in Bauprojekten in verschiedenen Punkten zu erweitern. Eine Verbesserung der Informationsbereitstellung durch bedarfsgerechte Informationsräume und die Unterstützung deren kollaborativer Verwendung sind die Kernaspekte dieser Arbeit. In diesem Kapitel werden die grundlegenden Konzepte einer kontextbewussten Informationslogistik untersucht. Zunächst wird das Konzept der *multimodellbasierten Informationsräume* vorgestellt. Hier wird insbesondere auf die semantische Beschreibung der Informationsressourcen und die Verwendung von Multimodellvorlagen zur Repräsentation von Informationsbedarfen eingegangen. Der darauf folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der *Kontextmodellierung*. Für die Abbildung des Bearbeitungskontextes wird ein hierarchisches Kontextmodell erarbeitet, das verschiedene Aspekte der kollaborativen Fachmodellbearbeitung beschreibt. Danach wird der Einfluss der Kontextinformationen sowohl auf Informationsbeschreibungen als auch auf Informationsbedarfe untersucht. Davon ausgehend werden bauspezifische Kontextinformationen und deren Quellen ermittelt. Anschließend wird die Erzeugung kontextgerechter Multimodelle betrachtet. Dafür werden Möglichkeiten der Informationsraumadaptivität erörtert und Möglichkeiten zur Formalisierung von Kontextabhängigkeiten durch sog. *Kontextwirkrelationen* beschrieben.

3.1 Multimodellbasierte Informationsräume

Überblick

Informationsprozesse in Bauprojekten finden sowohl über die Grenzen von Fachdisziplinen und Organisationen als auch über die Grenzen von Fachmodellen und Fachanwendungen hinweg statt. Aufgrund dieser Interdisziplinarität entstehen bei einer projektweit gemeinsamen Verwendung von Informationen sowohl syntaktische als auch semantische Hürden. Mit der Überwindung dieser Hürden durch die Verwendung multimodellbasierter Informationsräume beschäftigt sich dieses Unterkapitel. Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die Metapher des Informationsraumes. Als Formalisierungsgrundlage für interdisziplinäre Informationsräume wird anschließend der Ansatz des generischen Multimodells eingeführt. Multimodelle ermöglichen es, Fachmodelle gemeinsam mit deren Interdependenzen übertragbar abzubilden und somit syntaktische Hürden zu überwinden. Zur Begegnung der semantischen Heterogenität wird ein Kennzeichnungssystem für Multimodellinfor-

mationsräume im Bauwesen erarbeitet. Dieses System wird im Folgenden für die Beschreibung von Informationsbedürfnissen durch Multimodellvorlagen genutzt. Abschließend wird die Verwendung von multimodellbasierten Informationsräumen in Bauprojekten skizziert.

3.1.1 Interdisziplinäre Informationsräume

Die Bearbeitung kollaborativer Informationsprozesse im Bauwesen zeichnet sich durch räumliche und zeitliche Trennung der beteiligten Akteure und der Kollaborationsobjekte aus (vgl. Abschnitt 2.1.1, S. 11). Dabei bilden Akteure mit unterschiedlichen Rollen und Hintergründen heterogene koagierende Teams, die verschiedenste Aufgabenstellungen gemeinsam bearbeiten. Deren Informationsversorgung und Kommunikation basiert hauptsächlich auf dem domänenübergreifenden Austausch von Fachmodellen (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16).

Viele Problemstellungen im Bauwesen lassen sich nur lösen, indem Fachmodellelemente miteinander in Beziehung gesetzt werden⁷⁵. Daher werden einzelne Fachmodelle selten isoliert bearbeitet. So verknüpfen insbesondere verschiedene 4-D- und 5-D-Softwareanwendungen, die im Bauwesen zunehmend Anwendung finden, Bauwerksobjekte mit Elementen von Planungs- und Controlling-Modellen⁷⁶. Die bei der Bearbeitung verwendeten, sowohl modellinternen als auch modellübergreifenden Interdependenzen (vgl. Abschnitt 2.1.3, S. 29) werden manuell konstruiert und durch das Datenmodell der jeweiligen Fachanwendung abgebildet. Nach der Bearbeitung werden die Verknüpfungen in einem proprietären Dateiformat gespeichert oder gar verworfen. Sollte eine andere Aufgabenstellung diese Verknüpfungsinformationen abermals benötigen, so müssen sie erneut erzeugt werden. Ein Ausweg besteht darin, die Interdependenzen gemeinsam mit den Fachmodellen abzubilden. Für solcherart verknüpfte Informationszusammenstellung hat sich der Begriff *Informationsraum* (engl. Information Space) etabliert. Die Raummetapher betont dabei die Möglichkeit, sich durch die verknüpften Informationsstrukturen virtuell zu bewegen. In der Literatur lassen sich für diesen Begriff verschiedene Definitionen finden. Während NEWBY (1996) relativ verwendungsoffen Informationsräume als „*a set of concepts and relations among them held by an information system*“ definiert, fokussiert VAN HOOFF (2003) den Raumcharakter und bezeichnet einen Informationsraum als „*mehrdimensionale Struktur für Ordnung von, Navigation durch und Zugriff auf Informationen*“. WENDER (2009) konkretisiert diese Definition: „*Unter einem Informationsraum wird eine strukturierte Menge von Informationseinheiten verstanden, die physisch oder digital repräsentiert sein kann. Die durch die Beziehungen zwischen den Informationseinheiten gebildeten Strukturen können dabei von Menschen zur Bewegung durch den Informationsraum verwendet werden.*“

⁷⁵ Vgl. Abschnitt 1.3, These 1: Im Bauwesen werden verknüpfte Informationen verwendet.

⁷⁶ So werden beispielsweise bei der Angebotserstellung im Rahmen von Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) Bauwerksmodelle mit Kosten- und Vorgangsmodellen in Beziehung gesetzt (vgl. Abschnitt 4.3.1). Beispiele hierfür sind z. B. iTWO, Navisworks, Synchro oder Vico Office Suite (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Damit die Verknüpfungsstrukturen für eine Navigation innerhalb des Informationsraumes genutzt werden können, müssen die einzelnen Informationseinheiten identifizierbar und bewertbar sein. Dies kann durch semantische Metadaten erreicht werden. Mit Blick auf die Zusammensetzung können drei Varianten von Informationsräumen unterschieden werden (Härtwig, 2009, S. 52). Während *einschichtige Informationsräume* lediglich aus einer Sammlung von Fachmodellen bestehen, stellen *zweischichtige Informationsräume* zusätzlich Relationen zwischen den Modellelementen dar. *Dreischichtige Informationsräume* enthalten darüber hinaus semantische Inhaltsbeschreibungen in Form von Metadaten. Im Rahmen dieser Arbeit werden dreischichtige Informationsräume betrachtet und mit dem Fokus auf der Verwendung als übertragbare Informationsressourcen werden die vorgenannten Definitionen folgendermaßen zusammengefasst:

Definitionen 13 (Informationsraum) *Ein Informationsraum besteht aus einer semantisch beschriebenen Menge instanzierter oder referenzierter Informationsressourcen sowie zugehöriger semantischer Verknüpfungsinformationen.*

Informationsräume werden somit durch eine Objektmenge definiert, deren Elemente mittels einer Verknüpfungsstruktur verbunden sein können. Als Elemente des Informationsraumes werden sowohl direkt eingefügte Informationsressourcen als auch Referenzen auf (ggf. entfernt gespeicherte) statische (z. B. Dateien) oder dynamische Informationsquellen (z. B. Datenbanken, Webservices) betrachtet. Durch eine modellexterne Beschreibung der Interdependenzen zwischen den Elementen der Informationsressourcen kann eine lose Kopplung erzeugt werden, die originäre Informationsobjekte nicht verändert (Wünsche, 1997). Dadurch können einzelne Informationsressourcen auch in unterschiedlichen Informationsräumen verwendet oder referenziert werden (Krappe, 2009, S. 38). Alle in einem Projekt verwendeten Informationsressourcen spannen einen *Projektinformationsraum* (engl. Project Information Space) auf, dessen Kernaufgabe in der Datenintegration aller im Projekt verwendeten Informationen besteht. Die Konzepte des Projektinformationsraumes stellen damit eine Vereinigungsmenge der verknüpften Modellkonzepte dar.

Definitionen 14 (Projektinformationsraum) *Ein Projektinformationsraum ist ein Informationsraum, der alle in einem Projekt verwendeten Informationsressourcen und deren Verknüpfung enthält.*

Durch die lose Kopplung und die Zugriffsmöglichkeit auf die originalen Informationsobjekte ergeben sich keine Einschränkungen des Anwendungsbereiches. Allerdings können Projektinformationsräume aufgrund der Menge möglicher Verknüpfungen schnell sehr groß und unübersichtlich werden⁷⁷. Für die Bearbeitung einzelner Aufgabenstellungen werden selten alle vorhandenen Informationsressourcen benötigt. Daher ist es angebracht, für die Informationsversorgung spezifischer Aufgabenstellungen Teilmengen des Projektinformationsraumes abzugrenzen, die nur die zur Aufgabenbearbeitung notwendigen Daten und Verknüpfungen enthalten.

⁷⁷ Vgl. Abschnitt 1.2, These 4: Die Menge und Komplexität der im Bauprojekt verwendeten Fachmodelle wächst.

Diese Teilmenge wird *kontextspezifischer Informationsraum* (engl. Context Specific Information Space) genannt⁷⁸.

Definitionen 15 (kontextspezifischer Informationsraum) *Ein kontextspezifischer Informationsraum ist eine Teilmenge des Projektinformationsraumes, die gezielt auf eine Bearbeitungssituation zugeschnitten ist.*

Da kontextspezifische Informationsräume eine spezifische Teilmenge der Informationsressourcen und Verknüpfungen des Projektinformationsraumes enthalten, haben sie nur einen eingeschränkten Anwendungsbereich. Die Auswahl der Inhalte kontextspezifischer Informationsräume wird durch den Kontext⁷⁹ einer Bearbeitungssituation (z. B. Aufgabenstellung, Anwenderrolle und Projektstatus) bestimmt.

Informationsraumbasierte Informationslogistik

Bei der Verwendung von Informationsräumen als Basis für eine projektweite Informationslogistik (vgl. Abschnitt 2.1, S. 11) lassen sich in Anlehnung an HÄRTWIG (2003) vier Grundkonzepte identifizieren⁸⁰. Die Verwendung dieser Grundkonzepte zur Verwaltung, Beschreibung, Segmentierung und Assemblierung von Informationsräumen wird durch Abbildung 21 veranschaulicht und im Folgenden näher beschrieben. Die Komposition eines kontextspezifischen Informationsraumes durch die Bündelung und Verknüpfung von relevanten Informationsressourcen aus dem gemeinsamen Projektinformationsraum wird durch das Konzept des *Information Engineering*⁸¹ beschrieben. Zur Deckung eines spezifischen Informationsbedarfes wird ein kontextspezifischer Informationsraum erzeugt und an den betreffenden Akteur übertragen. Das Konzept des *Information Sharing* beschreibt die kollektive Verwertung projektweiter Informationsbestände. Basierend auf der Annahme, dass Akteure mit gleichen Rollen und Aufgaben innerhalb einer kollaborativen Aufgabenbearbeitung einen ähnlichen Informationsbedarf haben, können verschiedene Akteure einen kontextspezifischen Informationsraum gemeinsam verwenden. Das Konzept des *Information Shaping* beschreibt die Transformation eines gemeinsamen Informationsraumes im Zuge der Prozessbearbeitung. Während der sequentiellen Aufgabenbearbeitung werden beim Durchlaufen der einzelnen Aktivitäten die Modellelemente der Informationsräume verknüpft und bearbeitet. Dadurch wird der Informationsraum sukzessive erweitert, verfeinert und ausgestaltet.

⁷⁸ Diese Definition entspricht dem Ansatz von Härtwig (2009, S. 39), der den Informationsraum als eine „Datenstruktur zur rollen- und aufgabenangepassten Informationsversorgung“ zur Unterstützung wissensintensiver Aufgaben definiert. Allerdings kann durch die Möglichkeit der Referenzverwendung in dem hier vorgestellten Ansatz die explizite Unterscheidung zwischen Informationsressourcen und semantischen Informationen vernachlässigt werden.

⁷⁹ Vgl. Abschnitt 3.2.1.

⁸⁰ HÄRTWIG (2009, S. 50 ff.) definiert zusätzlich zu den hier vorgestellten Konzepten das anwendergetriebene Konzept des *intelligent Information Retrieval*. Da die vorliegende Arbeit die automatisierte Informationsversorgung fokussiert, wird dieses Konzept ausgeklammert.

⁸¹ In der Literatur findet sich auch die synonyme Verwendung des Begriffes „Content Engineering“.

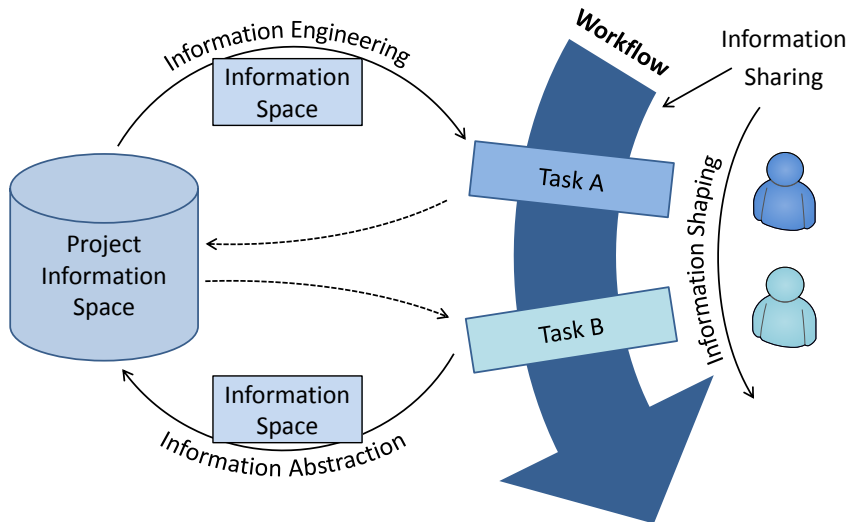


Abbildung 21: Grundkonzepte der informationsraumbasierten Informationslogistik

Nach der Bearbeitung wird der gemeinsame Informationsraum in den Projektinformationsraum zurückgeführt. Das Konzept der *Information Abstraction* beschreibt die Abstrahierung und Bereitstellung von Teilen eines Informationsraumes für andere Akteure. Eine semantische Beschreibung des Informationsraumes durch Metadaten unterstützt dabei die Interpretation der enthaltenen Informationen.

3.1.2 Der generische Multimodellansatz

Für die Formalisierung von Informationsräumen sind Datenstrukturen notwendig, die modellübergreifende Verknüpfungsstrukturen geeignet abbilden können. Im Rahmen des Forschungsprojektes *Mefisto* wurde ein Konzept entwickelt, um modellbasierte Informationen aus unterschiedlichen Bereichen des Planens und Bauens für die kollaborative Bearbeitung komplexer Bauaufgaben zu integrieren. Die grundlegende Idee besteht darin, verschiedene Fachmodelle aus der Objektplanung und dem Bauprojektmanagement (z. B. Gebäude-, Leistungs-, Kosten- und Vorgangsmodelle) zu einem Geschäftsobjekt zu kombinieren, um die Hürde der syntaktischen Heterogenität unterschiedlicher Fachmodelle zu überwinden und diese gemeinsam mit ihren Interdependenzen übertragbar abzubilden. Durch eine zusätzliche semantische Beschreibung durch Metadaten soll auch die semantische Hürde überwunden werden (Scherer und Schapke, 2011, S. 586).

Als Grundlage entstand das Konzept für ein *generisches Multimodell*. Das Multimodellkonzept zielt somit darauf ab, sowohl die syntaktischen als auch die semantischen Hürden bei der Verwendung verknüpfter heterogener Informationsmodelle zu überwinden indem zusammengehörende Informationsmodelle, deren Interdependenzen und deren Semantik zu einer gemeinsamen Informationsressource kombiniert werden. Die Konzeption des Multimodells ist streng generisch und macht keine Vorgaben über die Strukturierung, Semantik und For-

malisierung der verwendeten *Informationsmodelle*.⁸² Sowohl modellbasierte als auch unstrukturierte Informationsressourcen können verknüpft werden. Die Informationsmodelle müssen dabei nicht direkt im Multimodell als Instanzen abgelegt sein, sondern können auch über externe Persistenzsysteme bereitgestellt werden (z. B. Web- oder Cloud-Ressourcen)⁸³. Zur Abbildung der verschiedenen modellübergreifenden sowie modellinternen *Interdependenzen* werden strukturell oder sachlich zusammengehörende Modellelemente als Links gruppiert und unter Verwendung bestehender Identifikatoren in zusätzliche Linkmodelle referenziert.⁸⁴ Strukturell oder sachlich zusammengehörende Links werden zu Linkelementen zusammengefasst, die damit als mehrwertige Relationen n Elemente aus m Fachmodellen verknüpfen. In einem Multimodell können mehrere Linkmodelle für verschiedene Zielsetzungen existieren.

Die Abbildung 22 stellt die Struktur eines Multimodells dar. Die schwarzen Pfeile symbolisieren die Verlinkung der Fachmodellelemente (Kreise) mit den Linkelementen (Quadrate). Die *Semantik* der verwendeten Informationsmodelle wird durch spezielle Multimodellmetadaten beschrieben und dem Multimodell hinzugefügt. Durch die lose Kopplung über separate ergänzende Spezifikationen werden die in unterschiedlichen Anwendungsbereichen etablierten Modellformate nicht verändert und können uneingeschränkt weitergenutzt werden. Ebenso lassen sich neue Anwendungsdomänen mit zugehörigen Informationsmodellen und Softwareanwendungen flexibel integrieren.

Der Multimodellansatz kennzeichnet einen Paradigmenwechsel. Insbesondere stellt die Kombination und externe Verlinkung unveränderter Fachmodelle mit unterschiedlichen Strukturen und Formalisierungen durch Multimodelle stellt einen holistischen Gegenentwurf zu der viele Jahre verfolgten Strategie der integrierten Projektinformationsmodelle dar, der auf die Vereinheitlichung der Informationen unterschiedlicher Anwendungsdomänen in einem Format abzielt⁸⁵. Es können implizite Interdependenzen explizit persistiert werden und eine wiederholte manuelle flüchtige Zuordnung entfällt.

⁸² Fuchs et al. (2011) beschreibt das Konzept detailliert und stellt auch eine Referenzimplementierung vor.

⁸³ Durch die Referenzierungsmöglichkeit eröffnen sich zusätzliche Verwendungsmöglichkeiten im mobilen Bereich, da eine wiederholte Übertragung gleicher Informationsmodelle für verschiedene Arbeitsaufgaben vermieden werden kann.

⁸⁴ Die Links setzen sich jeweils aus den zwei Identifikatoren der verknüpften Elemente der Informationsmodelle zusammen. Zusätzliche Informationen können Art, Richtung und Gewichtung des Links angeben. Weiterführende Informationen, insbesondere zur Verfahrensweise bei fehlenden Identifikatoren, finden sich in (Fuchs, 2014, S. 61 ff.).

⁸⁵ Vgl. Abschnitt 2.2.1, S.31: Trends der Forschung zur Standardisierung von Baufachmodellen.

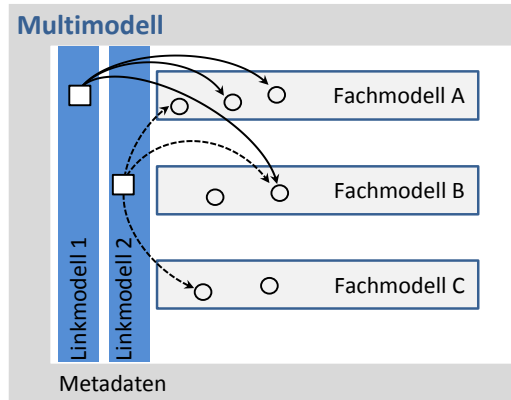


Abbildung 22: Struktur eines Multimodells

In Anlehnung an Fuchs et al. (2011) lassen sich Multimodelle folgendermaßen definieren:

Definitionen 16 (Multimodell) *Ein Multimodell ist eine übertragbare Zusammenstellung von Informationsmodellen und Linkmodellen sowie deren semantische Beschreibung. Informationsmodellelemente können durch Linkmodellelemente verknüpft werden.*

Für den Austausch können Multimodelle als *Multimodellcontainer* (MMC) serialisiert werden. In einem MMC werden die verwendeten Informationsmodelle abgelegt oder referenziert und Linkmodelle sowie Metadaten angefügt (Fuchs, 2014). Das generische Multimodellkonzept ist völlig domänen- und anwendungsneutral und macht keine Vorgaben zu den Inhalten der Fach- und Linkmodelle. Daher kann es auch außerhalb des Bauwesens verwendet werden.

Spezifikation multimodellbasierter Informationsräume

Der Multimodellansatz ermöglicht die Formalisierung von Informationsräumen. Deren Mindestanforderungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (in Anlehnung an Fuchs, 2014):

- Ein Informationsraum muss mindestens ein Fachmodell ($fm_i \in FM$) enthalten⁸⁶.
- Das Vorhandensein von Linkmodellen ($lm_j \in LM$) ist nicht obligatorisch. Insbesondere in den ersten Projektphasen kann ein Linkmodell fehlen bzw. wird dieses erst erstellt.

$$FM_i = (\{fm_1, \dots, fm_i\} \mid i \in \mathbb{N})$$

$$LM_j = (\{lm_1, \dots, lm_j\} \vee \{\} \mid j \in \mathbb{N})$$

⁸⁶ In Abweichung zu Fuchs (2014) vertritt der Autor die Ansicht, dass auch Multimodelle mit nur einem Fachmodell sinnstiftend angewendet werden können.

- Ein Informationsraum muss semantisch beschrieben sein. Dafür wird das Vorhandensein von Metadaten (md) gefordert.
- Ein multimodellbasierter Informationsraum ($InfSpace_{MM}$) besteht somit im Wesentlichen aus einem Tupel einer Menge von Fachmodellen (FM), Linkmodellen (LM) sowie zugehörigen Metadaten (md).

$$InfSpace_{MM} = (FM, LM, md)$$
- Die formale Spezifikation eines multimodellbasierten Informationsraums im Rahmen dieser Arbeit stellt sich somit folgendermaßen dar:

$$InfSpace_{MM} = (\{\{fm_0, \dots, fm_i\}, md\} \vee \{\{fm_0, \dots, fm_i\}, \{lm_0, \dots, lm_j\}, md\} \mid i, j \in \mathbb{N})$$

Spezialisierung

Für die Verwendung der Multimodelle in den jeweiligen Fachdomänen müssen einige Voraussetzungen geschaffen werden. Grundsätzlich sollten die Datenschemas der verwendeten Fachmodelle bekannt sein. Des Weiteren müssen die verwendeten Vokabulare der Metadatenbeschreibungen für alle Beteiligten verständlich sein. Da dieses nicht allumfassend für alle denkbaren Anwendungsszenarien realisierbar ist, muss sowohl die fachliche als auch die technische Variabilität des generischen Multimodells beschränkt werden. Durch eine Spezialisierung für verschiedene Anwendungsszenarien können die Datenqualität und die Interpretierbarkeit erhöht werden. Eine solche Spezialisierung des Multimodells kann auf vier verschiedenen Ebenen erfolgen (vgl. Abbildung 23). Aufbauend auf der Systematik des generischen Multimodells (1) wird die Semantik der Metadaten durch die Festlegung des verwendeten Annotationsvokabulars bestimmt (2)⁸⁷. Inhaltlich werden die zulässigen Fachmodelltypen auf die in dem betrachteten Szenario verwendeten Mengen beschränkt (3). Technische Parameter legen schließlich den Aufbau des Austauschformates (Containerformat) und der Metadatenstruktur (Metadatenschema) fest (4). Für die Absicherung und Optimierung des physischen Datenaustauschs kann ein Multimodellcontainer zusätzlich verschlüsselt oder komprimiert werden. Die technischen Parameter solcher spezialisierten Multimodellcontainer müssen projektweit abgestimmt werden (z. B. durch Vorgaben in Projekthandbüchern).

Domänenspezifische Multimodellcontainer

Für den Austausch von Informationsräumen innerhalb der kollaborativen Informationsbearbeitung in Bauprojekten entstand im Rahmen des Forschungsprojektes *MEFISTO* mit dem *Multimodellcontainer* eine bauspezifische Spezialisierung des generischen Multimodells (Scherer und Schapke, 2011). Dafür wurden die Metadatenvokabulare, die zulässigen Modelltypen und das Austauschformat spezifiziert. Als Informationsmodelle werden dabei sowohl modellbasierte Fachmodelle als auch unstrukturierte Projektinformationen (z. B. Kataloge, Beispiele, vertragliche Grundlagen) betrachtet.

⁸⁷ Beispielsweise durch die Verwendung eines kontrollierten Vokabulars.

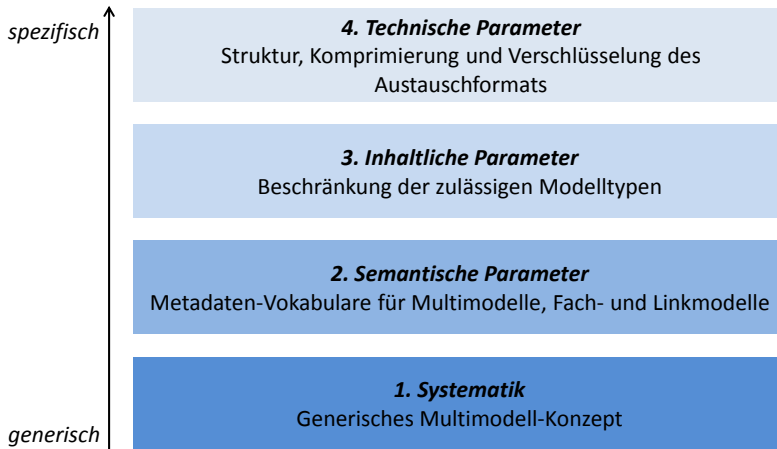


Abbildung 23: Spezialisierungsebenen des Multimodellkonzeptes

Insbesondere können neben heterogenen Fachmodellen auch Modelle verschiedener Entwicklungsstufen oder Granularitäten miteinander verknüpft werden, um beispielsweise unterschiedliche Versionen und Varianten abzubilden. Der verwendete Multimodellcontainer umfasst neben den Fachmodellen und den Linkmodellen weitere Metadaten für die Beschreibung sowohl der Qualitäten der verknüpften Fachmodelle als auch von deren Projekteinbindung (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 70). Abbildung 24 zeigt einen bautypischen Multimodellcontainer für die Ausschreibung eines Rohbaus. Ein Linkmodell (LM) verbindet dabei die logisch zusammengehörenden Elemente eines Bauwerksmodells (Bauwerkobjekte), eines Leistungsverzeichnisses (LV-Positionen) und eines Rahmenterminplans (Terminplanvorgänge) miteinander.

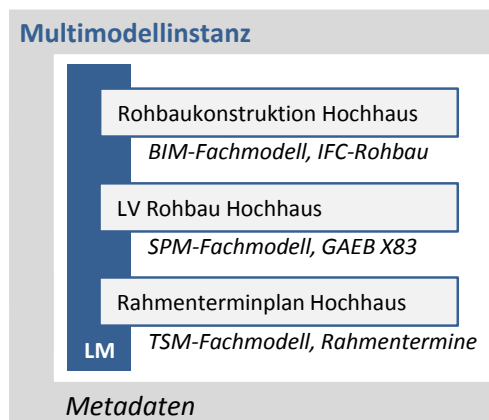


Abbildung 24: Multimodellcontainer für eine Ausschreibung⁸⁸

⁸⁸ Vgl. Abschnitt 5.3.1.

3.1.3 Semantische Beschreibung von bautypischen Multimodellen

Sowohl für die interdisziplinäre Kollaboration als auch für eine maschinelle Verarbeitung birgt eine unterschiedliche Interpretation von Informationen die Gefahr einer fehlerhaften Verwendung. Deshalb muss für eine domänenübergreifende Verwendung ein klares gemeinsames projektweites Verständnis der Informationsräume durch beteiligte Akteure und Anwendungen sichergestellt werden (Eigner, 2010, S. 88). Die notwendige semantische Interoperabilität kann durch eine homogene Beschreibung des Informationsraums sowie durch die projektweite Verwendung eines kontrollierten Annotationsvokabulars erreicht werden. Ausgehend von den in Abschnitt 2.1.3 untersuchten Annotationsstandards und Klassifikationssystemen wird nachfolgend ein semantisches Beschreibungsmodell für Informationsräume im Bauwesen vorgestellt. Schrittweise wird ein Kennzeichnungssystem für Fachmodelle und Linkmodelle erarbeitet, das in der weiteren Arbeit als Basis der Beschreibung multimodellbasierter Informationsräume dient.

Kennzeichnungssystem für Fachmodelle

Eine Anreicherung mit semantischen Zusatzinformationen kann sowohl modellintern als auch modellextern erfolgen (vgl. Abschnitt 2.1.3, S. 29). Modellinterne Attributierungen werden von den jeweiligen Fachanwendungen (bzw. verwendeten Standards) vorgegeben und sind meist nicht projekintern änderbar. Daher werden zur Beschreibung der in Informationsräumen eingebundenen Fach- und Linkmodelle modellexterne Metadatenannotationen verwendet (Fuchs, 2014, S. 5).

Um eine große Anzahl relevanter Informationsprozesse im Bauwesen zu unterstützen, ist für die Strukturierung solcher Metadaten eine Systematik notwendig, die verschiedene spezifische Beschreibungsaspekte abdeckt und dennoch eine genügend hohe Allgemeingültigkeit besitzt. Das im Folgenden erarbeitete Kennzeichnungssystem basiert auf einem Ansatz von SCHAPKE ET AL (2014, S. 156). Mit dem Fokus auf einer handhabbaren Beschreibung von Informationsbeständen und -bedürfnissen wird ein siebenteiliges Kennzeichnungssystem vorgeschlagen, das sich in vier Bereiche gliedert. Die verschiedenen Modellattribute werden in die Bereiche eingeordnet und deren Annotationsvokabular wird erläutert. Die Abbildung 25 stellt die fachsemantischen Annotationen als Indizes eines Fachmodells dar.

Der *Modellierungsaspekt* (in der Abbildung 25, oben links) benennt den Fachmodelltyp des Modells:

- **Fachmodelltyp:** Dieses Attribut repräsentiert den Modelltyp (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16). Innerhalb der verschiedenen Modellierungsdomänen (vgl. Abschnitt 2.1.1, S. 11) existieren verschiedene Modelltypen, die verschiedene Modellqualitäten und -inhalte innerhalb der Domäne vorgeben. Die Auswahl der verwendeten Modelltypen hängt von der Art des Bauprojektes ab – nicht in allen Projekten sind alle Modelldomänen beteiligt. Die Fachmodelldomänen lassen sich monohierarchisch nominal klassifizieren (vgl. Scherer und Schapke 2014, S. 20). Da die Fachmodelltypen ihren jeweiligen Modelldomänen eindeutig zugeordnet sind, muss die Modelldomäne nicht als Attribut mitgeführt werden.

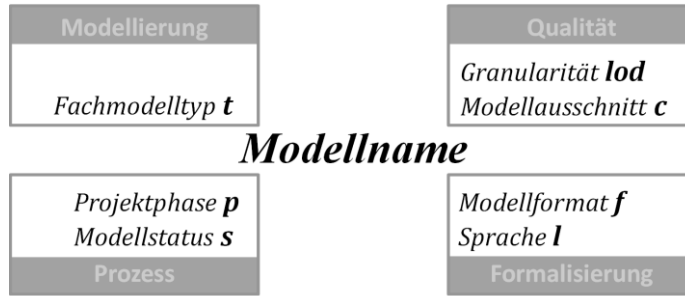


Abbildung 25: Kennzeichnungssystem der Fachmodelle

Die *Qualitätsattribute* (Abbildung 25, oben rechts) beschreiben im Wesentlichen Modellqualitäten:

- **Modellgranularität:** Diese Qualität beschreibt den Detaillierungsgrad des Fachmodells durch Angabe einer Detailstufe des Fachmodells (engl. Level of Detail, lod). Verschiedene Modelle desselben Modelltyps können unterschiedliche Arten von Modellelementen besitzen. Beispielsweise sind ein Grobterminplan und ein Ausführungsterminplan unterschiedlich fein strukturiert. Ähnliches gilt für Kostenmodelle. Eine Bestimmung der Granularität basiert auf den Gliederungskonzepten der verschiedenen Fachmodelltypen. Üblich sind objektbezogene (z. B. CityGML, vgl. Tabelle 5: Informationsraumexterne Abhängigkeiten) sowie vorgangsbezogene Detaillierungsstufen. Alternativ lassen sich Granularitäten auch transitiv über verknüpfte Fachmodelle herleiten bzw. definieren (z. B. eine Kostenberechnung auf Basis einer vorgegebenen Bauwerksmodellgranularität).
- **Modellausschnitt:** Die Beschreibung von Ausschnitten aus Gesamtmodellen basiert ebenfalls auf den Gliederungskonzepten der verschiedenen Fachmodelltypen. Auch hier sind transitive Gliederungen nach den Gliederungskonzepten verknüpfter Fachmodelltypen möglich (z. B. ein Bauwerksausschnitt, der dem Bauabschnitt eines Vorgangsmodells entspricht)⁸⁹. Um eine Orientierung im Gesamtmodell zu gewährleisten, ist es wichtig, bei der Ausschnittsdefinition zwischen einem reinen Teilmodell und einem definierten Bereich mit anderer Detaillierung zu unterscheiden (z. B. detaillierte Darstellung einer Gebäudeetage bei gleichzeitig grob aufgelöster Darstellung der Gebäudeaußenflächen).

Prozessaspekte (in der Abbildung 25, unten links) beschreiben den Bearbeitungsstand und die Einbindung des Modells in Kollaborationsprozesse.

- **Projektphase:** Das Qualitätsattribut Projektphase gibt an, in welcher Projektphase das betreffende Fachmodell erstellt wurde. Für die Einteilung von Bauprojekten

⁸⁹ Vgl. Abschnitt 5.2, S. 232.

existieren verschiedene Phasenmodelle (vgl. Abschnitt 2.1.1, S. 11). Das jeweils verwendete Phasenmodell wird projektweit vereinbart

- **Modellstatus:** Fachmodelle durchlaufen unterschiedliche Bearbeitungsprozesse, als deren Ergebnis sie verschiedene Bearbeitungsstatus erhalten. Zur Dokumentation des aktuellen Bearbeitungsstandes bietet sich eine einfache ordinale Skala mit vier Bearbeitungsstatus an: Anfrage (α), Entwurf (β), Vereinbart bzw. Freigegeben (γ), Verworfen bzw. Veraltet (ϵ) (Schapke, 2014).

Formalisierungsattribute (in der Abbildung 25, unten rechts) beschreiben die Formalisierungsvariante des vorliegenden Modells.

- **Modellformat:** Für den Austausch der Fachmodelle existieren verschiedene domänenspezifische und modelltypabhängige Dateiformate. Als Vokabular für Dateiformate eignet sich eine modelltypabhängige Liste der anwendbaren Dateiformate⁹⁰.
- **Sprache:** Die Qualität Sprache gibt an, in welcher Landessprache das Modell erstellt wurde. Insbesondere in größeren internationalen Projekten können durch die Verwendung verschiedener Sprachen der beteiligten Nationalitäten Kommunikationsbarrieren entstehen. Dies ist insbesondere relevant bei Fachmodellen mit einem hohen semantischen Anteil (z. B. Leistungsverzeichnisse).

Abschließend muss das Modell noch explizit durch einen Namen benannt werden:

- **Modellname:** Der Modellname dient zur Identifizierung des Fachmodells. Bis auf ggf. vorhandene projektweite Vorgaben zur Namensgebung gibt es hier keine Beschränkungen.

Multimodell-Instanz		Domäne	Format	LoD	Ausschnitt	Phase	Status	Sprache
LM	Rohbaukonstruktion Hochhaus <i>BIM-Fachmodell, IFC-Rohbau</i>	GM BIM.BEM	IFC 2x3	4	KG bis 2.EG	PP	γ	Engl.
	LV Rohbau Hochhaus <i>SPM-Fachmodell, GAEB X83</i>	LV SPM.QTO	GAEB X83	5	KP Rohbau	PP	γ	Dt.
	Rahmenterminplan Hochhaus <i>TSM-Fachmodell, Rahmentermin</i>	TP TSM.TSC	XML	3	KW 15-30	PP	β	Dt.
<i>Metadaten</i>						PP	β	Dt.

Abbildung 26: Metadaten eines Multimodells für die Ausschreibung von Bauleistungen

⁹⁰ Für die Modellierung dieser Abhängigkeit vgl. Abschnitt 3.2.5.

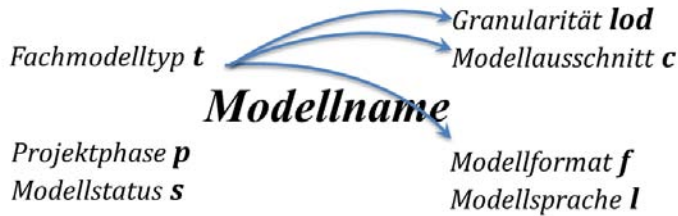


Abbildung 27: Informationsrauminterne Attributabhängigkeiten

Abbildung 26 stellt diese Abhängigkeiten anhand eines Beispiels für die Ausschreibung von Bauleistungen dar. Hier werden drei Fachmodelle durch ein Linkmodell verknüpft und die verwendeten Modellattribute tabellarisch dargestellt. Die vorgestellten Attribute sind darauf ausgerichtet, Fachmodelle im Bauwesen zu spezifizieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ausprägung der einzelnen Attribute nicht beliebig festgelegt werden kann, sondern verschiedenen Abhängigkeiten unterliegt. Hier sind *modellinterne* und *modellexterne* Abhängigkeiten⁹¹ zu unterscheiden. Die internen Abhängigkeiten beschreiben Beziehungen zwischen den Attributwerten der Metadaten. Beispielsweise bedingt die Auswahl eines Fachmodelltyps die verwendbaren Attributwerte für Granularitäten, Modellausschnitte und Dateiformate. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 27 dargestellt. Dabei handelt es sich meist um projektspezifische Bedingungen, die eine Attributauswahl einschränken. Beispielsweise beschränkt das Prozessmodell die verwendbaren Modellstatus oder das Phasenmodell die verwendbaren Phasen des Modells. Tabelle 5 gibt einen Überblick über verschiedene informationsraumexterne Abhängigkeiten.

Tabelle 5: Informationsraumexterne Abhängigkeiten

Modellaspekt	Abhängigkeit	Beispiele (Standards)
Modellname	Projektweite Bezeichnung	Rohbaumodell erste Etage
Modelldomäne	Bauprojekt	vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16
Modelltyp	Modelltyp	vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16
Datenformat	Modelltyp	IFC-STEP ⁹²
Modellsprache	Beteiligte Nationalitäten	Deutsch, Englisch (ISO 639, ISO 3166) ⁹³
Modellgranularität	Modelltyp	Grobterminplan, Rohbaumodell (OpenGIS, CityGML) ⁹⁴
Modellausschnitt	Modelltyp	Geschoss, Raum, LV-Position, Zeitraum
Modellstatus	Prozessmodell	Entwurf, Geprüft, Freigegeben, Veraltet
Projektphase	Projektphasenmodell	Angebotserstellung, Bauausführung (HOAI)

⁹¹ Es wird hier ausdrücklich auf den synonymen Begriff Interdependenz verzichtet, um zwischen Abhängigkeiten der Attributierung und den Interdependenzen der Fachmodelle zu unterscheiden.

⁹² STEP ist ein internationaler Standard für ein herstellernerutrales 3-D-Austauschformat für den Austausch von Produktdaten zwischen unterschiedlichen CAD-Systemen (ISO 10303-11, 2004).

⁹³ ISO 639: Language Codes (ISO 639); ISO 3166: Country Codes (ISO 3166).

⁹⁴ Vgl. (Gröger et al., 2012).

Linkmodellname



Abbildung 28: Beschreibungsattribute für Linkmodelle

Beschreibung der Linkmodelle

Relationen zwischen Modellelementen werden in Linkmodellen (*LinkM*) abgebildet. Für verschiedene Intentionen können unterschiedliche Linkmodelle in einem Informationsraum existieren (vgl. hierzu Fuchs, 2014). Die Beschreibung des Linkmodells basiert hauptsächlich auf der Angabe der verknüpften Fachmodelle und der Nennung der verknüpften Modellelementtypen (vgl. Abbildung 28). Zusätzlich kann für den Prozessaspekt sowohl eine Projektphase als auch ein Modellstatus für ein Linkmodell angegeben werden. Da ein Linkmodell domänenübergreifend Fachmodelle verknüpft, können keine einheitlichen Attribute über Qualitätsaspekte angegeben werden. Aufgrund der Fixierung des Modelltyps, besteht auch keine Notwendigkeit, weitere Modellierungsaspekte zu beschreiben. Das Modellformat ist XML⁹⁵ und aufgrund fehlender Semantik ist das Linkmodell sprachneutral. Folglich lassen sich auch keine semantischen Qualitäten und Formalisierungsaspekte beschreiben. Technische Qualitäten von Linkmodellen lassen sich über die Vollständigkeit der Linkelemente in einem betrachteten Ausschnitt beurteilen. Beispielsweise kann gefordert werden, dass alle Elemente eines Kostenmodells (z. B. GAEB⁹⁶), die eine Menge besitzen, auch einem Bauteil eines Gebäudemodells (z. B. IFC) zugeordnet sein müssen⁹⁷.

Das Metadatenschema

Wie bereits beschrieben, enthält ein Multimodellcontainer zusätzliche Metadaten, die den multimodellbasierten Informationsraum beschreiben. Grundlage für solche Metadaten ist eine Datenstruktur, die eine Attributstruktur und die Attributvokabulare vorgibt. Durch die Verwendung eines Metadatenschemas können die Menge und die Struktur der verwendeten Metadatenattribute sowie das Metadatenvokabular festgelegt werden. Aufgrund der verschiedenen Fachmodelltypen mit jeweils unterschiedlichem Aufbau und spezifischen Eigenschaften ist die Angabe eines generell passenden Metadatenvokabulars sehr schwierig. Zur Harmonisierung der unternehmens- oder projektweiten Modellattributierung ist die Verwendung von Attributkatalogen üblich, die Attributnamen und zugehörige Wertebereiche vorgeben.

⁹⁵ Für Linkmodelle sind zukünftige weitere Modelltypen nicht auszuschließen. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt eine Beschränkung auf die Verwendung des Linkmodelltyps, wie er in Fuchs (2014) beschrieben wird. Zusätzliche Linkbeschreibungen direkt im Linkmodell werden nicht betrachtet.

⁹⁶ <http://www.gaeb.de>

⁹⁷ Solcherlei Vorgaben können durch die von Fuchs (2014) vorgestellte Anfragesprache für Multimodelle (Multi-Model-Query-Language, MMQL) überprüft werden.

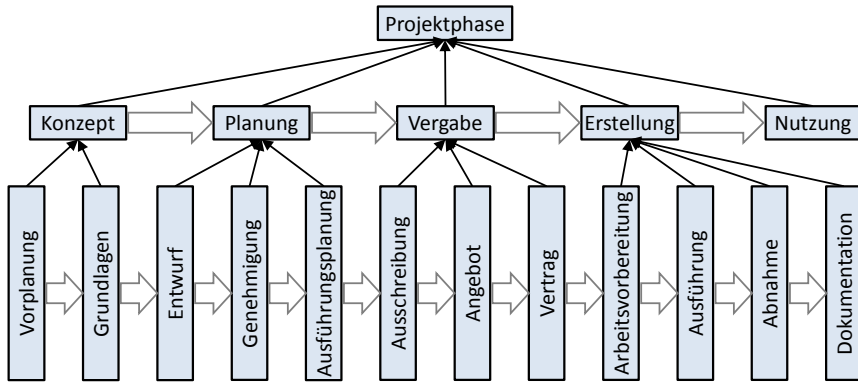


Abbildung 29: Phasenmodell (nach HOAI)

Dabei müssen die verwendeten Annotationsvokabulare für einzelne Projekte individuell ausgewählt und angepasst werden. In verschiedenen Fachdomänen sind Merkmalslisten mit nominalen oder ordinalen Skalen zur Beschreibung von Modellqualitäten verbreitet. So werden beispielsweise die Detaillierungsstufen in CityGML⁹⁸ ordinal und die Leistungsbereiche des STL B Bau⁹⁹ nominal beschrieben (vgl. Tabelle 6). Einige bauspezifische Fachmodelltypen lassen sich jedoch mit Attributkatalogen nicht ausreichend beschreiben. Insbesondere die Inhalte von Bauwerks- und Organisationsmodellen erfordern für eine ausreichende Beschreibung komplexere Attributhierarchien, die verschiedene Hierarchiekonzepte enthalten.

Tabelle 6: Attributierung mit ordinalen und nominalen Skalen

Detaillierungsstufen (CityGML)	Leistungsbereiche für Grundkonstruktionen (STLB Bau)
LOD 0 – Regional, Landscape	008 – Wasserhaltungsarbeiten
LOD 1 – City, Region	027 – Tischlerarbeiten
LOD 2 – City District, Projects	029 – Beschlagarbeiten
LOD 3 – Building Exterior, Sections	030 – Rollladenarbeiten
LOD 4 – Building Element, Component, Construction Work Planning	031 – Metallbuarbeiten
	032 – Verglasungsarbeiten
	039 – Trockenbuarbeiten.

⁹⁸ Vgl. (Gröger et al., 2012).

⁹⁹ STL B Bau - Standardleistungsbuch für das Bauwesen (Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen, 1979).

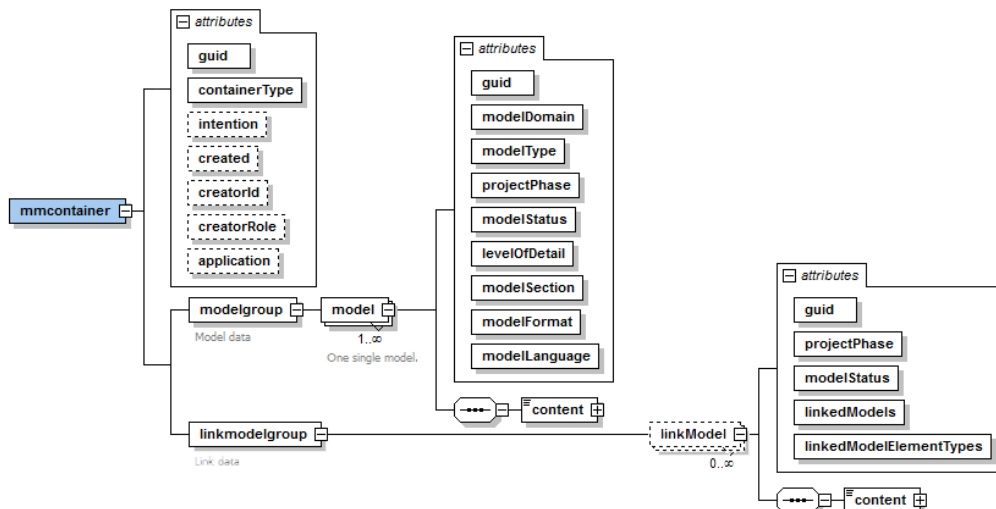


Abbildung 30: Metadatenchema eines Multimodells

Die Abbildung 29 zeigt beispielhaft ein, an die HOAI angelehntes Phasenmodell in Form einer nominalen Hierarchie mit den Konzepten Vorgänger, Nachfolger, Sub- und Superphase¹⁰⁰. Aufgrund der beschriebenen Modellvielfalt können keine umfassenden Beschreibungsattribute gefunden werden. Vielmehr müssen die anwendbaren Attributwerte in Bezug zu dem verwendeten Modelltyp gewählt werden¹⁰¹. Die Struktur der Metadaten kann jedoch einheitlich spezifiziert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein XML-basiertes Metadatenchema verwendet, das aus spezifizierten Kennzeichnungssystemen der Fach- und Linkmodelle abgeleitet wurde. Abbildung 30 zeigt eine vereinfachte Darstellung¹⁰². Das Metadatenchema bildet damit die Basis für eine semantische Beschreibung des multimodellbasierten Informationsraumes.

3.1.4 Multimodellvorlagen

Für die informationslogistische Verwendung von multimodellbasierten Informationsräumen müssen die benötigten Informationsräume spezifiziert werden. Für diesen Zweck ist es von Vorteil, dass sich das im vorigen Abschnitt beschriebene Beschreibungsmodell für multimodellbasierte Informationsräume sowohl deskriptiv als auch präskriptiv verwenden lässt. Geforderte Informationsräume lassen sich somit auf die gleiche Art und Weise beschreiben wie vorhandene.

¹⁰⁰ Ein weiteres Beispiel ist die Beschreibungsstruktur für Modelldomänen mit Konzepten von Ober- und Unterdomäne.

¹⁰¹ In Abschnitt 3.2.5 wird ein ontologiebasiertes Beschreibungsmodell vorgestellt, das diese Abhängigkeit modelliert.

¹⁰² Das komplette Schema findet sich in XML-Notation im Anhang A1.

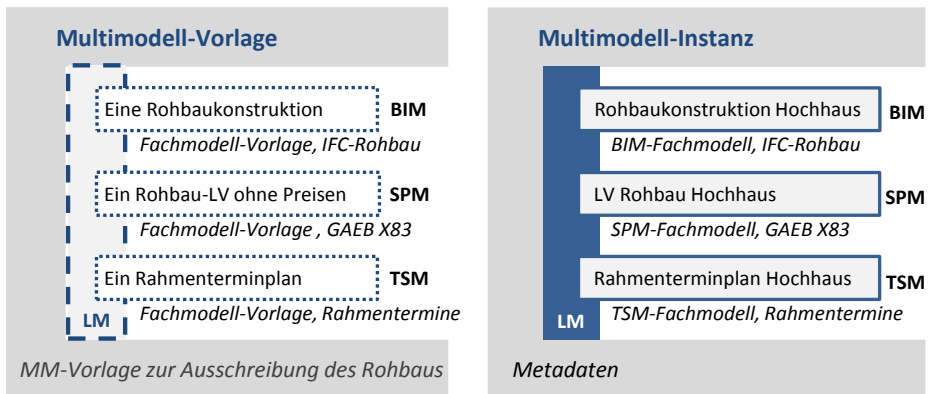


Abbildung 31: Multimodellvorlage und zugehörige Multimodellinstanz

Präskriptive Anforderungen an einen multimodellbasierten Informationsraum werden als *Multimodellvorlage* (Multi Model Template, MMT) bezeichnet. Dafür werden die geforderten Modelle durch *Fachmodellvorlagen* (Application Model Template, AMT) und *Linkmodellvorlagen* (Link Model Template, LMT) spezifiziert (Schapke, 2014, S. 8). Somit enthält eine Multimodellvorlage lediglich eine Informationsraumbeschreibung ohne eingebettete oder referenzierte Modellinstanzen. Es gilt folgende Definition:

Definitionen 17 (Multimodellvorlage) *Eine Multimodellvorlage beschreibt einen multimodellbasierten Informationsraum durch Angabe von Inhalten, Qualitäten und Verknüpfungstiefe geforderter Fach- und Linkmodelle.*

In der Abbildung 31 wird beispielhaft auf der linken Seite eine Multimodellvorlage für ein Multimodell zur Ausschreibung eines Rohbaus gezeigt. Rechts daneben ist eine Multimodellinstanz abgebildet, die den entsprechenden Informationsraum der Ausschreibungsinformationen zu einem speziellen Bauprojekt abbildet. Im Vergleich zu der abstrakten Beschreibung des generischen Multimodellansatzes (s. Abschnitt 3.1.2) spezifizieren Multimodellvorlage aufgabenspezifische Informationsräume für bestimmte Anwendungsbereiche. Durch die Kombination und Verknüpfung von Baufachmodellen werden so bauspezifische Informationsräume erzeugt.

Diese können nach Bedarf in den jeweiligen Projektphasen als lokale Informationsräume im Rahmen einzelner Planungs- und Controlling-Aufgaben verwendet werden oder aber projektweit kollaborativ fortgeschrieben werden (sog. Information Sharing und Information Shaping; vgl. Abschnitt 3.1.1, S. 62). Dabei werden sie im Zuge der Bearbeitung durch aufeinanderfolgende Informationsprozesse immer weiter konkretisiert und durch weitere Fachmodelle ergänzt (Pflug und Schütz, 2014). In Anbetracht der vielfältigen Fachdomänen und der Diversität der Fachmodelle im Bauwesen lässt sich durch Multimodellvorlagen eine Vielzahl von Multimodellvarianten definieren.

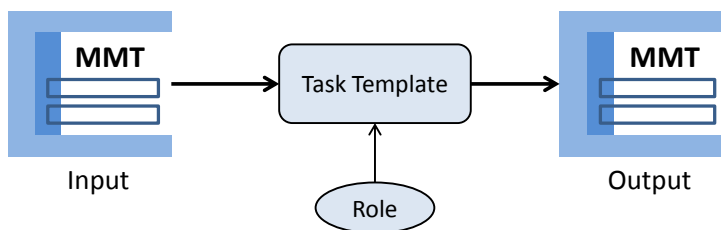


Abbildung 32: Referenzprozess mit Multimodellvorlagen

Die Definition von Vorlagen erfordert ein hohes Maß an Expertenwissen aus den betreffenden Fachdomänen. Komplexe aufgaben- und domänenspezifische Vorlagen werden daher im Vorfeld einer Prozessinitiierung durch Fachexperten und Prozessmodellierer erstellt. Die Erzeugung von Multimodellvorlagen kann dabei durch zwei verschiedene Herangehensweisen erfolgen. Zum einen können die Vorlagen durch einen Prozessmodellierer rein deduktiv durch die Beschreibung der Metadaten der geforderten Modelle erstellt werden. Zum anderen können Vorlagen auch induktiv aus vorhandenen (Referenz-)Multimodellen abgeleitet werden.¹⁰³

3.1.5 Bauspezifische Informationsräume

Obwohl die Baubranche, im Gegensatz zur stationären Industrie, von einer Unikatfertigung (sowohl Prozess als auch Produkt) gekennzeichnet ist, können doch bei den Informationsprozessen Ähnlichkeiten der beteiligten Projekt-, Produkt-, Prozess- und Organisationsstrukturen gefunden werden.

Typische und häufig wiederkehrende Informationsprozesse im Bauwesen lassen sich als Referenzprozesse beschreiben¹⁰⁴. Solche Referenzprozesse spezifizieren neben der Prozessbeschreibung und deren Ausführungsbedingungen (z. B. notwendige Anwenderrolle oder Projektphase) die konsumierten und erzeugten Informationen. Für den Einsatz multimodellbasierter Informationsräume bietet es sich an, die Ein- und Ausgabe-Informationen in Form von Multimodellvorlagen zu definieren (Scherer, 2011). Abbildung 32 zeigt schematisch einen multimodellbasierten Referenzprozess und die resultierende Prozessinstanz mit den verwendeten und erzeugten Informationsräumen. In den verschiedenen Projektphasen können multimodellbasierte Referenzprozesse identifiziert werden, die sich über Multimodellvorlagen verknüpfen lassen. Abbildung 33 gibt einen groben Überblick über die Nutzung von multimodellbasierten Informationsräumen in den einzelnen Projektphasen eines Bauprojektes. Im Folgenden werden die einzelnen Referenzprozesse abstrakt beschrieben und es wird die mögliche Verwendung von multimodellbasierten Informationsräumen skizziert.

¹⁰³ Vertiefende Informationen über die Verwendung von Multimodellvorlagen für die multimodellbasierte Referenzprozessmodellierung finden sich unter (König et al, 2014).

¹⁰⁴ Einen Überblick über verschiedene Formalisierungen für Referenzprozesse gibt (Trunko, 2011, S. 150 ff.)

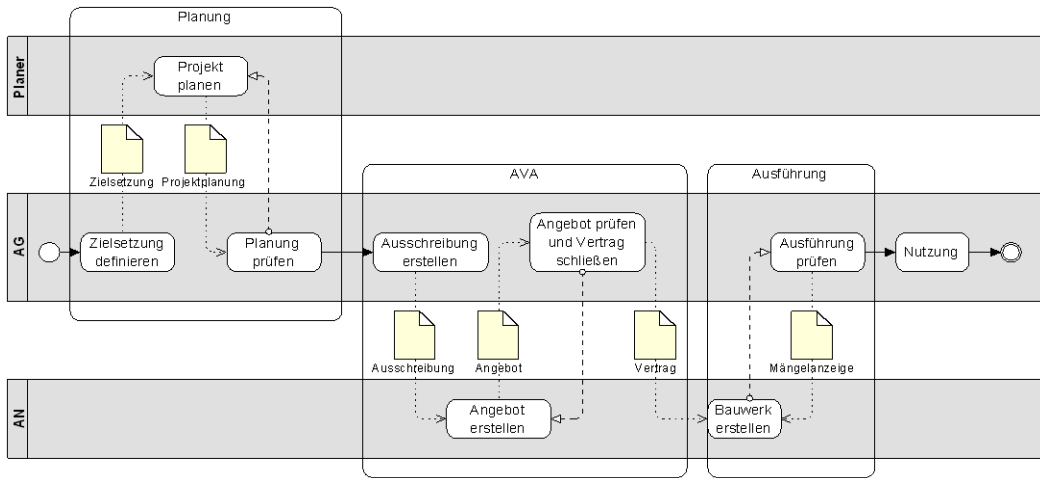


Abbildung 33: Multimodellnutzung in den Projektphasen

Die identifizierten Multimodelle werden dabei tabellarisch durch die Qualitäten der Fachmodelle und ihren Verknüpfungsgrad beschrieben. Die identifizierten Multimodelle werden dabei tabellarisch durch die Qualitäten der Fachmodelle und ihren Verknüpfungsgrad beschrieben. Der Verknüpfungsgrad beschreibt dabei, welche Modellelemente miteinander verknüpft sind (z. B. LV-Positionen mit Gebäudeetagen). Zur Beschreibung von Verknüpfungsgraden sind Informationen über die wesentlichen Gliederungskonzepte der verschiedenen Fachmodelltypen nötig (z. B. LV-Positionen, Gebäudeetagen, Terminwochen).

Projektphase 1: Zielsetzung

Die erste Projektphase dient der Klärung der Projektziele und des Projektumfangs. Dafür werden Grundlagen ermittelt, Aufgabenstellung, Anforderungen und Konzepte erarbeitet (z. B. durch Machbarkeitsstudien) sowie Rahmenbedingungen geklärt (z. B. durch Standort- und Bestandsanalysen). In der Regel existieren in dieser Phase noch wenig Fachmodelle und eine geringe Anzahl Beteiligter, weshalb auf die Verwendung von Multimodellen, nach dem derzeitigen Stand der Technik, verzichtet werden kann. Der erste wesentliche Meilenstein ist der Projektstart.

Projektphase 2: Planung

Die gesammelten Fachmodelle der Zieldefinition (Aufmaßpläne des Bestandes, Raum- und Funktionsprogramme) bilden die Informationsbasis der Planungsphase. Diese Phase ist unterteilt in Vorentwurfs-, Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanung. In den unterschiedlichen Planungsprozessen werden die Fachmodelle durch verschiedene Fachplaner kollaborativ erarbeitet. Hier lassen sich mehrere Referenzprozesse mit Multimodellvorlagen identifizieren. Die Abbildung 33 zeigt eine detaillierte Übersicht der Planungsprozesse. Als wesentliche Meilensteine sind gekennzeichnet (1) die Beauftragung, (2) die Übergabe und (3) die Freigabe des Vorentwurfs. Darauf folgend (4) die Übergabe und (5) die Freigabe der Entwurfsplanung sowie (6) die Übergabe und (7) die Freigabe der Genehmigungsplanung. Anschließend werden die Fachmodelle der Genehmigungsplanung der prüfenden Behörde

vorgelegt. Wird die Genehmigung (8) erteilt, so wird die Ausführungsplanung erstellt, (9) übergeben und (10) bewilligt. Am Ende der Planungsphase existieren genehmigte und ausschreibungsfähige Planungsunterlagen sowohl der Objektplanung als auch der Ausführungsplanung. In der Planungsphase lassen sich verschiedene Referenzprozesse identifizieren¹⁰⁵. Diese sind in der Tabelle 7 angegeben. Die zugehörigen Multimodellvorlagen befinden sich im Anhang A2.

Projektphase 3: Ausschreibung-Vergabe-Abrechnung-Phase (AVA-Phase)

In der AVA-Phase werden Ausschreibungsunterlagen durch den Auftraggeber (AG) erstellt und als Angebotsaufforderung dem potentiellen Auftragnehmer (AN) zur Verfügung gestellt. Dabei können die Ausschreibungsunterlagen in einem Ausschreibungsmultimodell übertragen werden. Auf Grundlage des abgegebenen Ausschreibungs-MM kann ein potentieller AN ein Angebot für die ausgeschriebenen Leistungen erstellen.

Dazu werden die ursprünglichen Fachmodelle durch Angebotskalkulation, Detailplanung und Bauablaufplanung verfeinert und ergänzt. Abbildung 35 gibt einen Überblick über die Basisprozesse dieser Phase. Wichtige Meilensteine sind (1) die Veröffentlichung der Ausschreibung, (2) die Abgabe eines Angebots und (3) der Vertragsabschluss.

Den konkreten Endzustand des Prozesses *Angebotskalkulation* bildet das Multimodell *Angebots-MM*, das im Zuge der konkreten Angebotsabgabe an den AG übertragen wird¹⁰⁶. Wird der Antrag nicht seitens des AG abgelehnt, kommt es zu Vertragsverhandlungen. Anpassungen am Bau-Soll, Bauablauf oder an den Bauverfahren können zu weiteren Änderungen im Multimodell führen, die sich in verschiedenen Versionen des Multimodells *Vertrags-MM* niederschlagen. Durch den Prozess der Vertragsschließung wird ein konkretes Multimodell als Grundlage des Vertrages zwischen AG und AN festgeschrieben (MM Bauvertrag).

Wenn die Multimodelle zur Ausschreibung, Angebot und Vertrag Leistungen definieren und damit eine Vertragsgrundlagen bilden, dann müssen sie zur weiteren Projektabwicklung zwingend reversionssicher abgelegt werden¹⁰⁷. Eine dieser Vorlage entsprechende bautypische Multimodellvorlage für ein Multimodell zur Ausschreibung eines Rohbaus demonstriert die Abbildung 24. In dieser Vorlage wird die Verknüpfung eines Bauwerksmodells mit einem Leistungsverzeichnis und einem Rahmenterminplan gefordert. Das Linkmodell (LM) verbindet dabei die logisch zusammengehörenden Elemente der einzelnen Fachmodelle, in diesem Beispiel Bauwerkobjekte mit LV-Positionen und Terminplanvorgängen.

¹⁰⁵ Die angegebenen Referenzprozesse wurden im Rahmen des Projektes Mefisto erarbeitet (www.mefisto-bau.de).

¹⁰⁶ Ggf. werden mehrere Varianten angeboten und somit verschiedene Varianten des Angebots-MM erzeugt.

¹⁰⁷ Falls im Zuge der Bauausführung Abweichungen vom vereinbarten Bau-Soll des Vertrags-MM entstehen, so können sich für den Auftragnehmer Nachtragsansprüche ergeben.

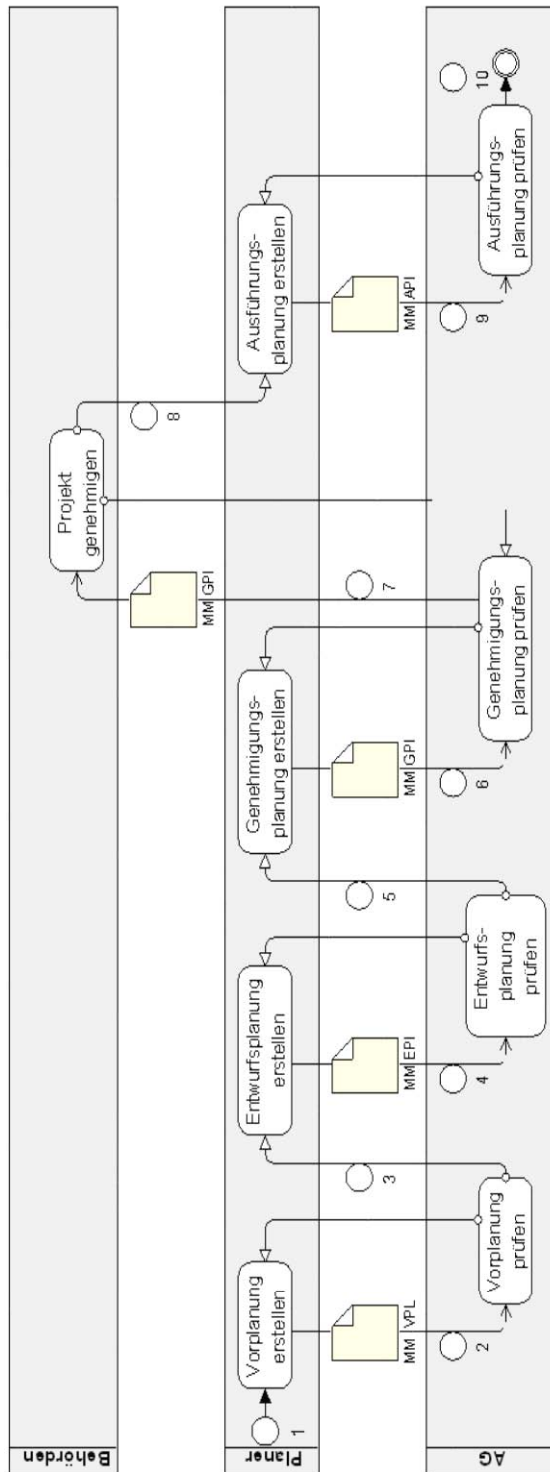


Abbildung 34: Basisprozesse der Planungsphase

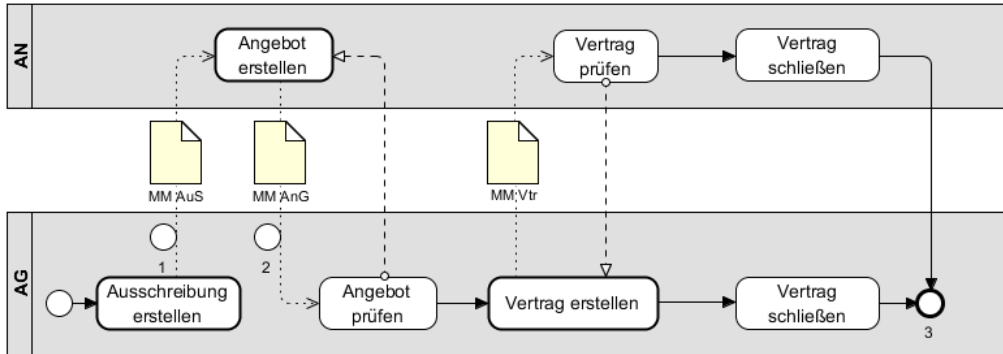


Abbildung 35: Basisprozesse der AVA-Phase

Projektphase 4: Ausführungsphase

In der Ausführungsphase werden die Fachmodelle weiter präzisiert. Insbesondere Informationen zur Bauausführung werden durch die Arbeitsvorbereitung seitens des AN immer weiter detailliert und konkretisiert. Durch die Arbeitskalkulation auf Basis der Angebots- und Auftragskalkulation werden durch den AN konkrete Fachmodelle für Ausplanung der verwendeten Bauverfahren, der Dimensionierung der Baustelleneinrichtung und der Entwicklung von detaillierten Termin- und Taktplänen erstellt. Weiterhin kann im Rahmen der Bauausführung das Multimodell zum Projektcontrolling beim Auftragnehmer verwendet werden. Dafür werden durch regelmäßige Soll-Ist-Vergleiche die erbrachten Leistungen in Bezug auf die Kosten, die Termine, die Qualität und den Vertrag geprüft. Zu jedem Stichtag wird hierfür eine Ist-Version des Multimodells erzeugt und abgelegt. Aus den Ist-Soll-Abweichungen lassen sich dann Steuerungsmaßnahmen ableiten (Pflug und Schütz, 2014).

Projektphase 5: Nutzungsphase

In der Nutzungsphase bietet sich eine Verwendung der vorhandenen Multimodelle für das Facility-Management an. Auf der Basis von vorhandenen Multimodellen lassen sich effektiv Organisations- und Instandhaltungsaufgaben abwickeln.

Tabelle 7: Referenzprozesse der Planungsphase

Rolle	Input	Output
Referenzprozess RP201: Vorplanung erstellen		
Fachplaner	Einzelne Fachmodelle der Zieldefinition	Vorplanungs-Multimodell (MM-VPI)
Referenzprozess RP202: Entwurfsplanung erstellen		
Fachplaner	Vorplanungs-Multimodell (MM-VPI)	Entwurfsplanungs-Multimodell (MM-EPI)
Referenzprozess RP203: Genehmigungsplanung erstellen		
Fachplaner	Entwurfsplanungs-Multimodell (MM-EPI)	Genehmigungsplanungs-Multimodell (MM-GPI)
Referenzprozess RP204: Ausführungsplanung erstellen		
Fachplaner	Genehmigungsplanungs-Multimodell (MM-GPI)	Ausführungsplanungs-Multimodell (MM-API)

Tabelle 8: Referenzprozesse in der AVA-Phase

Ausführende Rolle	Input	Output
Referenzprozess RP301: <i>Ausschreibung erstellen</i>		
Auftraggeber	Ausführungsplanungs-Multimodell (MM-API)	Ausschreibungs-Multimodell (MM-AuS) (grobe) Fachmodelle
Referenzprozess RP302: <i>Angebot erstellen</i>		
Auftragnehmer	Ausschreibungs-Multimodell (MM-AuS) (grobe) Fachmodelle	Angebots-Multimodell (MM-AnG) (feinere) Fachmodelle
Referenzprozess RP303: <i>Vertrag erstellen</i>		
Auftragnehmer	Ausschreibungs-Multimodell, Angebots-Multimodell (MM-AuS, MM-AnG)	Multimodell für Bauvertrag (MM-Vtr) (konkrete) Fachmodelle

Tabelle 9: Multimodellvorlage für die Ausschreibung

Ausschreibungs-Multimodellvorlage (MM-AUS)		
Modelltyp	Modellqualität	Modellverknüpfung
Bauwerksmodell (BIM)	3-D-Rohbau ohne BA	
Vorgangsmodell (TSM)	Rahmentermin	Mit Rohbau-Etagen
Leistungsmodell (SPM)	LV ohne Preise	Mit Vorgangsmodell und BIM
Mengenmodell (SPM)	Mengensplit	Mit LV(-Positionen)
Kostenmodell (COM)	Ohne	
Baustellenmodell (CSM)	Ohne	

Tabelle 10: Multimodellvorlage für das Angebot

Angebots-Multimodellvorlage (MM-ANG)		
Modelltyp	Modellqualität	Modellverknüpfung
Bauwerksmodell (BIM)	3-D-Rohbau ohne BA	
Vorgangsmodell (TSM)	Grobterminplan	Mit Rohbau-Stockwerken
Leistungsmodell (SPM)	LV mit Preisen	Mit Vorgangsmodell und BIM
Mengenmodell (SPM)	Mengensplit	Mit LV(-Positionen)
Kostenmodell (COM)	Angebotskalkulation (intern)	Mengenmodell
Baustellenmodell (CSM)	Ohne	

Tabelle 11: Multimodellvorlage für Bauvertrag

Multimodell für Bauvertrag (MM-VTR)		
Modelltyp	Modellqualität	Modellverknüpfung
Bauwerksmodell (BIM)	3-D-Modell, Geometrie vertraglich vereinbart	
Vorgangsmodell (TSM)	Rahmentermin, vertraglich vereinbart	Mit Rohbau-Stockwerken
Leistungsmodell (SPM)	LV mit Preisen, vertraglich vereinbart	Mit Vorgangsmodell und BIM
Mengenmodell (SPM)	LV-Mengen, vertraglich vereinbart	Mit LV(-Positionen)
Kostenmodell (COM)	Vertragskalkulation (hinterlegt)	Mengenmodell
Baustellenmodell (CSM)	Ohne	

Tabelle 12: Referenzprozesse in der Ausführungsphase

Ausführende Rolle	Input	Output
Referenzprozess RP401: <i>Ablaufplanung</i>		
Auftragnehmer	Bauvertrags-MM	Ablaufplanungs-MM: konkrete Fachmodelle für Ausplanung der verwendeten Bauverfahren, der Dimensionierung der Baustelleneinrichtung und der Entwicklung von detaillierten Termin- und Taktplänen
Referenzprozess RP402: <i>Leistungsmeldung</i>		
AG	Ablaufplanungs-MM	Controlling-MM

Tabelle 13: Multimodellvorlage für Ablaufplanung

Multimodell für Ablaufplanung (MM-ABPL)		
Modelltyp	Modellqualität	Modellverknüpfung
Bauwerksmodell (BIM)	3-D-Modell mit BA	
Vorgangmodell (TSM)	Taktplan mit Ressourcen	Mit Rohbau-Stockwerken
Leistungsmodell (SPM)	LV mit Preisen	Mit Vorgangmodell und BIM
Mengenmodell (SPM)	Mengensplit für Arbeitskalkulation	Mit LV(-Positionen)
Kostenmodell (COM)	Arbeitskalkulation	Mengenmodell
Baustellenmodell (CSM)	3-D-Baustellenelemente	

Tabelle 14: Multimodellvorlage für Leistungsmeldung

Multimodell für Leistungsmeldung (MM-LEM)		
Modelltyp	Modellqualität	Modellverknüpfung
Bauwerksmodell (BIM)	IST-3-D-Modell mit BA	
Vorgangmodell (TSM)	IST-Baufortschritt	Mit Rohbau-Stockwerken
Leistungsmodell (SPM)	LV mit LV- und RE-Mengen	Mit Vorgangmodell und BIM
Mengenmodell (SPM)	RE-/LE-Mengen	Mit LV(-Positionen)
Kostenmodell (COM)	Arbeitskalkulation mit RE-Mengen	Mengenmodell
Baustellenmodell (CSM)	IST-3-D-Baustellenelemente	

3.1.6 Zusammenfassung

Interdisziplinäre Informationsräume sind in der Lage, ausgewählte Informationsressourcen unterschiedlicher Anwendungsdomänen, Detaillierungen, Varianten oder Versionen miteinander zu kombinieren und zu verknüpfen. Damit bilden sie ideale Eigenschaften, um spezifische abgeschlossene Informationsräume als abstrakte Geschäftsobjekte zu formalisieren um verteilt kollaborative Bauinformationsprozesse zu unterstützen. Als Grundlage dieser Unterstützung wurden zu Anfang dieses Abschnittes die Informationsraummetapher und deren verschiedene Operationen eingeführt. Als Formalisierung interdisziplinärer Informationsräume wurde das generische Multimodellkonzept vorgestellt. Dieses Konzept begünstigt

durch die Externalisierung von Modelldependenzen wirkungsvoll das modellbasierte Arbeiten durch die gemeinsame Verwendung von Baufachmodellen über die Domängengrenzen hinweg. Die Formalisierung von interdisziplinären Informationsräumen in Form von Multimodellen hilft, die syntaktische Heterogenität zu überwinden, die bei der domänenübergreifenden Kollaboration entsteht. Zur Begegnung der semantischen Heterogenität wurde ein Annotationskonzept zur Beschreibung der Fach- und Linkmodelle erarbeitet. Daraus wurde ein Metadatenschema abgeleitet, das als Grundlage einer einheitlichen semantischen Annotation die Beschreibung von Multimodellvorlagen ermöglicht und damit als Voraussetzung für eine projektweite gemeinsame Nutzung von Informationsräumen dient. Durch die Verknüpfung von bauwerkszentrierten Fachmodellen mit vorgangs- oder kostenzentrierten Fachmodellen können sowohl komplexe Aufgabenstellungen und Planungszusammenhänge transparenter dargestellt werden als auch interdisziplinäre Kollaborationsprozesse besser koordiniert werden. Insbesondere durch die Verwendung vorher vereinbarter Vorlagen zur inhaltlichen Abstimmung der Informationsräume kann die Projektkoordination der Informationsprozesse wirksam unterstützt werden. Benötigte oder bestehende Informationsräume lassen sich projektweit beschreiben, übertragen, kopieren, aufspalten, zusammenführen oder auflösen. Die Kombination und die Verlinkung digitaler Bauwerksmodelle mit anderen Leistungs-, Kosten-, Termin- und Risikomodellen sowie deren zusätzliche Beschreibung durch Metadaten erhöhen die semantische Tiefe der verwendeten Fachmodelle erheblich und sind eine notwendige Voraussetzung für aktuelle 4-D/5-D-Anwendungen und Bauprozesssimulationen (Schapke, 2014). Durch die gezielte Informationsversorgung der Projektbeteiligten mit solcherart beschriebenen Informationsräumen erhöht sich die Informationsqualität. Somit können informationsbedingte Fehler oder mögliche Informationsunsicherheiten in allen Projektphasen reduziert werden (Scherer und Schapke, 2014, S. 10).

3.2 Kontextmodellierung

Überblick

Grundlegende Forschungsfrage dieser Arbeit ist, ob eine kontextgerechte Informationsversorgung die kollaborativen Informationsprozesse in Bauprojekten wesentlich verbessern kann. Zur Verfolgung dieser Frage muss das Kontextkonzept als solches genau betrachtet werden. Dafür werden zu Beginn des folgenden Kapitels die Begriffe Kontext, Kontextaspekt und Kontextinformation abgegrenzt und unterschiedliche Ansätze der Kontextmodellierung diskutiert. Darauf aufbauend werden Möglichkeiten der Kontextintegration beschrieben. Für eine Unterstützung der Informationslogistik durch Kontextinformationen besteht eine der zentralen konzeptionellen Aufgaben darin, die informationslogistisch relevanten Kontextinformationen zu identifizieren und anschließend zu formalisieren. Dafür wird ein generisches Kontextmodell zur Beschreibung semantischer und funktionaler Kontextinformationen entwickelt, das als konzeptioneller Rahmen für die weiteren Überlegungen dient. Anschließend werden die kontexttragenden Entitätstypen kollaborativer Informationsprozesse ermittelt und deren direkte und indirekte Kontextinformationen bestimmt. Abschließend werden bauspezifische Kontextausprägungen betrachtet.

3.2.1 Generische Kontextinformationen

Während Menschen durch ihre kognitive Situationswahrnehmung eine vorliegende *Situation*¹⁰⁸ nahezu automatisch erfassen und verarbeiten, müssen für eine maschinelle Auswertung situationsbeschreibende Informationen explizit formal beschrieben werden. Die Gesamtheit der situationsbeschreibenden Informationen wird als *Kontext*¹⁰⁹ bezeichnet und umfasst dabei sowohl messbare Faktoren (z. B. Lautstärke, Helligkeit) als auch nicht messbare Faktoren (z. B. Intuition, Ahnung, Erfahrung) (Trunko, 2011, S. 65; Zimmer, 2007, S. 815). Aufgrund der Verwendung des Begriffes in unterschiedlichen Forschungsfeldern existieren verschiedene Definitionen in der Literatur. Das Merriam-Webster Online Dictionary¹¹⁰ definiert Kontext abstrakt als „*the interrelated conditions in which something exists or occurs*“ und betont damit die wechselseitige Beziehung zwischen verschiedenen Bedingungen einer Situation. Der Duden definiert den Begriff Kontext in Bezug auf die Bedeutung von Aussagen als „der umgebende, inhaltliche (Gedanken-, Sinn-, Sach-, Situations-) Zusammenhang“, in dem eine Äußerung steht und aus dem heraus sie verstanden werden muss (Duden, 1997, S. 442). Aufbauend auf solch relativ allgemein formulierten Begriffsbestimmungen entstanden spezielle fachspezifische Definitionen.

In der Wissenschaftsliteratur der Informatik taucht der Kontextbegriff erstmals in einer Veröffentlichung von SCHILIT UND THEIMER (1994) auf¹¹¹. Anschließend diffundierte die Begriffsverwendung in viele Teilbereiche, wie beispielsweise der Künstlichen Intelligenz, des Ubiquitous Computing oder der Human Computer Interaction, die ihrerseits verschiedene Ansätze für die Begriffsbestimmung verfolgten (Lanzer, 2012). Ausgehend von rein extensionalen Definitionen, die versuchten, durch die Aufzählung der Bestandteile den Kontext zu beschreiben (Brown, 1996, S. 260; Schilit und Theimer, 1994, S. 23), haben sich zunehmend intentionale Definitionen durchgesetzt, die Kontextinformation durch ihre Verwendung qualifizieren. Eine breite Anwendung findet hier die Definition von DEY UND ABOWD (2000, S. 3), die Kontext als Sammlung von Informationen über eine Kommunikationssituation beschreibt: „*Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity.*“

¹¹² Ähnlich beschreibt Häertwig (2009) einen Prozesskontext als den situativen Handlungsrahmen, in dem ein Akteur mit einem Informationssystem interagiert. Die Verwendung des

¹⁰⁸ Im kognitionswissenschaftlichen Diskurs wird das Kontext-Begriffsverständnis eingegrenzt als ein für eine vorliegende Absicht relevanter Ausschnitt eines beobachteten und verstandenen Umfeldes eines Menschen (Risku, 2004, S. 86).

¹⁰⁹ Der Begriff Kontext setzt sich aus „con“ (lat. mit, zusammen) und „texere“ (lat. einbinden, weben) zusammen.

¹¹⁰ Merriam-Webster Online Dictionary; <http://www.m-w.com/>

¹¹¹ Schilit und Theimer (1994, S. 22-32) benutzten die Begriffe des Kontextes und der Kontextadaptivität erstmals bei der Beschreibung von Informationssystemen, die auf Veränderungen in der Umwelt eines Anwenders reagieren.

¹¹² Wie Dey und Abowd (ebenda) weiter ausführen, repräsentiert eine Entität ein beliebiges Objekt, das für eine Interaktion zwischen Benutzer und Anwendung relevant ist: „An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application,

Kontextbegriffs im Rahmen dieser Arbeit lehnt sich an diese Definition an, wobei durch die Betonung auf messbaren Informationen eine klare Abgrenzung zum Situationsbegriff erreicht werden soll.

Definitionen 18 (Kontext) *Der Kontext umfasst alle messbaren Informationen, die eine Situation einer Entität zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreiben und für eine spezifische Betrachtung relevant sind.*

Durch die Beschreibung der Menge einem Kontext zugehöriger und gemeinsam in ihm geltender Sachverhalte lassen sich Klassen von ähnlichen Situationen beschreiben (Kindt und Rittgeroth, 2009, S. 39).

Entitätszentrierte Kontextinformationen

Anknüpfend an den Entitätsbegriff nach DEY UND ABOWD (2000) werden in dieser Arbeit unter dem abstrakten Begriff der Entität sowohl Softwareanwendungen und Ressourcen als auch menschliche Akteure subsumiert. Da ein Kontext immer in Bezug zu einer Entität betrachtet wird, existiert kein allgemeingültiger bzw. entitätsunabhängiger Kontext¹¹³ (Risku, 2004, S. 86). Daher beschreibt der verwendete Kontextbegriff immer einen entitätsabhängigen Ausschnitt eines theoretisch vorstellbaren Gesamtkontextes (Zimmermann et al., 2007, S. 561).¹¹⁴ Verschiedene entitätszentrierte Kontexte können gleichzeitig nebeneinander existieren (z. B. der Akteurkontext, der Ressourcenkontext oder der Prozesskontext), sich teilweise überdecken und miteinander verknüpft sein (Hilbert et al., 2012, S. 4). Zu jedem Punkt in der Zeitspanne der Existenz einer Entität kann deren Kontext betrachtet werden. Dieser muss nicht zwangsläufig aktuell sein, sondern kann sich auch in der Vergangenheit (context history) oder in der Zukunft (context prediction) befinden.¹¹⁵

including the user and applications themselves.“ Diese Definition schließt somit den Benutzer und die Anwendung selbst mit ein. Diese Definition wird von vielen Autoren aufgegriffen und nach verschiedenen Gesichtspunkten angepasst (Hegering et al., 2003; Hellfeld, 2012, S. 78; Krause, 2007, S. 4; Winograd, 2001).

¹¹³ Dieser Zusammenhang wird auch aus der verwendeten Bezeichnung ersichtlich. Beispielsweise ist der Akteurkontext ein Kontext in Bezug auf die Entität Akteur.

¹¹⁴ Ähnlich unterscheidet auch Krause (2007) zwischen dem (Gesamt-)Kontext einer Dienstausführung als der Menge der von einem Dienst für seine Ausführung benötigten Kontextinformationen und dem Kontext einer einzelnen Entität als der Menge aller Kontextinformationen, die einer Entität zugeordnet sind.

¹¹⁵ So unterscheidet Gross (2007, S. 63) beispielsweise zwischen dem zurückliegenden Entstehungskontext und dem aktuellen Präsentationskontext einer Entität.

Mit der Betrachtung temporaler Aspekte können gesammelte Interaktionshistorien¹¹⁶ vergangener Kontextzustände als Basis von Prognosen¹¹⁷ verwendet werden, z. B. zur Ableitung von Informationsbedürfnissen zukünftiger Aufgaben (vgl. hierzu auch Chen und Kotz, 2000; Morgenroth, 2006, S. 45).

Kontextaspekte

Da jede Information aus dem Umfeld einer Entität eine potentielle Kontextinformation darstellt, lassen sich zur Beschreibung von Kontexten beliebig viele Informationen sammeln. Dadurch ist die Menge aller möglichen Kontextinformationen in einem theoretischen Gesamtkontext prinzipiell unendlich (Lanzer, 2012, S. 4; Rothermel, 2008, S. 123). Je nach Intention und Aufgabenstellung ist jedoch nur ein Teilbereich des Gesamtkontextes relevant, weshalb sich viele Ansätze der Kontextbetrachtung auf die Modellierung eines Kontextausschnitts, den sog. *Diskurskontext*¹¹⁸, beschränken. Dieser Diskurskontext beschreibt unterschiedliche Situationsbereiche, die als *Kontextaspekte* bezeichnet werden und sich inhaltlich überlappen können (Saidani et al., 2007; Schilit et al., 1994).

Definitionen 19 (Kontextaspekt) *Ein thematisch abgrenzbarer Teilbereich des Kontextes wird als Kontextaspekt bezeichnet.*

Für die Kategorisierung von Kontextaspekten existiert in der Literatur eine Fülle von Vorschlägen, die eine intensive Auseinandersetzung mit dem Kontextbegriff widerspiegeln. Wissenschaftler mit unterschiedlichsten Intentionen versuchten den Kontextbegriff möglichst umfassend durch Kontextaspekte zu beschreiben. Eine strukturierte Zusammenfassung verschiedener ausgewählter Kontextaspekte der Literatur gibt die Abbildung 36 wieder. Trotz der unterschiedlichen Nomenklatur sind bei vielen Ansätzen die Kontextaspekte von Dey und Abowd (1999) zu erkennen. Insbesondere wird auch die Überlappung verschiedener Kontextaspekte in Abhängigkeit von ihrer Granularität deutlich. In einer ersten Definition von Schilit et al. (1994) wurden Kontextinformationen anhand der drei Interrogativadverbien bzw. -pronomen „wo“, „mit wem“ und „welche“ in die drei Kontextaspekte Datenverarbeitungskontext, Benutzerkontext und physikalischer Kontext aufgeteilt¹¹⁹.

¹¹⁶ Solcherart Kontext- oder Interaktionshistorien bestehen dabei hauptsächlich aus der Beschreibung zurückliegender Interaktionen mit einem Informationssystem, den zugrundeliegenden Aufgabenstellungen sowie den bearbeiteten Gegenständen und Inhalten.

¹¹⁷ Es können verschiedene Verfahren verwendet werden, um Kontexte vorherzusagen. Rothermel (2006) beschreibt beispielsweise die Verwendung von neuronalen und Bayes'schen Netzen sowie Markov-Modellen, um über eine Verknüpfung bedingter Wahrscheinlichkeiten Kontextfaktoren zu prognostizieren.

¹¹⁸ In der Literatur werden verschiedene Bezeichnungen synonym verwendet. So z. B. Interaktionskontext (Ziegler et al., 2005, S. 182 ff.), aktueller Kontext (Winograd, 2001, S. 5) oder Prozesskontext (Schill, 2012).

¹¹⁹ "Three important aspects of context are: where you are, who you are with, and what resources are nearby" (Schilit et al., 1994). Weiter unterscheiden Schilit et al. (ebenda) Datenverarbeitungskontext (Netzwerk-Konnektivität, Verbindungskosten, Kommunikationsbandbreiten oder verfügbare Ressourcen wie Drucker, Bildschirme und Arbeitsstationen), Benutzerkontext (Benutzerprofil,

Kontext							
Schilit et al., 1994	User Environment		Physical Environment			Computing Environment	
Dey und Abowd, 2000	Identität	Aktivität	Ort	Zeit	Umgebung		
Gross, 2001 Mitchell, 2002	Persönlich		Ort	Zeit	Wetter	Applikationen	
Schmidt, 2002	Identität	Aktivität					Relationen
Samulowitz, 2002	Identität	Aktivität	Ort	Zeit	Umgebung	Ressourcen	
Amberg et al., 2004	Identität		Ort	Zeit			
Ziegler, 2005	Identität	Aktivität	Ort	Zeit		Geräte	
Zimmermann, 2007	Identität	Aktivität	Ort	Zeit			Relationen

Abbildung 36: Verschiedene Kontextaspekte in der Literatur

Ausgehend davon betrachteten Dey und Abowd (1999) als Kontextaspekte Identität, Aktivität, Ort und Umgebung¹²⁰. Diesen Ansatz erweiterten Samulowitz (2002) und Ziegler et al. (2005) durch den Ressourcenaspekt. Gross und Specht (2001) und Cheverst et al. (2002) betrachteten Wetterinformationen und verfügbare Applikationen als relevante Kontextaspekte, während Schmidt et al. (2002) die Relationen zwischen den Entitäten für wichtig erachtete.

Dieser Ansatz wurde von Zimmermann (2007) aufgegriffen und um den Ort- und Zeitaspekt erweitert, während die Betrachtung der drei Aspekte Identität, Ort und Zeit Amberg et al. (2004) in ihrer Arbeit genügte. Einen ausführlichen Überblick über verschiedene Kontextaspekte in der Literatur bietet Lantzer (2012). Neben Kontextaspekten, die für einen Großteil von Problemstellungen relevant sind, gibt es noch eine Vielzahl weiterer Kontextaspekte, die nur für spezifische Problemstellungen von Interesse sind. Dabei kann die Beschreibung des Diskurskontextes unterschiedlicher Aufgabenstellungen sowohl verschiedene Kombinationen als auch unterschiedliche Untergliederungen der Kontextaspekte erfordern. So werden beispielsweise für kontextgerechte Touristenführer hauptsächlich geographische Informationen benötigt, während ein kontextadaptives Informationsmanagement in Fahrzeugen eher technische Kontextaspekte auswertet. Die Tabelle 15 zeigt einige Beispiele für Kontextaspekte aus Kühn (2008).

Aufenthaltsort, in der Nähe befindliche Personen sowie sogar die soziale Situation) und physikalischen Kontext (Lichtverhältnisse, Geräuschpegel, Verkehrslage und Temperatur).

¹²⁰ "Context is typically the location, identity and state of people, groups, and computational and physical objects" (Dey et al., 2001).

Tabelle 15: Beispiele für Kontextaspekte¹²¹

Kontextaspekte	Beispiele
Geographisch	Land, Straße, Gebäude, Etage, Büro
Physisch	Wetter, Helligkeit, Geräuschpegel, Temperatur, Beschleunigung, Neigung
Temporal	Uhrzeit, Wochentag, Woche, Monat, Jahreszeit
Organisatorisch	Institution, Abteilung, Gruppe, Projekt
Sozial	Familie, Freunde, Mitarbeiter
Emotional	Herzfrequenz, Hautimpedanz, Stimmung
Nutzerspezifisch	Nutzerprofil, Aufenthaltsort, Nutzerrolle
Aufgabenspezifisch	Dokumentieren, Programmieren, Aktivität
Technisch	Konnektivität, Netzwerkbandbreite, Netzwerklatenz

Einige dieser Beispielaspekte verdeutlichen, dass verschiedene Entitäten unterschiedliche Kontextaspekte besitzen können (die *Stimmung* einer Anwendung ist nicht ermittelbar¹²²). Eine Auswahl verwendbarer Kontextaspekte ist somit abhängig von der betrachteten Entität. Neben der Beschreibung von Eigenschaften derselben Entität lassen sich Kontextinformationen durch die Verwendung als Index auch zur Auswahl und Aggregation von Kontextinformationen anderer, in Beziehung stehender Entitäten ermitteln. Hier wird in der Literatur unterschieden zwischen direkt eine Entität betreffenden Kontextaspekten, den sog. *primären Kontextaspekten*, und den über eine Verknüpfung zu anderen Entitäten referenzierten Kontextaspekten, den sog. *sekundären Kontextaspekten* (Fuchs et al., 2002; Krüger, 2006; Turjalei, 2006, S. 37). Aus der Positionsinformation einer Entität (primärer Kontextaspekt) lässt sich so beispielsweise ermitteln, welche Positionen verknüpfter Entitäten (sekundärer Kontextaspekt) sich in der Nähe befinden (Dey A.K. und Abowd G., 1999).

Definitionen 20 (Primärer Kontextaspekt) *Ein primärer Kontextaspekt ist ein Teilbereich, der einer betrachteten Entität direkt zugeordnet ist.*

Definitionen 21 (Sekundärer Kontextaspekt) *Ein sekundärer Kontextaspekt ist ein Teilbereich, der über eine Referenzierung zu primären Kontextattributen anderer Entitäten definiert wird.*

¹²¹ nach (Kühn, 2008)

¹²² Ein Beispiel für ein solches System wäre die Erkennung von Gefühlszuständen eines Akteurs anhand biologischer Sensoren (Fuchs et al., 2002).

Kontextattribute

Einzelne Informationen eines Kontextaspektes werden durch *Kontextattribute* dargestellt¹²³. Diese besitzen jeweils einen Datentyp (z. B. String), eine Bedeutung (z. B. Jahreszeit) und eine konkrete Ausprägung (z. B. Herbst). Die Ausprägung ist dabei eine Teilmenge des Attributvokabulars (z. B. Jahreszeiten). Der Datentyp und das Vokabular determinieren dabei die Granularität eines Kontextattributes. Ein Kontextattribut besitzt zu einem Zeitpunkt genau einen Zustand (z. B. Ort des Akteurs zum Zeitpunkt t) (Ziegler et al., 2005, S. 185).

Definitionen 22 (Kontextattribut) *Ein Kontextattribut ist ein Element eines Kontextaspektes, das ein konkretes Merkmal des Kontextes zu einem Zeitpunkt repräsentiert.*

Die angegebene Definition umfasst sämtliche Informationen als mögliche Kontextattribute. Um die Flexibilität bei der Kontextverwendung für unterschiedliche Aufgabenstellungen verschiedener Fachdomänen zu gewährleisten, sollten der Umfang und die Granularität der Kontextattribute ein notwendiges Maß nicht übersteigen.

Kontextquellen und Kontextqualitäten

Die wesentliche Voraussetzung für eine Kontextnutzung ist das Vorhandensein einer geeigneten Kontextquelle. Sowohl explizit von Akteuren selbst mitgeteilte Informationen als auch implizit durch Anwendungen ermittelte, aus anderen Informationen abgeleitete oder von verschiedensten Arten von Sensoren gewonnene Werte können verwendet werden (Krüger, 2006, S. 5; Ruppel, 2011). Aufgrund der verschiedenen Formen der Kontextgewinnung können sich Kontextattribute bezüglich ihrer Qualität maßgeblich unterscheiden. Diese qualitative Heterogenität betrifft dabei nicht nur verschiedene Datentypen und Wertebereiche, sondern auch die Verfügbarkeit und den Detaillierungsgrad der Kontextquellen (Strang und Linnhoff-Popien, 2004, S. 1). Auch müssen abhängig von der Kontextquelle Kontextattribute ggf. als partiell valid, nicht umfassend und relativ vage angesehen werden (Kunze, 2008, S. 63). Zusätzlich muss die Änderungsrate, also der Zeitabschnitt, in dem bestimmte Kontextattribute neu erfasst werden müssen, betrachtet werden. Abhängig davon, ob die betrachteten Eigenschaften relativ stabil sind oder sich regelmäßig ändern, gelten die Kontextwerte kurzzeitig bis langfristig. Entsprechend ordnen Henrich und Morgenroth (2006) den Aspekten der entitätsbasierten Kontexte verschiedene Änderungshäufigkeitsklassen zu (statisch, dynamisch und hoch dynamisch). Bei dieser Einteilung stellt der *Benutzerkontext* mit Benutzerprofil¹²⁴ und physikalischen und organisatorischen Kontextaspekten einen relativ statischen Kontext dar, der sich sehr langsam in großen Zeitabständen verändert. Der *Arbeitskontext*, der die aktuelle Tätigkeit eines Akteurs beschreibt, ändert sich wesentlich häufiger als der Benutzerkontext. Der *Interaktionskontext* schließlich besteht aus Detailinforma-

¹²³ Synonyme Bezeichnungen in der Literatur sind: Kontextmerkmale, Kontextelemente und Kontexteigenschaften.

¹²⁴ Das Benutzerprofil umfasst z. B. den geographischen Aufenthaltsort, Position des Nutzers innerhalb der Organisation eines Unternehmens und Informationen über seine Wissensgebiete und Fähigkeiten

tionen über die momentane Aufgabenbearbeitung (z. B. ein momentan betrachteter Modell-ausschnitt). Der Interaktionskontext ist hoch dynamisch und ändert sich innerhalb sehr kurzer Zeit.

Kontextabstraktionsebenen

Oft benötigen kontextverarbeitende Anwendungen (vgl. Kapitel 3.3.2, S. 122) für verschiedene Problemstellungen Zugriff auf Kontextinformationen unterschiedlicher Abstraktionsebenen. Neben Kontextinformationen, die direkt als mess- und beobachtbare Kontextattribute vorliegen (sog. *Low-Level-Kontextattribute*), lassen sich durch deren Kombination weitere Informationen ableiten und aggregieren, die als *High-Level-Kontextattribute* bezeichnet werden (Chen und Kotz, 2000; Trunko, 2011, S. 70). So lässt sich z. B. das Alter einer Person aus deren Geburtsjahr und dem aktuellen Datum ableiten. In der Tabelle 16 werden beispielhaft einige Low-Level- und High-Level-Kontextattribute aufgeführt.

Definitionen 23 (Low-Level-Kontextattribute) *Ein Low-Level-Kontextattribut ist ein Kontextattribut, das direkt mess- und beobachtbare Merkmale des Kontextes repräsentiert.*

Definitionen 24 (High-Level-Kontextattribute) *Ein High-Level-Kontextattribut ist ein Kontextattribut, das sich durch die Kombination von Low-Level-Kontextattributen ermitteln lässt.*

Dabei kann die Gewinnung von High-Level-Kontextattributen sehr aufwendig sein. Verschiedene Ableitungsregeln verwenden Algorithmen der Statistik, der Mustererkennung oder der Künstlichen Intelligenz (Fuchs et al., 2002; Turjalei, 2006, S. 37; Wiebrock, 2011, S. 53). Dabei ist zu beachten, dass die Änderungshäufigkeit von Low-Level-Kontextattributen auch auf die abhängigen High-Level-Kontextattribute durchschlägt.

Tabelle 16: Beispiele für High- und Low-Level-Kontextattribute

Low-Level -Kontextattribute (messbar mit Hilfe von log. und phys. Sensoren)	High-Level-Kontextattribute (ableitbar aus Low-Level-Kontextattributen)
<ul style="list-style-type: none"> • Ortsinformation • Zeit • Physikalische Größen (Licht, Druck, Beschleunigung, Ton und Temperatur) • Biologische Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gruppenzugehörigkeit (Muster) • Alter • Aktivität



Abbildung 37: Konzepte der Kontextmodellierung

3.2.2 Ansätze der Kontextmodellierung

Für verschiedene Aufgabenstellungen und Anwendungsszenarien sind unterschiedliche Kontextaspekte relevant. Damit ein durch Interpretation und Abstraktion erzeugtes mentales Abbild der Kontextaspekte durch kontextverarbeitende Anwendungen verwendet werden kann, muss dieses geeignet formalisiert werden. Dafür werden *Kontextmodelle* verwendet, die relevante Kontextfaktoren und ihre Abhängigkeiten strukturiert abbilden¹²⁵. Das Kontextmodell ist somit ein vereinfachtes, abstraktes Abbild eines Realitätsausschnittes.

Definitionen 25 (Kontextmodell) *Ein Kontextmodell beschreibt einen Kontextausschnitt durch die Formalisierung eines oder mehrerer Kontextaspekte und ihrer Kontextattribute.*

Durch Kontextmodelle werden relevante Kontextaspekte eines intentionsabhängigen Kontextausschnittes spezifiziert. Dafür werden alle Kontextaspekte in einer hierarchischen Struktur formal beschrieben sowie Aggregations- und Ableitungsregeln für High-Level-Kontextattribute festgelegt. Ein Kontextmodell dient dabei nicht nur der Kontextformalisierung innerhalb einer Anwendung, sondern kann auch über Anwendungsgrenzen hinaus, als Basis zum Austausch von Kontextinformation, verwendet werden. Dabei kann der Austausch sowohl zwischen verschiedenen kontextsensitiven Anwendungen als auch zwischen Kontextquellen und kontextverarbeitenden Anwendungen geschehen. Die beteiligten Instanzen müssen sich dafür auf ein gemeinsames Kontextmodell verständigen. Einen Überblick über die Konzepte der Kontextbetrachtung gibt Abbildung 37. Vertiefende Informationen zum Diskurs des Kontextbegriffs finden sich unter (Chen und Kotz, 2000; Dey und Abowd, 1999; Krüger, 2006). Kontextmodelle können auf verschiedenen Abstraktionsebenen beschrieben werden. Nach der Abstraktionsstärke lassen sich die drei Ebenen der formalen, konzeptionellen und technischen Repräsentation unterscheiden.

Formale Repräsentationsebene

Formal lässt sich ein Kontext C einer Entität e zu einem bestimmten Zeitpunkt t als Sammlung von Kontextaspekten folgendermaßen darstellen:

$$C(e, t) = \{ca_1, \dots, ca_n\} \mid ca_i \in CA(e), e \in E, t \in T, n \in \mathbb{N} \quad (1)$$

¹²⁵ Schill (2012, S. 360) definiert dazu: „Ein Kontextmodell beschreibt, welche Informationen über welche Realweltobjekte für bestimmte Anwendungsdomänen relevant sind und welche Zusammenhänge zwischen diesen bestehen.“

Ein Nutzerkontext kann sich beispielsweise aus den Werten der primären Kontextaspekte Wissen *KN* und Erfahrung *EX* sowie aus den sekundären Kontextaspekten Unternehmenszugehörigkeit *CO*, Projektzuordnung *PR*, Ausrüstung *EQ* und Umgebung *EN* konstituieren. Dieser Kontext lässt sich für einen Akteur *a* zu einem Zeitpunkt *t* folgendermaßen formalisieren:

$$C(a, t) = \{ca_{kn}, ca_{ex}, ca_{co}, ca_{pr}, ca_{eq}, ca_{en}\} \quad (2)$$

Auf der formalen Ebene wird die Struktur der Kontextmodelle spezifiziert. Die inhaltliche Konzeption kann auf dieser Abstraktionsebene allerdings nicht wiedergegeben werden. Dies erfordert eine Beschreibung auf der konzeptionellen Ebene.

Konzeptionelle Repräsentationsebene

Auf der konzeptionellen Ebene der Modellierung werden die inhaltlichen Konzepte und Beziehungen des Anwendungsbereichs durch Begriffe und Attribute beschrieben. Dafür werden semantische Datenmodelle verwendet, die durch verschiedene, meist graphische Modellierungssprachen (z. B. Entity-Relationship-Modelle, ER und Unified-Modeling-Language-Modelle, UML) dargestellt werden können. Insbesondere die Verwendung von UML-Klassendiagrammen ist sehr verbreitet (Koch, 2010; Wiebrock, 2011). Damit diese auf der konzeptionellen Ebene definierten Kontextmodelle letztendlich in Anwendungen verwendet werden können, müssen sie implementiert werden. Die Vorbereitung dafür ist die technische Repräsentationsebene.

Technische Repräsentationsebene

Durch die technische Modellierung werden die Konzepte der semantischen Kontextmodelle in informationstechnisch verwendbare Datenmodelle umgesetzt. Es existieren verschiedene technische Strukturierungsansätze, die sich anhand ihrer zugrundeliegenden Datenstrukturen unterscheiden¹²⁶. Ausgehend von einfachen Schlüsselwertpaaren, die lediglich einem Kontextattribut einen Wert zuweisen, entwickelten sich im Laufe der Zeit semantisch reichhaltige Modellierungsansätze.

Chen und Kotz (2000) teilten relevante Datenstrukturen für die Darstellung von Kontextinformationen in fünf verschiedene Kategorien ein: Schlüssel-Wert-Modelle, Markup-Schema-Modelle, objektorientierte Modelle, logikbasierte Modelle und weitere Modelle.

Diese Kategorisierung der Kontextmodellierung ergänzen Bettini et al. (2010) um Objekt-Rollen-Modelle, räumliche Modelle und ontologiebasierte Modelle. Topcu (2011) kombiniert die räumliche und die ontologiebasierte Modellierung zu hybridbasierten Kontextmodellen. Abbildung 38 stellt die verschiedenen Ansätze der Kontextmodellierung einander gegenüber. Im Folgenden werden die vorgestellten Repräsentationsformen im Hinblick darauf geprüft, inwieweit sie die in Abschnitt 2.2.3 aufgestellten Anforderungen an ein informationslogistisches Kontextmodell erfüllen.

¹²⁶ Einen guten Überblick über die Entwicklung der Kontextmodellierung geben (Bettini et al., 2010) sowie (Strang und Linnhoff-Popien, 2004).

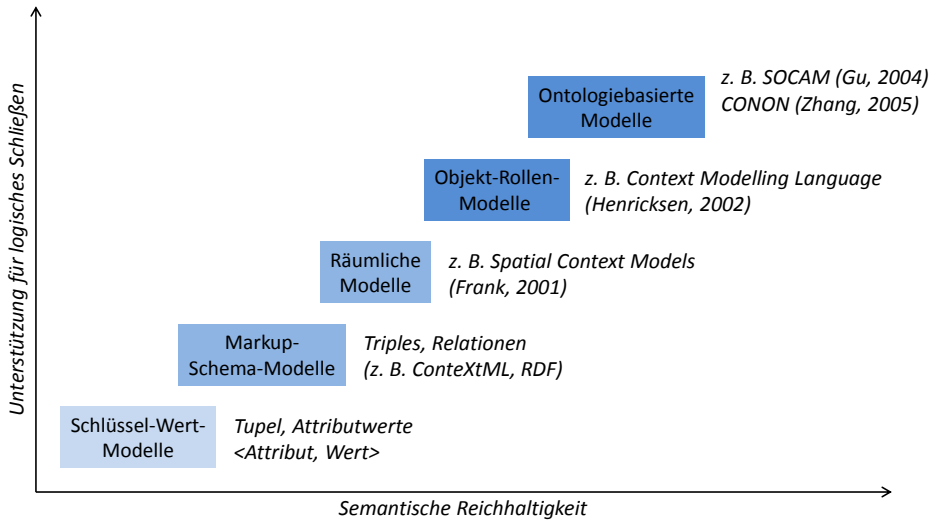


Abbildung 38: Repräsentationsformen für Kontextmodell

Schlüssel-Wert-Modelle (key-value models) stellen eine relativ einfache Modellierungsform dar (Samulowitz, 2002; Schilit et al., 1994; Schulze und Förster, 2011, S. 6). Hier werden Kontextaspekte durch Aufzählung von Kontextattributen mit Werten in einfacher Tupelform <Attributname, Attributwert> repräsentiert (z. B. <Temperatur, 35> oder <Startzeit, 21:16:00>). Schlüssel-Wert-Modelle sind einfach zu implementieren und zu verwalten, sind aber hochgradig anwendungsproprietär und besitzen einen geringen Formalisierungsgrad. Aufgrund der fehlenden syntaktischen oder semantischen Beschreibungen eignen sie sich nicht für die Modellierung komplexer und verknüpfter Kontextbeschreibungen (Anforderung A8, A9). Es gibt ebenfalls keine Hilfsmittel zur Plausibilitätsbewertung (Anforderung A11). Ein Beispiel für Schlüssel-Wert-Modelle ist das Kontextmodell des „Context Toolkit Framework“ von (Dey et al., 2001).

Bei der Verwendung von *Markup-Schema-Modellen* (markup scheme models) lassen sich über sog. Markup-Tags Triples definieren, die Attribute und Inhalte besitzen. Da sich als Inhalt sowohl Attributwerte als auch Attributrelationen abbilden lassen, können dadurch relativ einfach hierarchische Datenstrukturen dargestellt werden (Gu et al., 2004). Für Markup-Sprachen existiert eine große Werkzeugunterstützung durch leistungsstarke Parser, Interpreter und Validierungswerkzeuge für Typ- und Bereichsprüfungen, die sowohl die Modellierung als auch die Validierung unterstützen. Beispiele für den Einsatz von XML-basierten Auszeichnungssprachen zur Kontextspeicherung sind die Kontextmodellierungssprache ConteXtML (Ryan, 1999) und die Pervasive Profile Description Language (PPDL) (Chtcherbina und Franz, 2003). Weitere XML-basierte Ansätze zur Kontextspeicherung in ubiquitären Systemen beschreibt Bagci (Bagci et al., 2003). Einige Ansätze der Nutzermodellierung verwenden Markup-Schema-Modelle für die Darstellung profilbasierter Kontextmo-

delle. Die bekanntesten Beispiele solcher kontexttragenden Nutzerprofile sind das Fähigkeitsprofil *CC/PP*¹²⁷ oder das Benutzeragentprofil *UAProf*¹²⁸. Allerdings werden solche Profile als relativ statische Dokumente persistiert, woraus eine schlechte dynamische Anpassbarkeit resultiert (Zimmer, 2007, S. 26).

Eine weit verbreitete XML-basierte Auszeichnungssprache ist das *Resource Description Framework* (RDF). Hier werden Informationsobjekte durch Tripel in der Form Subjekt, Prädikat und Objekt beschrieben. Alle Tripel können dabei als Elemente anderer Tripel verwendet werden. Durch die Verknüpfung mehrerer Tripel zu einem gerichteten Graphen lassen sich relativ komplexe Strukturen abbilden. Verschiedene Ansätze verwenden RDF für die entitätsbasierte Kontextrepräsentation (Priebe et al., 2003). Hierbei verkörpert das Kontextattribut eine zu beschreibende Ressource, das Prädikat repräsentiert eine bestimmte Eigenschaft dieses Attributes und das Objekt stellt den Attributwert dar. Auf RDF basiert beispielsweise der Ansatz von Held et al. (2002), Kontextinformationen in sog. Comprehensive Structure Context Profiles (CSCP) abzubilden.

Räumliche Modelle (spatial context models) verwenden drei wesentliche räumliche Konzepte, um Kontextinformationen zu modellieren. Das sind Position, Bereich und Nachbarschaft. Somit können positionsabhängige Anfragen beantwortet werden (z. B. nächster erreichbarer Drucker oder nächste Tankstelle) (Becker und Nicklas, 2004; Ivanova, 2011). Daher eignen sich räumliche Kontextmodelle am besten für mobile Informationssysteme, so z. B. das Nexus-Projekt zur Abbildung mobiler GIS-Umgebungen (Fritsch und Volz, 2003). Andere Ansätze verwenden die räumlichen Strukturen, um die Komplexität großer Mengen an Kontextinformationen zu verringern (Bettini et al., 2010). Über spezielle räumliche Reasoningverfahren können durch logisches Schließen neue implizite Informationen abgeleitet werden (Guesgen und Marsland, 2010). Ein großer Nachteil dieses Ansatzes ist der Aktualisierungsaufwand bei Kontextänderungen. Damit ist dieser Ansatz nicht für dynamische Kontextinformationen geeignet (Anforderung A12).

Bei den *Objekt-Rollen-Modellen* (Object-Role Modeling, ORM) handelt es sich um eine von Halpin (2006) vorgeschlagene Methode, um Kontextinformation faktenbasiert zu modellieren. ORM-Modelle beschreiben dafür Entitäten (entities), Sachverhalte (facts) und verschiedene Rollen (roles), die Entitäten einnehmen können. Entitäten sind mit den Attributen durch unidirektionale Relationen (sog. Assoziationen) verknüpft. Dabei zielt ORM auf eine einfache Modellierung unter Benutzung von natürlicher Sprache und intuitiven Diagrammen. ORM-Modelle können partiell validiert werden (Anforderung A12) und können durch prädikatenlogische Ausdrücke höhere Kontextinformationen ableiten (vgl. Anforderung

¹²⁷ *Composite Capabilities/Preference Profiles* (CC/PP); <http://www.w3.org/TR/CCPP-struct-vocab/>

¹²⁸ Bei *UAProf* handelt es sich um eine Implementation von CC/PP der Open Mobile Alliance (OMA) zur Spezifikation von Hard- und Softwareplattformen, des eingesetzten Browsers oder von Netzwerkeigenschaften. UAProf-Informationen werden meist über Metadaten transportiert (Open Mobile Alliance, 2001).

A10; Ivanova, 2011). Ein Beispiel für ein ORM-basiertes Modell ist die *Context Modeling Language* (CML), die von Henricksen et al. (2002) vorgestellt und später schrittweise verfeinert wurde. Die CML bietet spezifische Sachverhaltklassifikationen und unterscheidet sowohl zwischen statischen und dynamischen Fakten als auch zwischen zugewiesenen (profiled), gemessenen (sensed) und hergeleiteten (derived) Faktentypen. Durch einen zusätzlichen *history-fact-type* können auch Zeitaspekte des Kontextes dargestellt werden und durch sog. *DependsOn*-Relationen lassen sich Abhängigkeiten zwischen den Fakten modellieren. Die Stärke der ORM-Modelle liegt hauptsächlich in der Modellierung von Kontextmodellen und der Spezifikation kontextsensitiver Anwendungen. Zusätzlich unterstützen sie die einfache Zuordnung von Kontextmodellen zu Laufzeitsystemen, die mit Kontextinformationen gefüllt und durch kontextsensitive Anwendungen abgefragt werden können. Beispielsweise beschreibt Halpin (1996) ein Verfahren zur Ableitung von ER-Modellen und Henricksen et al. (2003) entwickelte eine Erweiterung, um entsprechende relationale Datenbanken zu erzeugen. Durch die formale Semantik von ORM können Kontextmodelle durch faktenbasierte Reasoner ausgewertet werden, wobei einige Modellmerkmale, z. B. Konstrukte, die sich auf unvollkommene Informationen beziehen, diese Reasoningfähigkeiten einschränken (Bettini et al., 2010). Eine Schwäche der ORM-Modelle ist deren flaches Informationsmodell. Nicht immer haben alle Kontextaspekte für eine Aufgabenstellung die gleiche Wichtigkeit. Wenn bestimmte Kontextaspekte in einer Situation einen höheren Einfluss auf eine Problemlösung haben, so werden für die Kontextmodellierung hierarchische Strukturen und Möglichkeiten zur Abbildung weiterer Aspekte wie Stärkerelationen¹²⁹ oder Relevanzverhältnisse benötigt (Rath, 2003; Wrightson, 2001). Somit bestehen strukturelle Einschränkungen der Eignung dieses Modellierungsansatzes.

Logik- und Ontologiebasierte Modelle

Damit sich Kontextmodelle maschinell interpretieren und auswerten lassen, benötigen sie Beschreibungsformen mit hoher formaler Aussagekraft. Mit dieser Zielrichtung wurden Ansätze untersucht, um Kontexte durch logikbasierte Modelle mit Fakten, Ausdrücken und Regeln zu beschreiben. Krause (2007) untersuchte dafür verschiedene Logikstufen im Hinblick auf ihre Eignung zur Kontextrepräsentation. Er stellte die Grundanforderung, dass Kontextinformationen immer als Entität, Kontextinformationsart und Kontextwert vorliegen müssen und Beziehungen zwischen Kontextinformationen abbildbar sowie Inferenzverfahren entscheidbar sein sollen. Er bemängelte die begrenzte Ausdrucksstärke der *Aussagenlogik*, da nur elementare Aussagen möglich sind und Abbildungsmöglichkeiten für Quantifizierungen oder Beziehungen zwischen den Elementen fehlen. Die Stufe der *Prädikatenlogik* erweitert die Aussagenlogik um Prädikate sowie Quantoren und bietet dadurch eine mächtige Aussagekraft. Leider ist sie nicht entscheidbar, was die Prozesse der Schlussfolgerungen über Kontextwissen einschränkt. Einzig *Beschreibungslogiken* als entscheidbare Teilmenge der

¹²⁹ Eine Stärkerelation beschreibt als Ordnung innerhalb einer Attributklasse, ob Attribute gleichen Typs mit einem anderen Wert stärker oder schwächer sind (z. B: ist ein Datendurchsatz von 1024 kbit/s schwächer als ein Durchsatz von 2048 kbit/s).

Prädikatenlogik erster Stufe eignen sich uneingeschränkt für die Repräsentation von Kontextinformationen. Eine Wissensbasis für beschreibungslogische Modelle sind *Ontologien*¹³⁰. Aufgrund der formalen Ausdrucksstärke und der Folgerungstechniken eignen sich Ontologien sehr gut sowohl für die Modellierung als auch für die inferenztechnische Verarbeitung von Kontextinformationen (Uschold und Gruninger, 1996; Weissensteiner, 2006). Auf der Grundlage von existierenden Kontextinformationen können neue Fakten durch *Inferenzverfahren* (sog. Reasoning) abgeleitet werden. Einen der ersten Ansätze für logikbasierte Kontextmodelle beschrieben McCarthy und Buvac (1997). Ontologiebasierte Kontextmodelle (ontology based models) wurden erstmals von Öztürk und Aamodt (1997) mit dem Ziel vorgestellt, Wissen unterschiedlicher Domänen zu normalisieren und zu kombinieren. Einen weiteren Ansatz stellten Strang und Linnhoff-Popien (2003) vor. Hier wird eine *Context Ontology Language* (CoOL) vorgestellt, die sog. Aspect-Scale-Context-Information abbildet¹³¹. Einen ähnlichen Weg gehen Wang et al. (2004) mit dem Kontextmodell *CANON*. Dieses wurde mit dem Ziel entwickelt, Wissen auszutauschen, wiederzuverwenden und logische Schlussfolgerungen abzuleiten. Idealerweise werden ontologiebasierte Kontextmodelle in einem logikbasierten System verwaltet, das in der Lage ist, Fakten hinzuzufügen, zu aktualisieren oder zu löschen (Weissensteiner, 2006). Eine solche Laufzeitunterstützung für kontextbewusste Systeme stellen Chen et al. (2004) mit der Brokerzentrierten Agentenarchitektur *CoBrA* vor, die besonders für verteilte Systeme geeignet ist. Ein weiteres ontologiebasiertes Kontextframework stellt Korpipää (2005) vor. Als Besonderheit dieses Ansatzes gilt die Fähigkeit, durch spezielle Fuzzy-Logic auch unscharfe Kontextinformationen zu verarbeiten (Weissensteiner, 2006). Ontologiebasierte Modelle besitzen wesentliche Stärken in Bezug auf die Normalisierung und Formalität der Kontextmodelle. Für die Verwendung von Ontologien existiert inzwischen eine große Werkzeugunterstützung.

Tabelle 17: Gegenüberstellung der vorgestellten Kontextmodelle

Kontextmodelle	A8 Granularität	A9 Verknüpfungen	A10 Ableitbarkeit	A11 Validierbarkeit	A12 Dynamik	A13 Erweiterbarkeit	A14 Werkzeugunterstützung
Schlüssel-Wert-Modelle	--	--	--	--	--	-	-
Markup-Schema-Modelle	--	++	(+)	++	--		++
Räumliche Modelle	-	+	-	-	--		-
Objekt-Rollen-Modelle	-	+	-	-	--	-	-
Ontologie-basierte Modelle	+	++	++	++	+	+	++

¹³⁰ Der Begriff Ontologie und seine Verwendung werden in Kapitel 4.1 detaillierter erläutert.

¹³¹ Vom gleichen Autor existieren auch Erweiterungen für Webservices und weitere Integrationsmechanismen.

Die Modellierung wird durch leistungsstarke Parser und Interpreter (Anforderung A13) unterstützt, und für die Validierung existieren gut untersuchte Validierungswerkzeuge (Anforderung A11).

Diskussion

Oftmals ist ein direkter Vergleich der Modellierungsansätze schwierig, da jede Problemstellung andere Modellkategorien erfordert und oft im Nachhinein nicht alle den Entwurfsentscheidungen zugrundeliegenden Intentionen bekannt sind. Auch lassen sich die Modellierungsansätze nicht klar unterteilen, da mitunter einzelne Modelle mehreren Kategorien zugeordnet werden können (so ist es beispielsweise möglich, Schlüssel-Wert-Modelle in Form eines ontologiebasierten Kontextmodells darzustellen). Um die vorgestellten Modellierungsansätze zu vergleichen, werden in der Tabelle 17 die vorgestellten Kontextmodelle den ausgearbeiteten informationstechnologischen Anforderungen an die Kontextmodellierung aus Kapitel 2.2.3 gegenübergestellt¹³². Entsprechend den Anforderungen an die Kontextmodellierung wurde für die Kontextrepräsentation in der weiteren Arbeit ein ontologiebasierter Ansatz gewählt.¹³³

3.2.3 Möglichkeiten der Kontextintegration

Kontextsensitivität

Menschen passen ihr Verhalten und die Informationsinterpretation intuitiv der jeweiligen Umgebungssituation an. Damit sich Softwareanwendungen ähnlich situationsangepasst verhalten, müssen sie Kontextinformationen erfassen, verarbeiten und in ihrem Verhalten berücksichtigen. Für diese Fähigkeit hat sich im englischen Sprachraum der Begriff *Context Awareness*¹³⁴ (Kontextbewusstsein) durchgesetzt¹³⁵ (Ruppel, 2011). Eine frühe Definition kontextbewusster Systeme stammt von Schilit und Theimer (1994): „Such context-aware systems adapts according to the location of use, the collection of nearby people, hosts, and accessible services, as well as to changes to such things over time. A system with these capabilities can examine the computing environment and react to changes to the environment.“

¹³² Diese Aufstellung lehnt sich an die Arbeit von Strang und Linnhoff-Popien (2004) an, die eine Eignung der Modellierungsansätze für ubiquitäre Webanwendungen untersucht.

¹³³ Einen tieferen Einblick in verschiedene Ansätze der Kontextmodellierung geben die Arbeiten von ROTHERMEL ET AL (2008) und BECKER UND NICKLAS (2004).

¹³⁴ Etymologisch bezeichnet *Context Awareness* die Erkenntnis oder das Bewusstsein eines Sinnzusammenhangs. Ursprünglich wurde dieser Begriff von Weiser (1999) als wichtige technologische Voraussetzung zur Verwirklichung der Ubiquitous-Computing-Vision eingeführt. Entsprechend werden kontextsensitive Anwendungen unter dem Begriff *context-aware computing* subsummiert (Trunko, 2011, S. 66).

¹³⁵ In der früheren Literatur lassen sich eine Vielzahl synonym benutzter Begriffe finden (z. B. adaptive, kontextbasiert, reactive, responsive, situated, environment-directed). Auch im deutschen Sprachgebrauch wird dieses Konzept uneinheitlich benannt. Häufig synonym benutzte Begriffe sind *kontextbezogen* (Rothermel 2008), *kontextadaptiv* und *kontextbewusst* (Fahrmaier, 2005; Krause, 2007; Samulowitz, 2002). Einen Überblick liefert Krüger (2006, S. 20 ff.)

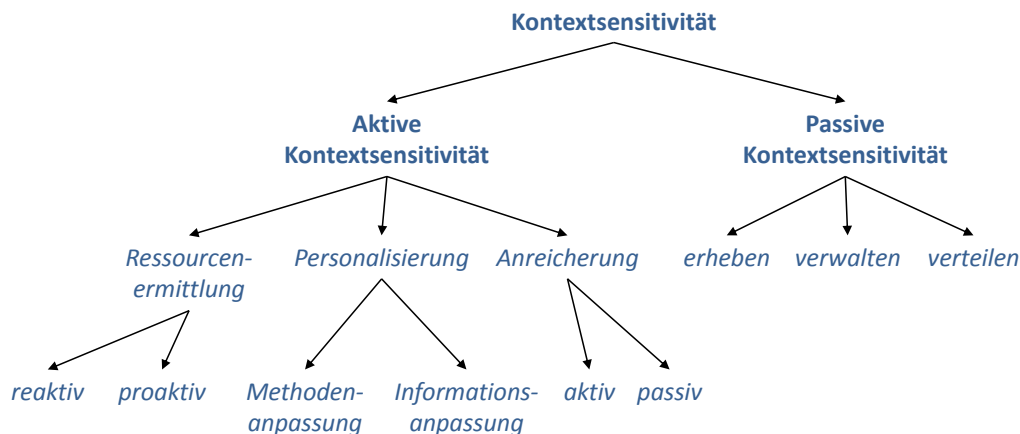


Abbildung 39: Verwendungsfelder der Kontextsensitivität

Eine weitere häufig verwendete Definition, die eine Informationslogistik fokussiert, liefern Dey und Abowd (1999, S. 6): „A system is context-aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user’s task.“ Beide Definitionen betonen die Kontextverwendung und schränken kontextsensitive Anwendungen auf solche ein, die ihr Verhalten an den Kontext anpassen. Hier werden Anwendungen für die Beschaffung und Bereitstellung der Kontextinformationen vernachlässigt. Solche Kontextmanagementanwendungen ändern zwar nicht ihr Verhalten, können aber dennoch als kontextsensitiv bezeichnet werden (Krüger, 2006, S. 20). Einige Autoren (Sitou, 2009, S. 27) vertreten die Ansicht, dass die Kontextsensitivität nur die Änderung beobachtbaren Verhaltens beschreibt. Der Autor vertritt die Ansicht, dass eine Kontextanpassung nicht zwangsläufig direkt beobachtbar sein muss. Insbesondere sind kontextabhängige Rechenlastoptimierungen (Lastverteilung) denkbar, die für den Akteur nicht direkt ersichtlich sein müssen¹³⁶. Als Entsprechung der englischen Bezeichnung wird im Rahmen dieser Arbeit in einer erweiterten Definition der Begriff Kontextsensitivität verwendet, der alle Anwendungen umfasst, die Kontextinformationen verarbeiten:

Definitionen 26 (Kontextsensitivität) *Eine Anwendung wird als kontextsensitiv bezeichnet, wenn sie Kontextinformationen verwendet, um ihr Verhalten automatisch anzupassen, oder anderweitig Kontextinformationen erhebt, verwaltet oder verarbeitet.*

Um sich an den Kontext anpassen zu können, müssen kontextsensitive Anwendungen hochgradig adaptiv sein. Dabei sehen nur wenige Softwareanwendungen in ihrer Ablauflogik die Beeinflussung durch äußere Einflüsse vor. Die Entwicklung von kontextsensitiven Anwendungen erfordert daher neue und erweiterte Methoden der Softwaretechnik.

¹³⁶ Ähnlich unterscheiden auch Barriois et al. (2005) zwischen wahrnehmbarer und versteckter Adaption.

Entsprechend der Verwendungsart wird unterschieden in aktive und passive Kontextsensitivität (Chen und Kotz, 2000; Trunko, 2011, S. 77). Eine Anwendung mit passiver Kontextsensitivität befasst sich hauptsächlich mit Aufgaben des Kontextmanagements (Erheben, Verwalten und Verteilen von Kontextinformationen), während eine Anwendung mit aktiver Kontextsensitivität die Ausgestaltung der angebotenen Methoden sowie die Schnittstellengestaltung und Informationsausgabe an den Kontext anpasst. Trunko (2011) identifiziert drei Hauptfelder der aktiven Kontextsensitivität: die kontextbezogene Ressourcenermittlung (*contextual resource discovery*), die kontextbezogene Personalisierung (*contextual adaptation*) und die kontextbezogene Anreicherung (*contextual augmentation*). Die Abbildung 39 zeigt die verschiedenen Felder der aktiven und passiven Kontextsensitivität, die im Folgenden näher erläutert werden.

Bei der *kontextbezogenen Ressourcenermittlung* werden in Abhängigkeit vom Kontext relevante Informationsquellen und Dienste ermittelt. Hierbei lassen sich zwei verschiedene Entwicklungsrichtungen unterscheiden. Ansätze der *reaktiven Ressourcenermittlung* erweitern oder modifizieren anwenderinitiierte Suchanfragen anhand eines Suchkontextes, der die Situation beschreibt, aus der heraus die Anfrage formuliert wurde (Härtwig, 2009; Koch, 2010; Reuter, 2004, S. 10). *Proaktive Ansätze* dagegen versuchen, bereits im Vorfeld einer Aufgabenbearbeitung den Informationsbedarf eines Akteurs in der aktuellen Arbeitssituation zu antizipieren und relevante Informationen aus verschiedenen Quellen bereitzustellen¹³⁷.

Die *kontextbezogene Personalisierung* kann sowohl auf Ebene der Methoden als auch auf Ebene der Informationen stattfinden und somit Anwendungsverhalten oder Informationsinhalte beeinflussen¹³⁸. Bei der *Personalisierung* (auch Push-Individualisierung) handelt es sich um eine systemgetriebene Individualisierung anhand von Kontextinformationen, die sich wesentlich unterscheidet von der anwenderinitiierten Individualisierung, der sog. *Customization* (Pull-Individualisierung) anhand von persönlichen Präferenzen. Während Customizing somit auf expliziten Informationen basiert, kann die Personalisierung auch solch implizite Informationen wie Kontextinformationen berücksichtigen.

Beispielsweise kann ein Anwender durch Customizing aktiv die GUI einer adaptierbaren Anwendung an seine Bedürfnisse anpassen, während eine adaptive Anwendung durch Personalisierung ihre GUI (z. B. durch Adaptive User Interfaces) automatisch an die über das Betriebssystem ermittelte Landessprache anpasst (Kuiper und van Dijk, 2009, S. 117; Rauscher und Hess, 2005, S. 5; Strebing und Treiblmaier, 2004, S. 1; Wiebrock, 2011, S. 49).

Während auf der Ebene der Methoden meist der Umfang oder die Ausgestaltung von Methoden angepasst werden (z. B. für Aspekte des Zugriffsmanagements; Hilbert et al., 2010), be-

¹³⁷ So z. B. (Cimino, 2006; Engelbach und Delp, 2003; Henrich und Morgenroth, 2006; Maviglia et al., 2006; Sieber und Wächtler, 2004, S. 59).

¹³⁸ Vgl. (Lieberman und Selker, 2000, S. 618; Sitou, 2009, S. 27; Trunko, 2011, S. 69; Wiebrock, 2011, S. 49).

schäftigt sich die kontextbezogene Anpassung der Informationen mit Inhalts- und Präsentationsadaption, um beispielsweise Akteure mit situationsgerechten Informationen zu versorgen. Beispiele dafür sind Ansätze zur Generierung benutzerspezifischer Sichten (Neundorf und Raps, 2004) oder profilbasierter Suchergebnisse (Koch, 2010).

Eine *kontextbezogene Anreicherung* dient dazu, zusätzliche Informationen bereitzustellen, deren Bedarf anhand des Kontextes antizipiert wird. Diese Informationen können passiv bereitgestellt oder aktiv dem Akteur zugeleitet werden (Gronau und Lindemann, 2010, S. 64).

Die Anpassung von Verhalten oder Informationen für eine aktive Kontextsensitivität erfolgt anhand spezifischer Regeln und kann sowohl anwenderbeeinflussbar wie auch -unbeeinflussbar ausgestaltet sein. Insbesondere bei Anpassung der Methodenausgestaltung bei gleichbleibender Benutzerschnittstelle oder der Ausführung einer Anwendung ohne Benutzerkommunikation muss eine solche Kontextsensitivität nicht zwangsläufig wahrnehmbar sein (Brown, 1998; Barrios et al., 2005; Trunko, 2011). Dabei können kontextsensitive Anwendungen mit beobachtbarem Verhalten aus Sicht des Akteurs ein nichtdeterministisches Verhalten zeigen, das durch unterschiedliche Reaktionen Anwender verunsichern kann (Sitou, 2009).

Formale Beschreibung kontextsensitiver Anwendungen

Eine kontextsensitive Anwendung lässt sich durch Angabe der verwendeten Kontextaspekte und der kontextbezogenen Funktionen beschreiben (Schmidt et al., 2002). Eine formale Notation lässt sich folglich darstellen durch: (Both, 2006, S. 12)

- die Menge der verwendeten Kontextaspekte:

$$\Omega = \{ca_1, ca_2, \dots, ca_n\} \quad (3)$$

- die Menge der kontextbezogenen Funktionen der Anwendung:

$$\Theta = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \quad (4)$$

- sowie durch die Kontextrelationen, die eine Potenzmenge der Kontextmenge mit der Potenzmenge der Funktionsmenge verknüpft:

$$R : P(\Omega) \rightarrow P(\Theta) \quad (5)$$

- Somit stellt sich die kontextintegrierende Anwendung folgendermaßen dar:

$$A_{context} = (\Omega, \Theta, R) \quad (6)$$

Die Kontextrelation stellt dar, welche Funktion die Kontextaspekte verwendet. In welcher Art diese Verwendung stattfindet, kann auf dieser formalen Ebene nicht abgebildet werden.

Anwendungsszenarien kontextsensitiver Anwendungen

Die Anwendungsszenarien für kontextsensitive Anwendungen sind sehr vielfältig. Im Bereich des Ubiquitous Computing¹³⁹ und Mobile Computing werden hauptsächlich *ortsbezogene Dienste* (Location-based Services, LBS) benötigt, für die räumliche Mobilität und wechselnde Nutzungskontexte eine wichtige Rolle spielen. Hier finden sich kontextsensitive Anwendungen im Innenbereich im Bereich Logistik (z. B. Anwendungen zur Identifikation und Lokalisierung von Personen und Objekten anhand RFID¹⁴⁰) und Tourismus (z. B. digitale Museumsführer). Im Außenbereich finden sich ortsbezogene Dienste zum Beispiel bei Verkehrskontroll-, Leit- und Notrufsystemen, Flottenmanagementsystemen und touristischen Reise- und Restaurantführern. Ein weiterer wichtiger Bereich sind *gerätebezogene Dienste*. Hier haben sich verschiedene Technologien entwickelt, um die Informationsbereitstellung an unterschiedliche Endgeräte anzupassen. Durch das sog. *Multi Channel Delivery* werden Informationen an die verschiedenen Spezifikationen der Endgeräte (Displaygröße, Auflösung, Speichergröße und Rechenleistung) angepasst. Durch *Network Adaptation* wird die Datenübertragung an die verfügbare Bandbreite der situativen Netzwerkbedingungen der Endgeräte angepasst. Hierzu werden Kompressionsmechanismen gewählt oder Informationsinhalte gefiltert (Weissensteiner, 2006, S. 13). Dieser Teilbereich wird durch die Forschungsrichtung der Intelligenten Multimedia (IMM) intensiver betrachtet, die sich mit dem situationsangepassten Einsatz unterschiedlicher Medien und Präsentationsformen beschäftigt. Für den Bereich der *informationsbezogenen Dienste* dagegen spielen die Informationsbedürfnisse der Akteure eine wesentliche Rolle. Ziel ist die benutzerspezifische Anpassung und Bündelung verteilter Informationen. Ein aktueller Forschungsbereich ist das kontextorientierte Information Retrieval (Morgenroth, 2006). Hier wird bei der Auswahl von Informationen der lokale Kontext des Anwenders explizit berücksichtigt. Dadurch werden die Komplexität und die Geschwindigkeit des Retrievalprozesses reduziert und die Relevanz der Informationsauswahl erhöht. Um dies zu erreichen, werden Kontextmodelle für verschiedene Modalitäten entwickelt, so dass sie effektiv eine kontextbewusste Abrufleistung möglich machen (Ingwersen und Belkin, 2004). Aktuelle Entwicklungen des kontextorientierten Information Retrieval sind *Adaptive Hypermediasysteme*, die Benutzermodelle verwenden, um den Anwendern benutzerspezifisch Zugang zu verteilten Informationen aus Hypermediasystemen¹⁴¹ zu bieten (Wiebrock, 2011, S. 49). Adaptive Hypermedia ist somit ein Gegenentwurf

¹³⁹ Den Begriff des Ubiquitous Computing prägte erstmals (Weiser et al., 1999). Er entwickelt die Vision, dass Computer als Geräte zunehmend verschwinden und durch kleine intelligente Geräte in einem „Internet der Dinge“ ersetzt werden. Diese Geräte verbinden sich über mobile Ad-hoc-Netze und verwenden Umgebungsinformationen, um den Menschen zu unterstützen, ohne ihn abzulenken oder überhaupt aufzufallen.

¹⁴⁰ Radio Frequency Identification. Vertiefende Informationen zur Anwendung von RFID im Bauwesen finden sich beispielsweise bei (Schach, 2007).

¹⁴¹ Hypermedia-Systeme sind verteilte Informationssysteme. Das World Wide Web ist das bekannteste Beispiel.

zu traditionellen Informationssystemen, in denen jeder Akteur die gleiche Präsentation derselben Inhalte erhält. Prominente Beispiele für solcherart adaptierende Systeme sind die Google-Suche¹⁴² oder MyYahoo¹⁴³ (Brusilovsky und Millán, 2007). Einen weiteren informationsbasierten kontextsensitiven Ansatz beschreibt Fuchs (2006, S. 160). Hier wird ein Empfehlungssystem (sog. Collaborative Filtering) vorgestellt, das aus der Ähnlichkeit oder Zusammenhängen von Akteuren vergleichbare Präferenzen in Bezug zu Informationsobjekten antizipiert und daraufhin benutzergruppenbasierte Informationsempfehlungen zusammenstellt. Weitere Ansätze passen Nutzerschnittstellen (z. B. Adaptive User Interfaces, AUI) oder tutorielle Strategien (Intelligente Tutorielle Systeme, ITS) an Kontextinformationen an (Wiebrock, 2011).

Kontextquellen

Bei den Quellen für Kontextinformationen werden *explizite* und *implizite Kontextquellen* unterschieden. Unter expliziten Kontextquellen versteht man Nutzereingaben (Befragungen, Formulare), Nutzerprofile, Datenbankinhalte. Die impliziten Kontextquellen umschreiben Kontextinformationen, die sich aus beobachtbarem Verhalten schließen lassen (z. B. durch permanente Überwachung von Anwenderinteraktionen). Welche Kontextquellen für eine kontextsensitive Anwendung genutzt werden, hängt in erster Linie vom Einsatzzweck ab. Das adaptive Verhalten *ubiquitärer Systeme* basiert in erster Linie auf der Interpretation von Umgebungs-, Orts- und Bewegungsinformationen. Daher bestehen hier die relevanten Kontextquellen aus Umgebungssensoren, die Low-Level-Kontextdaten erfassen, z. B. Temperatur, Uhrzeit, Helligkeit, Bewegung und insbesondere den aktuellen Aufenthaltsort (Abowd et al., 2002; Bagci et al., 2003). Neben der fehlenden Erfahrung in der Verwendung von Situationsinformationen erwies sich in der Vergangenheit in erster Linie die Beschränkung der vorhandenen Sensoren als eine Hürde (Schulze und Förster, 2011). Die zunehmende Verbreitung mobiler Endgeräte in Verbindung mit der flächendeckenden Verfügbarkeit drahtloser Kommunikation und die fortschreitende Entwicklung leistungsfähiger Sensortechnologien ermöglichen eine immer bessere Kontextberücksichtigung durch Softwareanwendungen (Rothermel, 2008, S. 5). Allerdings besteht eine Herausforderung darin, dass Sensoren die physische Realität aufgrund von Messfehlern ggf. unscharf oder gar fehlerhaft wahrnehmen. Daher müssen bei der Verwendung solcher Kontextinformationen geeignete Qualitätsbewertungen und Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden, um ein unerwünschtes Systemverhalten oder unpassende Personalisierungsentscheidungen zu vermeiden (Sitou, 2009). Im Bereich der *Informationslogistik* werden wesentlich komplexere Kontextinformationen verwendet. Hier handelt es sich bei den Kontextquellen in erster Linie um Informationssysteme und Akteure. Mit dem Fokus auf einem nahezu *unsichtbaren* Kontextsystem ohne störende Unterbrechung der Handlungen der Akteure kann hier nicht auf die direkte Eingabe von Kontextinformationen zurückgegriffen werden. Ebenfalls bieten her-

¹⁴² <http://www.google.de>

¹⁴³ <http://www.yahoo.de>

kömmliche im Projekt verwendete Anwendungen meist keine Schnittstelle, um Kontextinformationen zu liefern. Darum ist es nötig, Kontextinformationen aus dem beobachtbaren Verhalten der Entitäten zu schlussfolgern, die somit als *implizite Kontextquellen* verwendet werden. Kontextsensitive Anwendungen laufen selten isoliert ab, sondern sind meist in bestehenden, häufig prozessorientierten Umgebungen eingebunden. Hier können zentrale (meist datenbankbasierte) Nutzerprofile und Datensammlungen von Kooperations- und Kollaborationsplattformen sowie Content-Management-Systeme als reichhaltige Kontextquellen verwendet werden. Die Metadaten der ausgetauschten Informationsmodelle und die Verkehrsdaten der Informationsprozesse lassen sich ebenfalls zur Kontexterkenkung nutzen. Zusätzlich ist es möglich, verschiedene Low-Level-Kontextquellen (z. B. Orts- und Zeitinformationen) anzubinden.

Kontextmanagement

Während die Kontextinformationen relativ einfacher ubiquitärer Systeme von den Anwendungen und Geräten selbst erhoben und verarbeitet werden können, kann sich ein ganzheitlicher Projektkollaborationskontext aus den Kontextinformationen vieler verteilter Kontextquellen zusammensetzen. Ein so verteiltes Kontextmodell benötigt Kontextmanagementanwendungen, die Low-Level-Kontextinformationen aller verfügbaren Kontextquellen akquirieren und bewerten sowie High-Level-Kontextinformationen ableiten und speichern (vgl. Abschnitt 3.2.1, S. 86). Solche Systeme können auch als zentrale Schnittstelle Kontextanfragen von kontextsensitiven Anwendungen beantworten.

3.2.4 Informationslogistische Kontextaspekte

Bei der Bearbeitung von Informationsprozessen entsteht ein situativer Informationsbedarf, der im Vorfeld durch eine methodische Analyse der Kontexte der beteiligten Entitäten abgeschätzt werden kann. Dabei beeinflussen diese Kontextinformationen sowohl den situativen Informationsbedarf als auch das projektweite Informationsangebot. Eine kontextgerechte Informationsversorgung ermittelt den Informationsbedarf und erfüllt ihn unter Verwendung des Informationsangebotes. Zur Optimierung der Informationsversorgung sollten die verwendeten Informationsräume möglichst genau den kontextbasierten Informationsbedarf abdecken. Daher müssen für eine kontextgerechte Informationsversorgung die informationslogistisch relevanten Kontextinformationen der prozessbeteiligten Entitäten identifiziert werden. In diesem Abschnitt werden zunächst informationslogistisch relevante Kontextaspekte identifiziert und es wird ihr Einfluss auf den Informationsbedarf diskutiert. Unter Einbeziehung der unter Kapitel 2.2.2 beschriebenen informationswissenschaftlichen Betrachtungen des Informationsbedarfs soll anschließend ein generisches Beschreibungsmodell für die kontextorientierte Informationsversorgung bei der kollaborativen Bearbeitung von Informationsprozessen entwickelt werden. Dieses Beschreibungsmodell bildet die Grundlage für die Identifizierung der bedarfsrelevanten Kontextaspekte (vgl. Abschnitt 4.1.2, S. 135) sowie der Ableitung des Informationsbedarfs (vgl. Abschnitt 4.3.4, S. 172) und dient als Orientierungsrahmen für das Konzept der kontextgerechten Informationsversorgung (vgl. Kapitel 3.3, S. 115).

Kontexteinfluss auf den Informationsbedarf und die Informationserzeugung

Die Kollaboration in Bauprojekten erfolgt über die Grenzen von Fachdisziplinen und Organisationen hinweg. Dabei können sich die Bearbeitungssituationen der verschiedenen Akteure stark unterscheiden. Wie in Kapitel 2.2.2 (Kontextabhängigkeit der Informationslogistik) bereits beschrieben wurde, wird sowohl der Informationsbedarf als auch die Informationserzeugung durch den Anwendungskontext beeinflusst. Während der Kontexteinfluss auf den Informationsbedarf von vielen Autoren als wesentlich erachtet wird (z. B. Ingwersen und Belkin, 2004; Morgenroth, 2006; Wilson, 1997, S. 45), findet der Kontexteinfluss auf die Informationsbeschreibung wenig Beachtung. Im Rahmen einer effizienten Informationslogistik ist eine Bereitstellung kontextgerechter Informationen ebenso wichtig wie eine kontexttragende Annotation der erzeugten Informationen. Dabei ist für ein Verständnis des Kontextes eine genaue Betrachtung und Analyse aller für die Informationslogistik relevanten Dimensionen der Bearbeitungssituation¹⁴⁴ notwendig. Für eine derartige Beschreibung müssen die beteiligten Entitäten und ihr Kontext in der nötigen Granularität modelliert werden. Auf der Grundlage eines solchen Kontextmodells kann ein situativer Informationsbedarf antizipiert und die kontextgerechte Verwendung des projektweiten Informationsangebotes unterstützt werden.

Die Entitäten einer Bearbeitungssituation

Die beteiligten Entitäten einer Bearbeitungssituation sind in ihren jeweiligen Kontext eingebettet, der aus einer Vielzahl von Kontextaspekten besteht. Diese Kontextaspekte können untereinander korrelieren und sich teilweise überlappen (d. h. Kontextaspekte können verschiedenen Entitäten zugeordnet sein).

Die primär beteiligten Entitäten eines Informationsprozesses sind Prozess, Ressource und Akteur. Diese drei Entitäten sind verknüpft mit weiteren indirekt beteiligten Entitäten, wie Projekt, Objekt, Umgebung, Workflow und Organisation (vgl. Abbildung 40). All diese Entitäten besitzen grundsätzlich eine projektweit eindeutige Identifikation (z. B. Prozessinstanz-ID, Akteur-ID, Projekt-ID), mit der die jeweiligen Instanzen konkret angesprochen und verknüpft werden können. In Abhängigkeit vom Anwendungsfall sind für die Informationsversorgung unterschiedliche Kontextaspekte relevant. Während bei ubiquitären Anwendungen die detaillierte Modellierung von Ortsinformationen im Vordergrund steht, basieren *Recommender-Systeme*¹⁴⁵ auf einer umfassenden Benutzermodellierung. Zur Identifizierung der informationslogistisch relevanten Kontextaspekte müssen daher die potentiell auftretenden Kontextsituationen der vorgesehenen Anwendungsfälle analysiert werden. Im Folgenden werden die Kontexte der an einer Bearbeitungssituation beteiligten Entitäten beschrieben.

¹⁴⁴ Eine Bearbeitungssituation bezeichnet eine Aktivität im arbeitsorganisatorischen Prozessmodell, in der ein Akteur einen Prozess unter Ressourcenkonsumierung und -erzeugung ausführt.

¹⁴⁵ *Recommender-Systeme* generieren auf der Basis von Mustererkennung und Gruppenbildung Informationsempfehlungen für Benutzer (Burke, 2002).

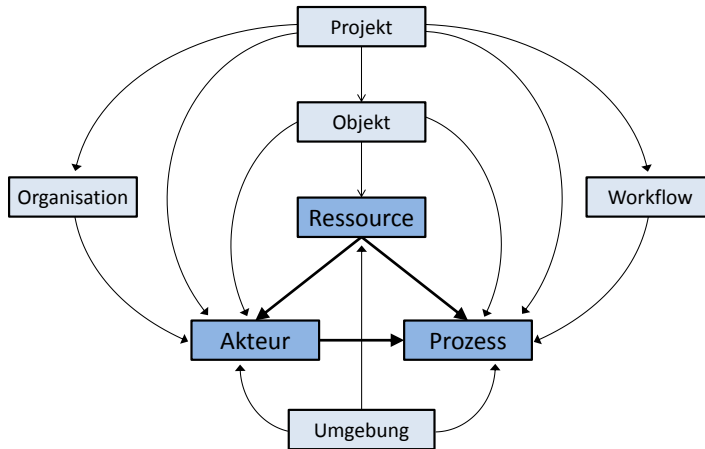


Abbildung 40: Entitäten einer Bearbeitungssituation

Der Prozesskontext

Der *Prozesskontext* beschreibt alle Merkmalsbereiche, die einen Einfluss auf die Prozessausführung haben können. Dabei lässt sich der Inhalt des Prozesskontextes in primäre und sekundäre Kontextaspekte unterteilen. Die primären Aspekte enthalten neben der konkreten Prozessbeschreibung eine Benennung der Prozessziele, der zur Ausführung notwendigen Rollen¹⁴⁶, der erwarteten Eingangsinformationen und der erzeugten Ausgabeinformationen.

Die sekundären Kontextattribute beschreiben die Einbettung des Prozesses in die Projektumgebung. Dazu gehört meist ein übergeordneter Workflow, der Verknüpfungen zu vorhergehenden und nachfolgenden Prozessen definiert. Prozesse sind in der Regel objektbezogen, weshalb eine Objektverknüpfung ebenfalls Bestandteil der sekundären Kontextattribute ist. Desgleichen ist ein Prozess mit einem Projekt verknüpft und wird in einer beschreibbaren Umgebung ausgeführt. Der Prozesskontext besteht aus dynamischen Kontextinformationen, da sich die verknüpften Workflow- und Prozessinstanzen im Zeitverlauf ändern. Abbildung 41 zeigt die primären (innerer Kreis) und sekundären (äußerer Kreis) Kontextaspekte eines Prozesskontextes. Typische Informationsprozesse in Bauprojekten sind Planungs-, Kalkulations- oder Controlling-Prozesse. Prozesse können in unterschiedlichen Formalisierungsgraden beschrieben sein und verschiedene Stufen der Varianz in der Ausführung zulassen (Engelbach und Delp, 2003). Für die formale Beschreibung von Prozessen haben sich ausgehend von Petrinetzen¹⁴⁷

¹⁴⁶ Mitunter kann über die Angabe von Lese- und Schreibberechtigungen der Input- und Output-Informationen implizit bestimmt werden, welche Rolle diesen Prozess ausführen darf. Oft reicht aber eine Rollendefinition auf Ebene der Zugriffsberechtigungen nicht aus (z. B. *Separation of Duty*) und wird daher extra modelliert (Ferraiolo et al., 1995; Hilbert et al., 2012).

¹⁴⁷ Petri-Netze wurden entwickelt von Petri (1962) und fokussieren die Modellierung und Analyse von diskreten, vorwiegend verteilten Systemen mit nebenläufigen und nicht-deterministischen Vorgängen auf Basis der Automatentheorie.

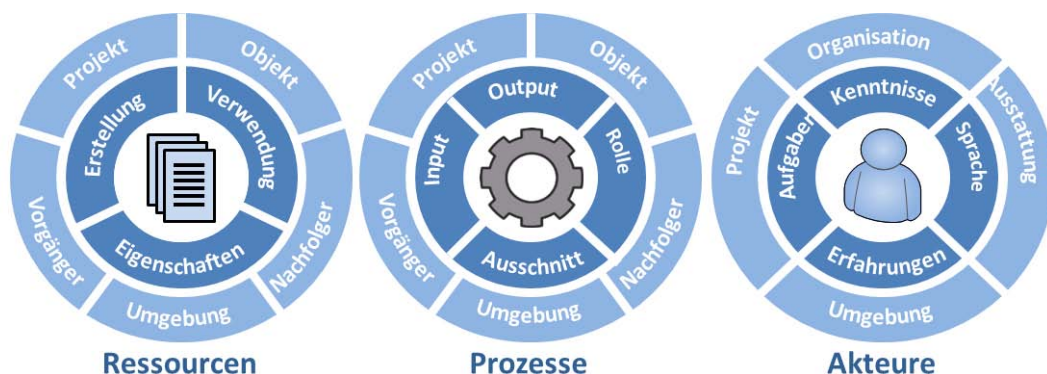


Abbildung 41: Ressourcen- Prozess- und Nutzerkontext

und IDEF0-Notation¹⁴⁸, über Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK)¹⁴⁹ und UML-Aktivitätsdiagramme¹⁵⁰ bis hin zur Business Process Modeling Notation (BPMN)¹⁵¹ im Laufe der Zeit verschiedene Prozessbeschreibungssprachen entwickelt.¹⁵² Da die bestehenden Prozessbeschreibungssprachen meist nicht für den Einsatz in einer dynamischen Umgebung konzipiert wurden, sind sie oft zwar sehr ausdrucksmächtig, stellen aber keine Unterstützung zur Formulierung von dynamischen Kontextabhängigkeiten bereit. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit ein vereinfachtes Prozessmodell verwendet, das besser für den Einsatz in einem kontextsensitiven System geeignet ist.

Der Nutzerkontext

Der *Nutzerkontext* (auch *Akteurkontext*) beschreibt die Nutzersituation eines in einen Informationsprozess involvierten Akteurs und lässt sich ebenfalls in primäre und sekundäre Merkmalsbereiche einteilen. Die Abbildung 41 zeigt die verschiedenen Kontextaspekte eines Nutzerkontextes. Der innere Ring um den Akteur bezeichnet dabei die primären Kontextas-

¹⁴⁸ IDEF (Integrated Definition) bezeichnet eine Gruppe von Modellierungssprachen, die Systeme durch miteinander in Wechselbeziehung stehende Entitäten (Objekte, Daten oder Informationen) und Prozesse beschreiben. IDEF0 beschreibt eine Methode, um Entscheidungen und Aktivitäten im Geschäftsbereich zu modellieren (National Institute of Standards and Technology, 1993).

¹⁴⁹ Die Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) ist eine semiformale grafische Modellierungssprache, die ein Geschäftsprozess durch einen gerichteten Graph aus Knoten (Ereignis-, Funktions- und Konnektor-Knoten) und Datenfluss- bzw. Kontrollfluss-Kanten darstellt (Scheer, 1997).

¹⁵⁰ Die Unified Modeling Language ist eine Modellierungssprache zur Systemspezifikation; <http://www.omg.org/spec/UML/2.3/Infrastructure/PDF/>

¹⁵¹ Die Business Process Model and Notation (BPMN) ist eine semiformale Modellierungssprache für Geschäftsprozesse und wurde 2002 White (2004) entwickelt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in (Decker und Schreiter, 2008).

¹⁵² Einen guten Überblick über die Entwicklung von Prozessbeschreibungssprachen gibt (Schwaiger, 2008).

pekte, während im äußeren Kreis sekundäre Kontextaspekte referenziert werden. Die primären Kontextattribute sind relativ einmalig in ihrer Konstellation, während die sekundären Kontextmerkmale für eine Gruppe von Akteuren gleich gestaltet sein können.

Die *primären Kontextaspekte* umfassen personenbezogene Kontextaspekte des Akteurs, die ihn in seinem Verhalten beeinflussen. Solche *personenbezogenen Kontextaspekte* werden klassischerweise als Benutzerprofil verwaltet (Brusilovsky und Millán, 2007; Koch, 2010) und enthalten Angaben über Präferenzen, Erfahrungen und Kenntnisse sowie Aufgabenkontexte des Akteurs.¹⁵³ Dabei umfassen *Präferenzen* verschiedene Eigenschaften, die den Charakter und die Persönlichkeit eines Akteurs beschreiben. Neben relativ einfach darstellbaren Attributen (z. B. bevorzugte Sprache) gehören auch schwer formalisierbare Aspekte wie Motivation, Flexibilität, Sicherheits- oder Risikoorientierung, Multimediaaffinität oder auch Kommunikationsfreudigkeit und Hilfsbereitschaft zu den Präferenzen. Für die Informationsversorgung relevant sind beispielsweise bevorzugte Fachmodelltypen und ihre Serialisierung sowie der Zeitpunkt der Informationsbereitstellung. Die *Erfahrungen* eines Akteurs umfassen sog. Prozess Erfahrung und die Berufserfahrung. Jede Aufgabenbearbeitung führt zu Lerneffekten, die sowohl Erfahrungen als auch Kompetenzen fördern können. Die Prozess Erfahrung zeugt z. B. von Kenntnissen in der Nutzung von Anwendungen und der Bearbeitung spezieller Fachmodelle im Rahmen von Informationsprozessen. Die Berufserfahrung lässt sich aus der Betriebszugehörigkeit und dem Lebensalter abschätzen. Auch ist hier die Berufsausbildung relevant. Diese beeinflusst beispielsweise die *Qualifikation* für bestimmte Aufgaben, da sich aus der Ausbildungsrichtung (z. B. kaufmännische und technische Ausbildung) *Vorkenntnisse* sowie *Herangehensweisen* bei Informationsrecherchen ableiten lassen. Zur Ermittlung von Erfahrungen können vorangegangene Aktivitäten ausgewertet werden. Erfahrungen lassen sich durch skalare Modelle unter Verwendung von Einzelwerten (z. B. Experte, Anfänger) darstellen oder sich auch nach einzelnen Kompetenzen ausdifferenzieren (Engelbach und Delp, 2003, S. 3 ff.) Die Kenntnisse eines Akteurs bezeichnen seinen Informationsstand. Dieser ist dann wichtig, wenn in aufeinanderfolgenden Prozessen dieselben Informationsmodelle bearbeitet werden. Wenn diese nicht verändert wurden, können lokale Modellinstanzen weiterverwendet werden, ohne dass man sie erneut übertragen muss. Insbesondere bei großen Bauwerksmodellen kann dies den Informationsbedarf erheblich verringern. Zur Beschreibung der Kenntnisse gehört auch die Angabe der Domänenzugehörigkeit, da diese typische Denkmuster der Fachdomänen und spezielle Methodenkompetenzen impliziert. Durch Wissensmodelle lassen sich Wissens Elemente einer bestimmten Anwendungsdomäne darstellen. Anhand von Overlay-Modellen können schließlich Wissensgrade von Akteuren als Untermenge des Wissensmodells dargestellt werden (Wiebrock, 2011, S. 50). So lässt sich modellieren, wie viel ein Akteur zu einem Wissens Element weiß und in welchen Gebieten er mit zusätzlichen Informationen unterstützt werden muss. Zu den personenbezogenen Kontextaspekten gehört auch der (aktuelle) *Aufgabenkontext*, der die

¹⁵³ CIMINO ET AL. (1993) beschreibt beispielsweise den Akteur eines Systems über seine Sprache (Language), sein Fachgebiet (Discipline) und seine Rolle (Role).

Verknüpfung zu aktuell zugeordneten Prozessen (als Workflow-Teilnehmer) beschreibt. Im Gegensatz zum Aufgabenkontext werden im *historischen Aufgabenkontext* (Prozesshistorie) zurückliegende Tätigkeitsgebiete eines Akteurs und die Inhalte abgearbeiteter Prozessschritte allgemein beschrieben. Die Aussagekraft des historischen Aufgabenkontextes hängt dabei sehr von der Art der aufgezeichneten Aufgaben ab. Bei Aufgaben von eher unstrukturierter Natur (z. B. Verfassen von Angeboten) ist die Beschreibung der Inhalte wesentlich. Bei strukturierten Aufgaben (z. B. prozessbasierte Tätigkeiten) ist die Angabe der Prozessbeschreibung relevant. Die zurückliegenden Tätigkeiten eines Akteurs, die in dem historischen Aufgabenkontext abgebildet werden, können dazu genutzt werden, Erfahrungen des Akteurs für aktuelle Aufgabenstellungen abzuleiten (Morgenroth, 2006, S. 128).

Die *sekundären Kontextmerkmale* beschreiben die Einbindung eines Akteurs in seine Umgebung. Durch rollenbezogene Kontextaspekte wird dabei sowohl die aufbauorganisatorische Einbindung in eine Organisation (z. B. Berufsbezeichnung und Tätigkeit definiert durch Stellenbeschreibung, lokale Rollenmodelle, Kostenstellen oder Organigramm) als auch die ablauforganisatorische Teilnahme an projektweiten Informationsprozessen (z. B. Modellerzeuger, -bearbeiter oder -prüfer) beschrieben. Hier gibt es verschiedene Strategien, um aktive Rollen zu ermitteln. Zum einen kann über die aktuelle Tätigkeit des Akteurs auf dessen aktuelle Rolle geschlossen werden, zum anderen kann auch der Bearbeitungskontext eine Rolle zuweisen. Weitere Teilaspekte bilden abteilungs-, unternehmens- oder projektweit geltende Kompetenzen und Verantwortungen. Während Kompetenzen Befugnisse, Rechte und Finanzspielräume markieren (so z. B. Freigaberegungen und Lese- oder Schreibrechte für Informationen; Engelbach und Delp, 2003), können Verantwortungen durch Prüf- und Unterschriftenregelungen festgelegt werden. Die *Ausstattung* beschreibt die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Soft- und Hardware sowie der Netzwerkverfügbarkeit (Geräte, aktuelle Kommunikationsressourcen, Speicher- und Rechenkapazität, Darstellungsmöglichkeiten).

Informationsprozesse sind eingebettet in einen Umgebungskontext. Merkmalsbereiche des Umgebungskontextes betreffen physische Kontextinformationen, wie zeitliche Angaben und den Aufenthaltsort des Akteurs. Bei der Angabe des Aufenthaltsortes eines Akteurs zeigt sich die Mehrdimensionalität von Kontextaspekten. Eine Ortsangabe kann sowohl geographisch (z. B. über Längengrad und Breitengrad), hierarchisch (z. B. Zimmer, Gebäude), symbolisch (z. B. Postadresse, IP-Adresse), topologisch (z. B. über URI) oder organisatorisch (z. B. Stelle) ausgeprägt sein. Für die Ermittlung der benötigten Ortsdaten existiert eine Reihe von unterschiedlichen Technologien.¹⁵⁴ Die Veränderungsgeschwindigkeit der Kontextaspekte ist unterschiedlich und hängt im Wesentlichen vom Anwendungsszenario ab. Während die physischen Kontextinformationen szenarioabhängig sind (z. B. mobil, portabel oder stationär), ist die Änderungsrate der Kenntnisse, Erfahrungen und Präferenzen szenarioinvariant gering (z. B. Wochen- oder Monats-Rhythmus; Morgenroth, 2006, S. 127).

¹⁵⁴ Einen guten Überblick gibt hierzu (Baldauf et al., 2007).

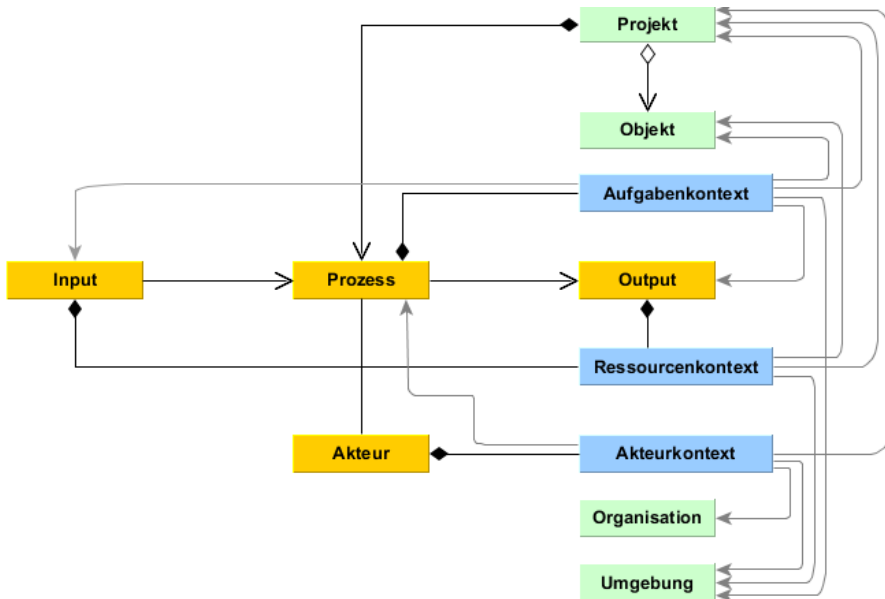


Abbildung 42: Entitäten eines Informationsprozesses und ihre Kontexte

Ressourcenkontext

Der Ressourcenkontext beschreibt die Situation einer Informationsressource (z. B. Informationsmodell oder Informationsraum¹⁵⁵). *Primäre Kontextaspekte* sind hier die Erstellungs- und Verwendungskontexte sowie die Ressourceneigenschaften. Während der Erstellungskontext die Situation der Ressourcenerstellung beschreibt (insbesondere den Prozess und den Akteur), benennt der Verwendungskontext die Intention der Verwendung der Ressource. Die Ressourceneigenschaften charakterisieren die Informationsressource (z. B. durch die in Abschnitt 3.1.3 angegebene Beschreibungsmatrix für Informationsräume).

Sekundäre Kontextaspekte bilden hier die Objekt- und Projektverknüpfungen, die darstellen, welchem Projekt die Informationsressource zugeordnet ist und welches Objekt durch die Informationsressource beschrieben wird. Zusätzlich sind Verknüpfungen zu Vorgänger- und Nachfolgeversionen (falls vorhanden) sinnvoll. Abschließend ist noch die physische Umgebung der Informationsressource wichtig (z. B. eine URL, unter der diese Informationsressource verfügbar ist). Die Abbildung 41 illustriert die Zusammenhänge der Entitäten eines Informationsprozesses und ihrer Kontexte anhand eines vereinfachten Klassendiagramms. Hier werden Prozesse, Subprozesse und Prozessschritte vereinfacht als Prozessentität dargestellt. Die Klassen der zentralen Entitäten sind gelb markiert, weitere kontextbildende Entitäten grün. Die Klassen der entitätszentrierten Kontexte sind in blauen Boxen dargestellt.

¹⁵⁵ Wird der Kontext eines Informationsraumes betrachtet, so lassen sich einzelne Fachmodell-Kontexte differenzieren.

3.2.5 Bauspezifische Kontextausprägungen

Wie der vorige Abschnitt zeigte, haben verschiedene Kontextaspekte Einfluss auf die Informationslogistik. Für eine kontextgerechte Unterstützung typischer Bauinformationsprozesse müssen daher deren spezifische Kontextinformationen betrachtet werden. Wie in Abschnitt 3.1.5 beschrieben wurde, lassen sich die Bauinformationsprozesse über Referenzprozesse definieren, die sowohl den Prozess an sich als auch die konsumierten und erzeugten Informationsräume auf einer abstrakten Ebene beschreiben. Konkret stellen Referenzprozesse kontextfreie Prozessmuster dar. Der Kontext von Referenzprozessen entzieht sich zunächst einer klaren Bewertung, da er erst in der Zukunft konkretisiert wird. Erst durch die Instanziierung wird ein Referenzprozess in einen spezifischen Kontext eingebunden und es lassen sich Kontextinformationen ermitteln. Bauspezifische Kontextinformationen unterscheiden sich von den generischen Kontextinformationen dadurch, dass sie bereits in konkreten Strukturen vorliegen und in einem domänenspezifischen Vokabular ausgedrückt werden. Somit sind die Strukturen der Kontextaspekte, die eine typischen Bearbeitungssituationen kollaborativer Informationsprozesse in Bauprojekten beschreiben und verwendet werden können, um kontextgerechte Informationsversorgung zu realisieren, im Vorhinein bekannt. Die Menge der Kontextattribute und deren Wertebereiche sind vorgegeben und können konkret für die Gestaltung der Informationslogistik verwendet werden. Die Wertebereiche werden durch das verwendete Annotationsvokabular abgebildet. Die präzise sprachliche Kommunikation in konkreten Situationen wird durch eine vereinbarte Terminologie erleichtert, wodurch sich eine große Zahl der Schwierigkeiten mit unbestimmten vagen Ausdrücken umgehen lässt. Diese bauspezifischen Kontextstrukturen betreffen insbesondere die Projektorganisation, die Informationsressourcen und die Informationsprozesse.

Die bauspezifische Projektorganisation

Diese Strukturen der Projektorganisation betreffen zum einen die Aufteilung des Bauprojektes in typische Projektphasen. Wie bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben wurde, existieren dafür verschiedene Modelle. Für eine widerspruchsfreie Verwendung muss daher das verwendete Projektphasenmodell zu Anfang des Projektes zwischen allen Teilnehmern vereinbart werden.¹⁵⁶ Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Projektorganisation ist die Organisationsstruktur. Hier werden die beteiligten Projektpartner konkret beschrieben.

Eine solche Organisationsstruktur aus verschiedenen Organisationen, die im Rahmen eines Projektes gemeinsam an einem Produkt arbeiten, nennt sich virtuelle Organisation (VO)¹⁵⁷. Neben den Instanzen der Organisationen und Personen werden in der VO auch die verwendeten Organisations- und Nutzerrollen mit ihren Berechtigungen festgelegt.

¹⁵⁶ In Anhang A3 wird beispielhaft ein Vokabular zum Beschreiben von Projektphasen dargestellt.

¹⁵⁷ Im Rahmen der so genannten virtuellen Organisationen (VO) bündeln verschiedene unabhängige Marktteilnehmer ihre Ressourcen und Kompetenzen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Insbesondere KMU profitieren von der Teilnahme an solchen Konstellationen, da sie sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren können (Camarinha-Matos et al., 2008; Franke, 2002).

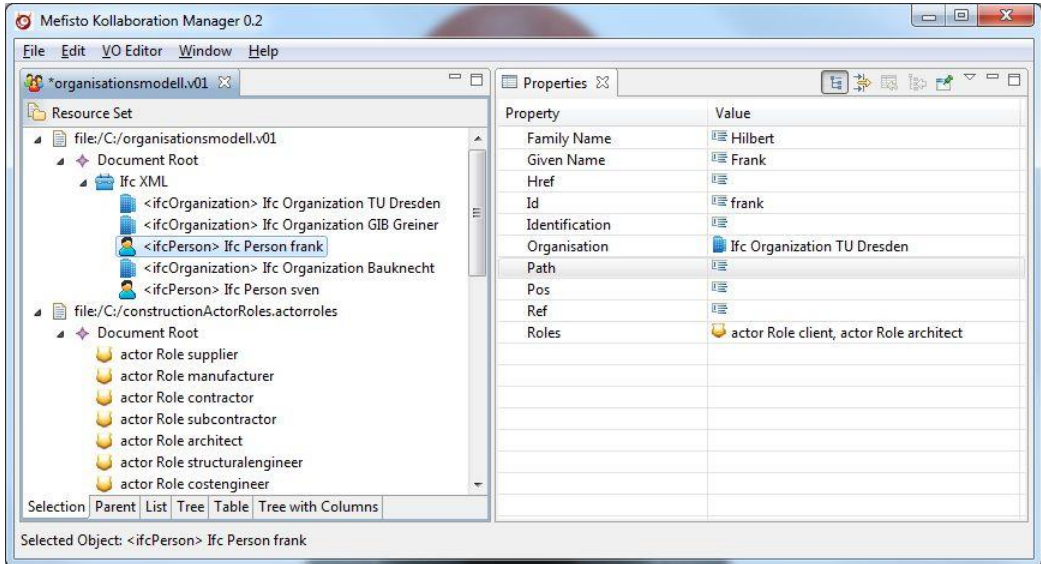


Abbildung 43: Beispielstruktur einer virtuellen Organisation

Abbildung 43 zeigt einen Ausschnitt aus solch einer VO-Struktur. Die Organisationsstruktur hat Einfluss auf alle mit ihr verknüpften entitätszentrierten Kontexte.

Informationsressourcen

Die Rollendefinitionen der VO-Struktur basieren auf den Schreib- und Leseberechtigungen verschiedener Informationsressourcen. Dafür müssen die unterschiedlichen Typen der Informationsressourcen beschrieben werden. Dafür lassen sich die in Abschnitt 2.1.2 vorgestellten Fachmodelldomänen verwenden (vgl. Anhang A3, S. 241ff.). Zusätzlich ist es im Bauwesen relevant, welche Fachmodelle die verschiedenen eingesetzten heterogenen Fachanwendungen verarbeiten können. Die verschiedenen Fachmodelltypen, die projektweit verwendet werden, sind überwiegend bekannt und damit auch ihr Eigenschaftsprofil. Damit lassen sich die zu verwendenden Annotationsvokabulare spezifizieren, und eine projektweit einheitliche semantische Beschreibung komplexer Informationsräume, durch die Beschreibung der Fachmodelle und ihrer Verknüpfung, wie sie in Abschnitt 3.1.3 erarbeitet wurde, ist realisierbar.

Die Informationsprozesse

Werden die Referenzprozesse instanziiert, so entstehen konkrete Informationsprozesse, die mit Entitätsinstanzen verknüpft sind (z. B. Akteur, Projekt, Produkt). Somit kann der Prozesskontext nun explizit analysiert werden und es lässt sich eine optimale Informationsversorgung realisieren. Abbildung 44 illustriert diesen Zusammenhang. Der obere Teil der Abbildung zeigt dabei einen Referenzprozess mit Multimodellvorlagen und Rollenvorgabe. Der mittlere Teil illustriert einen instanziierten Prozess mit konkreter Informationsressource und ausführendem Akteur und der untere Teil stellt den abgeschlossenen Prozess mit der konkreten Ergebnisinformationsressource dar.

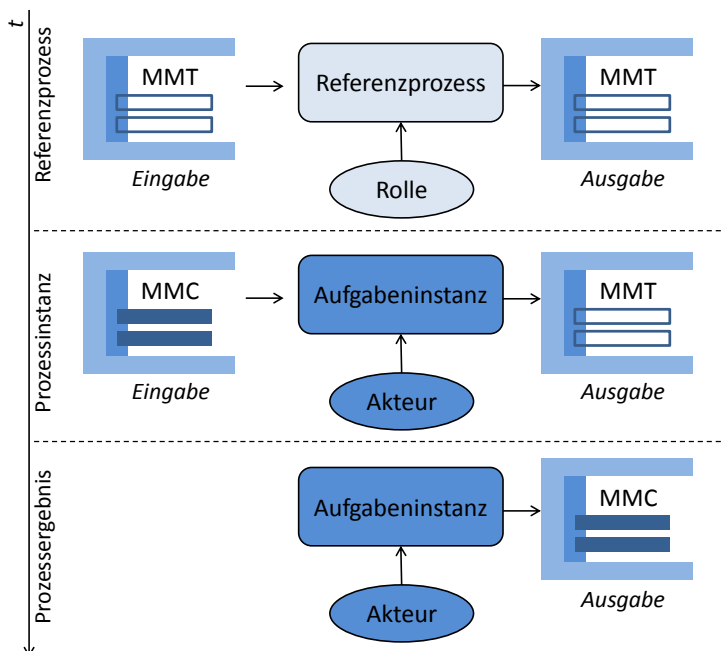


Abbildung 44: Instanziierung und Ausführung eines Referenzprozesses

3.2.6 Zusammenfassung

Bauinformationsprozesse müssen immer mehr und komplexere Informationen verarbeiten, wobei nur eine Teilmenge aller Informationsobjekte für eine jeweilige Problemstellung relevant ist. Eine Präsentation aller Inhalte, die gleichzeitig unterschiedlichen Akteuren und Kontexten gerecht wird, wird immer schwerer. Bauinformationsprozesse sind eingebettet in einen Bearbeitungskontext. Die Einbeziehung dieser Kontextinformationen in Adaptionentscheidungen der Informationslogistik bietet erhebliche Vorteile¹⁵⁸. Um diesen Kontext zu beschreiben und für Adaptionentscheidungen auswerten zu können, wurde in diesem Abschnitt das Themengebiet der Kontextmodellierung und -integration eingeführt. Neben der Einführung notwendiger Begriffe wurde ein Überblick über die Entwicklung der Kontextmodellierung gegeben, und es wurden verschiedene Modellierungsansätze anhand der Anforderungen an eine kontextgerechte Informationslogistik aus Abschnitt 3.2.2 diskutiert. Für die weitere Arbeit wurden ontologiebasierte Kontextmodelle als Basis gewählt. Anschließend wurden verschiedene Möglichkeiten der Kontextintegration beschrieben. Abschließend wurden verschiedene Kontextaspekte identifiziert, die Einfluss auf die Informationslogistik haben. Bei der Bearbeitung von Informationsprozessen entstehen im Allgemeinen ein

¹⁵⁸ Vgl. hierzu auch Dey und Abowd (1999, S. 304): „By improving the computer’s access to context, we increase the richness of communication in human-computer interaction and make it possible to produce more useful computational services.“

aktueller Informationsbedarf und ein zukünftiges Informationsangebot. Während ein erwarteter Informationsbedarf durch die Betrachtung des aktuellen Bearbeitungskontextes antizipiert werden kann, wird es durch Informationen des Erstellungskontextes wiederum möglich, die Interpretation des Informationsbestands zu unterstützen. Ein ausreichend beschriebener Informationsbestand begünstigt die Erfüllung des Informationsbedarfs. Somit ist die Kontextbetrachtung und insbesondere die Identifizierung der Abhängigkeiten eine wesentliche Voraussetzung für eine kontextgerechte Informationslogistik. Da in dieser Arbeit multimodellbasierte Informationsräume als zentrale Geschäftsobjekte der Informationslogistik betrachtet werden, ist es günstig, den Informationsbedarf als Multimodellvorlage zu formulieren. Die Formalisierung eines Informationsbedarfes beschreibt somit einen Informationsraum, der einen Bauinformationsprozess gezielt unterstützt. Zur Beschreibung dieser bautypischen Informationsräume wurden abschließend bautypische Modellvorlagen gezeigt, die eine Verwendung von Multimodellen projektweit unterstützen. Wie in Abschnitt 3.1.5 beschrieben wurde, kann der Bearbeitungskontext auch für die Unterstützung anwenderinitiiert Informationssuchen genutzt werden. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Kontextnutzung für die proaktive Bereitstellung von situationsgerechten Informationen zur Unterstützung kollaborativer Informationsprozesse. Somit werden nur die informationslogistischen Kontextinformationen betrachtet und modelliert, die Einfluss auf die Bearbeitung von Fachmodellen innerhalb multimodellbasierter Kollaborationsprozesse haben. Ein Kontextmodell ermöglicht komplexe Kontextanfragen auf abstrakter Ebene sowie eine anwendungs- und schichtübergreifende kontextbezogene Adaptionsteuerung der Informationsversorgung. Durch die Berücksichtigung von Kontextinformationen lassen sich somit Kommunikationsvorgänge, insbesondere die Übermittlung von Modelldaten, in der heterogenen Umgebung des Bauwesens effizient gestalten.

3.3 Kontextgerechte Multimodelle

Überblick

Kontextgerechte Informationsräume sollen sowohl die effektive als auch die effiziente Informationsversorgung sicherstellen. Für die Sicherstellung einer effektiven (wirksamen) Informationsversorgung ist es notwendig, dass ein bereitgestellter Informationsraum alle benötigten Fachmodelle und deren Verknüpfung enthält. Damit die Informationsversorgung darüber hinaus auch effizient (wirtschaftlich) wird, sollte der Informationsraum passgenau die Informationen anbieten, die dem jeweiligen Informationsbedarf entsprechen. Um solcherart Informationsräume zu erzeugen, müssen vorhandene Fachmodelle und Verknüpfungsstrukturen an die Bearbeitungssituation angepasst werden. Als Grundlage für diese Anpassung soll in diesem Abschnitt die Idee der multimodellbasierten kontextgerechten Informationsräume vertieft werden. Dafür wird zuerst als konzeptioneller Rahmen das Grundkonzept adaptiver Informationsräume auf der Basis des Multimodellansatzes und der Kontextmodellierung erläutert. Um die Erstellung kontextgerecht adaptierter Multimodelle zu ermöglichen, werden danach verschiedene Methoden der Multimodelladaption vorgestellt und diskutiert. Anschließend werden sowohl die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs als auch der Kontexteinfluss auf die Informationssemantik erörtert.

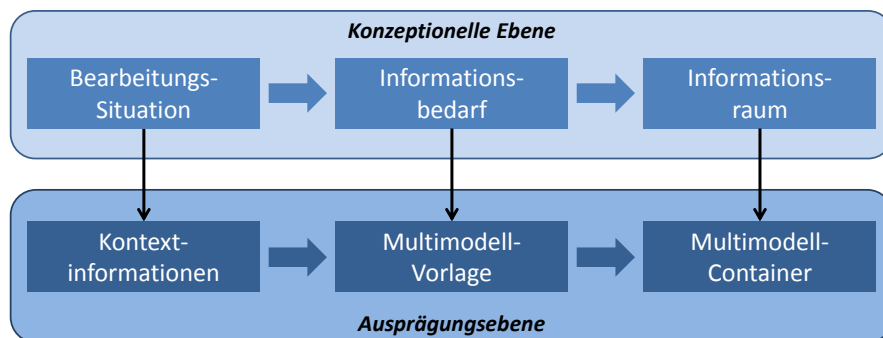


Abbildung 45: Grundkonzept kontextgerechter Informationsräume

3.3.1 Grundkonzept adaptiver Multimodelle

Wie in den vorangegangenen Abschnitten erörtert wurde, entsteht aus einer Bearbeitungssituation heraus ein spezifischer Informationsbedarf, dessen Erfüllung die Bereitstellung eines entsprechend angepassten Informationsraumes erfordert. Das finale Ziel einer kontextgerechten Informationsversorgung besteht also darin, aus dem umfassenden Pool an Fachinformationen des Projektinformationsraumes genau jene Informationen als Informationsraum bereitzustellen, die der Akteur für seine Aufgabenbearbeitung benötigt, und diese zusätzlich auch kontextspezifisch aufzubereiten (Mayer, 2007). Die Bearbeitungssituation kann durch ein Kontextmodell abgebildet und der Informationsraum durch ein Multimodell formalisiert werden, das durch ein Multimodelltemplate spezifiziert wird.

Der jeweilige Informationsbedarf kann aus den Kontextinformationen antizipiert werden und, als Multimodelltemplate formalisiert, zur Erzeugung eines kontextgerechten multimodellbasierten Informationsraumes verwendet werden. Abbildung 45 illustriert diesen Zusammenhang. In der konzeptionellen Ebene werden abstrakte Typen und Konzepte beschrieben, die in der Ausprägungsebene durch konkrete Objekte mit konkreten Eigenschaften repräsentiert werden. Die Grundidee des vorgeschlagenen Ansatzes zur kontextgerechten Informationsversorgung durch situativ angepasste Informationsräume besteht in der Verknüpfung von Kontextinformationen und Elementen der Multimodellvorlage. Hierbei existiert eine Diskrepanz zwischen dem Modellierungszeitpunkt und dem Zeitpunkt der Anwendung. Um im Voraus die Kontextinformationen einer späteren konkreten Situation zur Ableitung eines Informationsbedarfs und weiter zur Erzeugung von kontextgerechten Informationsräumen zu verwenden, müssen zum Modellierungszeitpunkt deren informationslogistische Auswirkungen als abstrakte explizite Relationen zwischen den Kontextkonzepten und Informationsraumkonzepten modelliert werden.

Diese sog. *Kontextwirkrelationen* lassen sich als Regeln formalisieren und zentral informationsraumextern oder dezentral informationsraumintern vorhalten. Der wesentliche Vorteil einer Speicherung im betreffenden Informationsraum besteht darin, dass ein in sich geschlossener *adaptiver Informationsraum* entsteht, der seine Kontextabhängigkeiten „kennt“.

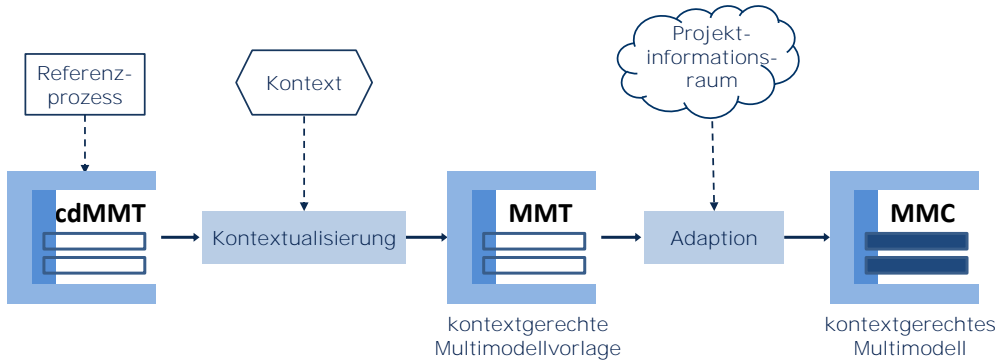


Abbildung 46: Erstellung kontextgerechter Multimodelle

Im Anwendungsfall werden diese Kontextwirkrelationen durch ein Regelsystem anhand aktueller Kontextinformationen ausgewertet und in Adaptionseinstellungen überführt (vgl. Abschnitt 5.2.5, S. 204). In einem nachfolgenden Schritt der Informationsraumpersonalisierung bilden diese die Basis für die Erzeugung kontextgerechter Multimodelle (vgl. Abbildung 46). Der Umfang der Anpassung kann sehr stark variieren und reicht von relativ einfachen Formatanpassungen eines Fachmodells an die entsprechende Software des Akteurs bis hin zu einer fachmodellübergreifenden Ausschnittsbildung. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten der Informationsraumadaptivität erörtert, die kontextgesteuert zu einem passgenauen Informationsraum führen können.

3.3.2 Methodik der Informationsraumadaptivität

Zur Beschreibung der Fähigkeit eines Systems, sich selbstständig an veränderte Bedingungen anzupassen, hat sich in der Informatik der Begriff Adaptivität¹⁵⁹ durchgesetzt (Leutner, 2002; Schimpf und Ullfors, 1994). Insbesondere beschreibt dieser Begriff die Fähigkeit, durch den aktiven Prozess der Adaption Informationsinhalte oder Funktionsausgestaltungen anzupassen.¹⁶⁰ Beispiele für technische adaptive Systeme¹⁶¹ sind sensorgesteuerte Ampel-, Licht- oder Heizungsregelungen. Für Anwendungssysteme der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) beschreibt Adaptivität die Fähigkeit der selbstständigen Anpassung von Funktionen und Informationen. Dabei wird zwischen statischer und dynamischer Adaption unterschieden. Bei einer *statischen Adaption* wird mit einem Set an vorgefertigten Vorlagen für die zu adaptierenden Elemente gearbeitet. So können beispielsweise im ubiquitären Umfeld für unterschiedliche Endgeräte jeweils passende (Software-) Versionen vorliegen, aus denen dann bei der Adaptierung das zutreffende gewählt wird. Der Ansatz der

¹⁵⁹ Lat. adaptare – anpassen.

¹⁶⁰ Demzufolge ist zu unterscheiden zwischen adaptiven Systemen und adaptierten (System-)Elementen. Einen Überblick über adaptive Methoden und Techniken gibt BRUSILOVSKY (2007).

¹⁶¹ In Unterscheidung zu adaptierbaren Systemen, die durch externe Eingriffe an veränderte Bedingungen angepasst werden können (Leutner, 2002).

dynamischen Adaptionierung hingegen beschreibt die Erzeugung angepasster Informationen zur Laufzeit. So können beispielsweise, abgestimmt auf die aktuelle Situation eines Akteurs, Informationsinhalte angepasst, gefiltert oder verknüpft werden (Mayer, 2007, S. 19). Die Granularität der Adaption reicht dabei von kanonischer Adaption für alle Anwender über stereotypische Adaption für Anwendergruppen bis hin zur individuellen Adaption für spezifische Akteure (Barrios et al., 2005; Leutner, 2002). Bezüglich des Adaptionsschwerpunktes lassen sich drei Bereiche abgrenzen (Jiang, 2006).

- *Funktionale Adaptivität*: Anwendungen können ihr Verhalten sowohl durch Änderung ihres Funktionsumfangs als auch der Ausgestaltung der Methoden anpassen, um einerseits die Gebrauchstauglichkeit der angebotenen Funktionen zu erhöhen sowie andererseits Zugriffsrichtlinien durchzusetzen. Funktionale Änderungen können sich in der Schnittstellengestaltung (sowohl GUI als auch API) niederschlagen, aber auch unbemerkt geschehen (z. B. Load-Balancing).
- *Inhaltliche Adaptivität*: Qualität und Quantität von Informationen werden situativ angepasst. Eine inhaltliche Adaptivität kann dabei auch das Ergebnis einer funktionalen Adaptivität darstellen.
- *Automatische Ausführung*: Anwendungen führen automatisch Anweisungen oder Aktionen entsprechend der aktuellen Situation aus. Dieser Adaptionbereich wird softwaretechnisch durch das sog. *Beobachter-Verhaltensmuster* (observer pattern) abgebildet, das die Änderungsweitergabe an ein Objekt beschreibt.

Für eine effektive Informationsversorgung durch Informationsräume ist die automatische Anpassung von Inhalten und somit der Bereich der inhaltlichen Adaptivität relevant. So ist insbesondere der kontextspezifische Informationsraum (vgl. Definition 3.3) ein adaptierter Informationsraum, dessen Ausgestaltung für eine spezifische Situation angepasst wurde. Um Informationsräume mit dem benötigten Umfang in der notwendigen Qualität zu erzeugen, müssen vier unterschiedliche Adaptionstufen berücksichtigt werden, die verschiedene Adaptionismethoden erfordern (vgl. Abbildung 47). In jeder Adaptionsschicht greifen Operationen auf die Daten der darunterliegenden Schicht zu. Die einzelnen Adaptionstufen werden im Folgenden beschrieben.

Adaptionstufe 1 – Modellauswahl

In der Adaptionstufe der Modellauswahl werden sowohl Fach- als auch Linkmodelle ausgewählt. Dabei müssen die Fachmodelle mindestens den gewünschten Umfang und die benötigte Qualität der gesuchten Informationen besitzen. Die Verknüpfungstiefe der Linkmodelle muss den Erfordernissen entsprechen. Für die Auswahl können Modellinformationen und Interdependenzen verwendet werden, die in den höheren Adaptionstufen entfernt werden (z. B. lassen sich die Kostenpositionen der Malerarbeiten für eine Gebäudeetage darstellen, ohne dass später das geometrische Modell des Gebäudes und die entsprechenden Linkelemente übertragen werden müssen). Die Auswahl der Fachmodelle erzeugt eine Informationsbasis, auf der die nachfolgenden Adaptionstufen aufsetzen.

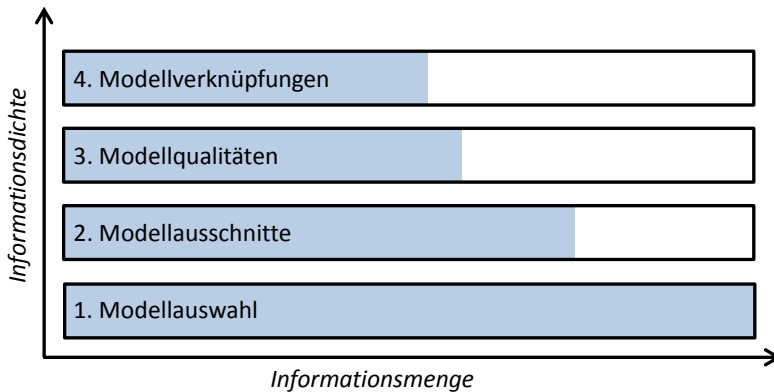


Abbildung 47: Stufen der Informationsraumadaptivität

Adaptionsstufe 2 – Modellausschnitte

Für viele Aufgabenstellungen sind nur situationsspezifische Ausschnitte aus den Gesamtmodellen nötig (vgl. Abschnitt 1.2, S. 2). Der betrachtete Modellbereich kann durch eine Beschreibung des Fachmodellausschnittes definiert werden und abhängig vom Fachmodelltyp sowohl geometrisch (z. B. Bauwerksmodelle, Baustellenmodelle) als auch elementtypspezifisch (z. B. Vorgangsmodelle, Kostenmodelle) definiert werden (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16). Grundlage dafür sind die Kenntnisse der *Gliederungskonzepte* der verschiedenen Fachmodelltypen (z. B. Kostenposition im Kostenmodell, Etagen im Bauwerksmodell). Durch instanzbasierte Filtermethoden können relevante Modellausschnitte lokalisiert und entnommen werden. Dabei sind Ausschnitte auch anhand von Modellinformationen spezifizierbar, die im resultierenden Informationsraum nicht mehr vorhanden sind.

Adaptionsstufe 3 – Modellqualitäten

Die Qualitäten der ausgewählten Modelle entsprechen nicht immer den gesuchten Modellqualitäten. Für Qualitätsänderungen sind Informationen über die Eigenschaften der verschiedenen Fachmodelltypen nötig. Beispielsweise haben verschiedenen Fachmodelltypen unterschiedliche Granularitätsstufen (vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78). Grundlage für Qualitätsanpassungen ist ein semantisches Beschreibungsmodell, das die Modellqualitäten sowohl des Informationsangebotes als auch des Informationsbedarfes abbildet. Die Änderung von Modellqualitäten basiert auf modellspezifischen Filtermethoden.¹⁶²

Adaptionsstufe 4 – Modellverknüpfungen

Die Elemente der Fachmodelle können nach verschiedenen Intentionen auf unterschiedlicher Weise untereinander verknüpft werden (vgl. Fachmodellinterdependenzen, Abschnitt 2.1.2, S. 16). Der *Verknüpfungsgrad* beschreibt dabei, welche Modellelementtypen miteinan-

¹⁶² Windisch et al. (2012) beschreibt ein generisches Filterframework für BIM-Fachmodelle, das an dieser Stelle ansetzt.

der verknüpft sind (z. B. LV-Positionen mit Gebäudeetagen). Zur Beschreibung von Verknüpfungsgraden sind Informationen über die wesentlichen Gliederungskonzepte der verschiedenen Fachmodelltypen nötig (z. B. LV-Positionen, Gebäudeetagen, Terminwochen). Die Änderung des Verknüpfungsgrades der Fachmodelle untereinander ist relativ schwierig. Während die Reduzierung einer vorhandenen engen Verknüpfung noch relativ trivial durch das Entfernen der betroffenen Elemente im Linkmodell praktiziert werden kann¹⁶³, ist eine automatische Neuerzeugung von Modellverknüpfungen sehr aufwendig (Fuchs, 2014).

Transitive Modellausschnitte und Modellqualitäten

Durch die Modellverknüpfung lassen sich auch transitive modellübergreifende Adaptionen realisieren indem Verknüpfungsinformationen genutzt werden, um Fachmodelle nach modellfremden Gliederungskonzepten zu filtern.¹⁶⁴ So können Ausschnitte und Qualitäten eines Fachmodells über die Gliederungskonzepte eines weiteren verknüpften Fachmodells (mit anderem Fachmodelltyp) spezifiziert werden (z. B. LV-Positionen nach Kalenderwochen des Vorgangmodells, Bauwerkselemente nach Kostengruppen).¹⁶⁵

Informationsraumadaptivität

Die verwendeten Adaptionismethoden für die Erzeugung adaptierter Informationsräume sind unterschiedlich aufwendig. Dabei ist die Auswahl der relevanten Fachmodelle durch das Zusammenführen semantisch ausreichend beschriebener Fachmodelle noch relativ einfach. Die Adaptionismethoden zur Erzeugung von Modellausschnitten und Anpassung der Qualitäten und Verknüpfungen basieren im Wesentlichen auf Filterfunktionen, die vorhandene Informationen entfernen. Diese Filterfunktionen sind für die verschiedenen Fachmodelltypen auf verschiedene Voraussetzungen angewiesen, die bei der Reihenfolge der Adaption berücksichtigt werden müssen (vgl. Tabelle 18).

Die Methoden der Informationsraumadaptivität benötigen eine einheitliche Beschreibung sowohl der Qualitäten und Inhalte als auch der Verknüpfungsgrade der verwendeten Modelle, wie sie in Abschnitt 3.1.3 vorgestellt wurden. Verschiedene Adaptionismethoden lassen sich automatisieren und als Workflows abbilden. Solche Adaptionisworkflows für multimodellbasierte Informationsräume sind über die in Abschnitt 3.1.4 eingeführten Multimodellvorlagen spezifizierbar. Die Verwendung dieser Workflows zur Generierung kontextspezifischer Ausschnitte und Sichten wird in Abschnitt 4.3.5 beschrieben. Im Folgenden wird die Relevanz der verschiedenen Kontextaspekte für den aktuellen Informationsbedarf und zukünftige Informationsangebote betrachtet.

¹⁶³ Für die Wahrung der referentiellen Integrität müssen beispielsweise vorhandene Verknüpfungen automatisch reduziert werden, wenn verknüpfte Modellelemente durch Filtermechanismen entfernt wurden. Die Lokalisierung entsprechender Linkelemente durch eine Abfragesprache beschreibt FUCHS (2014).

¹⁶⁴ Diese Vorgehensweise ist an die Verwendung von Fremdschlüssel-Beziehungen in relationalen Datenbanken angelehnt.

¹⁶⁵ Vgl. hierzu Abschnitt 5.2, Informationslogistik einer kontextbewussten Kollaborationsplattform, S.231.

Tabelle 18: Adaptionmethoden für Informationsräume

Adaptionstyp	Methoden	Voraussetzungen
Auswahl	Zusammenführen vorhandener Fachmodelle	Semantisches Beschreibungsmodell für Inhalte und Qualitäten der Fachmodelle
Ausschnitte	Filtermethoden auf Instanzebene	Beschreibungsmodell sowie Informationen über die Gliederungskonzepte der verschiedenen Fachmodelltypen
Qualitäten	Filtermethoden auf Typebene (z. B. LoD)	
Verknüpfungsgrad	Manuelle oder automatische Verknüpfung auf Instanzebene	

3.3.3 Die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs

Wie bereits in Abschnitt 2.2.2 beschrieben wurde, wird der Informationsbedarf bei der Bearbeitung von Informationsprozessen sehr stark durch die beschriebenen Kontextaspekte der Bearbeitungssituation determiniert. Aufgrund dieser Kontextabhängigkeit variiert der Informationsbedarf stark. Insbesondere erzeugt die Bearbeitung ähnlicher Aufgaben in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Informationsbedarfe (Härtwig, 2009, S. 3). Die einzelnen Kontextaspekte nehmen dabei verschiedenartig Einfluss auf die Ausgestaltung des Informationsbedarfs. Für die Ermittlung und Verfeinerung eines Informationsbedarfs müssen daher in einem ersten Schritt die bedarfsbildenden Kontextaspekte ermittelt werden. In einem zweiten Schritt wird der Einfluss dieser Kontextaspekte quantifiziert. Mit Kenntnis dieser Einflussfaktoren des Bearbeitungskontextes kann ein zugehöriger Informationsbedarf vor, während und nach der Prozessdurchführung ermittelt werden (Härtwig, 2009, S. 39).

Ein Informationsbedarf repräsentiert das Bedürfnis des Akteurs, einen vorhandenen Wissensstand durch zusätzliche Information (1) zu erweitern und zu modifizieren, (2) zu erklären oder (3) zu verifizieren (Morgenroth, 2006, S. 27). Dementsprechend gliedert sich der Informationsbedarf in drei Anteile, deren verschiedene Abhängigkeiten von den entitätszentrierten Kontextaspekten der Bearbeitungssituation im Folgenden betrachtet werden.

Verarbeitungsrelevanter Informationsbedarf

Der verarbeitungsrelevante Informationsbedarf repräsentiert den Bedarf an neuen Informationen für die Aufgabenbearbeitung. Verarbeitungsrelevante Informationen sind hauptsächlich diejenigen Informationen, die vom Informationsprozess direkt bearbeitet werden. Bei der Betrachtung der Kontextaspekte lassen sich verschiedene Einflüsse auf den verarbeitungsrelevanten Informationsbedarf identifizieren. Wesentlicher Ausgangspunkt für die Ermittlung ist der *Prozesskontext* mit der Aufgaben- und Tätigkeitsbeschreibung. Die Beschreibung der Eingangsinformationen des Informationsprozesses definiert den Umfang des verarbeitungsrelevanten Anteiles und bildet damit die Basis für den gesamten Informationsbedarf.

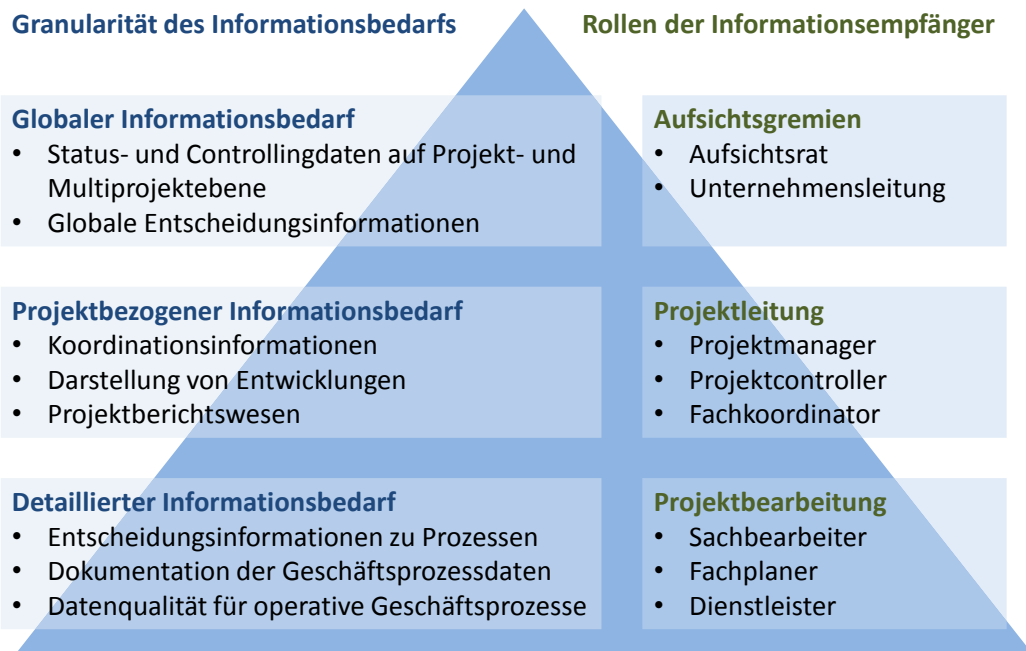


Abbildung 48: Informationsbedarf¹⁶⁶

Über konkrete Prozessbeschreibungen lassen sich Aussagen über die benötigten Informationsraumausschnitte ableiten (z. B. Angebot Rohbau Keller, Arbeitsplanung 25. KW). Einen großen Einfluss auf die Ausgestaltung des verarbeitungsrelevanten Anteiles haben die rollenbezogenen Kontextaspekte des *Nutzerkontextes*. Hier lassen sich aus der organisatorischen Einordnung des Akteurs und der Projektrolle bzw. Organisationsstelle Berechtigungen und Befugnisse ableiten, die sich auf die nötige Informationsaufbereitung auswirken.

So können beispielsweise die Granularität von benötigten Fachmodellen (detaillierte Informationen oder Management Summary, vgl. Abbildung 48), deren Dringlichkeit oder der Zugriff auf spezielle Informationsquellen (z. B. kostenpflichtig oder vertraulich) beeinflusst sein (Koch O., 2010, S. 102). Insbesondere bei der Verwendung rollenspezifischer Modellsichten ist der Nutzerkontext maßgebend. Ein weiterer Punkt für eine Beeinflussung des Informationsbedarfes ist die technische Ausstattung des Akteurs. Eingeschränkte Verfügbarkeit von Anwendungen, Rechen- oder Speicherressourcen, Übertragungsbandbreite oder Darstellungsequipment erfordern ggf. eine Anpassung der Informationsmodelle. Ebenfalls Einfluss hat der *Projektkontext*. Hier kann die aktuelle Projektphase die Ausgestaltung der Informationen beeinflussen (z. B. Planungsphase, Erstellungsphase oder Nutzungsphase). Einen Einfluss auf die Ausgestaltungsmöglichkeiten des verarbeitungsrelevanten Anteils hat auch der *Ressourcenkontext* selbst. In Abhängigkeit von der Art der Informationen bestehen unterschiedliche Möglichkeiten der Filterung und Ausschnittbildung (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16).

¹⁶⁶ Vgl. (Greiner, 2014).

Interpretationsrelevanter Informationsbedarf

Die Informationslogistik in einem Bauprojekt soll nicht lediglich ein Informationsdefizit beseitigen, sondern auch die Informationsverarbeitung bestmöglich fördern. Daher ist auch der interpretationsrelevante Informationsbedarf, der den Wunsch nach Erklärung und Erläuterung einer vorliegenden Information widerspiegelt, zu beachten. Solche Informationen können Begleitinformationen, Erläuterung und Erklärung der Aufgabe, Beispiele oder Normen sein. Dieser Anteil des Informationsbedarfes ist dann am geringsten, wenn die Überschneidung aktueller Aufgabeninhalte mit den Vorkenntnissen, der Berufsausbildung und den Inhalten zurückliegender Tätigkeiten eines Akteurs möglichst groß ist. Es ist davon auszugehen, dass eine Aufgabenbearbeitung in der Vergangenheit (evtl. mit Erfolgsfeedback) mit intensiven Erfahrungen in der Nutzung von Anwendungen und der Bearbeitung spezieller Prozesse oder Fachmodelle den Interpretationsbedarf für ähnliche Aufgaben vermindert (Englert et al., 2004). Daher wird der Umfang der nötigen interpretationsrelevanten Informationen im Wesentlichen vom Nutzerkontext, und da insbesondere von den Erfahrungen und Kenntnissen, bestimmt. Zusätzlich kann eine Berufsbezeichnung sowohl Qualifikationsgrad (Schulabschluss, Ausbildung, Studium) und grundlegende Tätigkeitsfelder (typische Aufgaben und Pflichten) als auch Kenntnisse domänenspezifischer Standardinformationen implizieren. Eine Domänenzugehörigkeit repräsentiert dabei technische Auffassungsgabe, Methodenkompetenzen, Denkmuster der Fachdomänen sowie Abteilungssichtweisen. Dieses Verständnis beeinflusst die Interpretation kommunikativer Sachverhalte. Aufgrund der Heterogenität der Akteure kann nicht vorausgesetzt werden, dass alle interpretationsrelevanten Informationen jedem Kollaborationsteilnehmer präsent sind. Hier entsteht ein interpretationsrelevanter Informationsbedarf in Abhängigkeit von Erfahrung, Fähigkeiten und Kompetenzen des einzelnen Akteurs. Für die Ausgestaltung der Interpretationsunterstützung spielt der Ressourcenkontext eine wesentliche Rolle. Je nach Art der Informationen bestehen unterschiedliche Möglichkeiten für interpretationsunterstützende Informationen.¹⁶⁷

Verifizierungsrelevanter Informationsbedarf

Eng angelehnt an den interpretationsrelevanten Informationsbedarf ist der verifizierungsrelevante Informationsbedarf. Dieser repräsentiert den Bedarf an Bewertung und Bestätigung einer vorliegenden Information. Verifizierungsrelevante Informationen können sowohl Prüfprotokolle oder Planfreigaben als auch Vertragsunterlagen, Normen und Richtlinien sein. Im Gegensatz zum interpretationsrelevanten Anteil entsteht dieser Bedarf nicht aus dem nutzerzentrierten Kontext, sondern wird primär vom Informationsprozess vorgegeben. Daher wird der Umfang des verifizierungsrelevanten Informationsbedarfs im Wesentlichen vom Prozesskontext, insbesondere von den Input-Parametern, bestimmt. Diese werden zum Modellierungszeitpunkt definiert.

¹⁶⁷ Im Bauwesen gehören zu einem Grundverständnis beispielsweise sämtliche domänenspezifische Standardinformationen über Gebäude und ihre Bestandteile. So wissen Domänenakteure insbesondere, welche Teile eines Gebäudes *Etage* genannt werden und was im Sinne der sog. intrinsischen Orientierung mit *außen* gemeint ist.

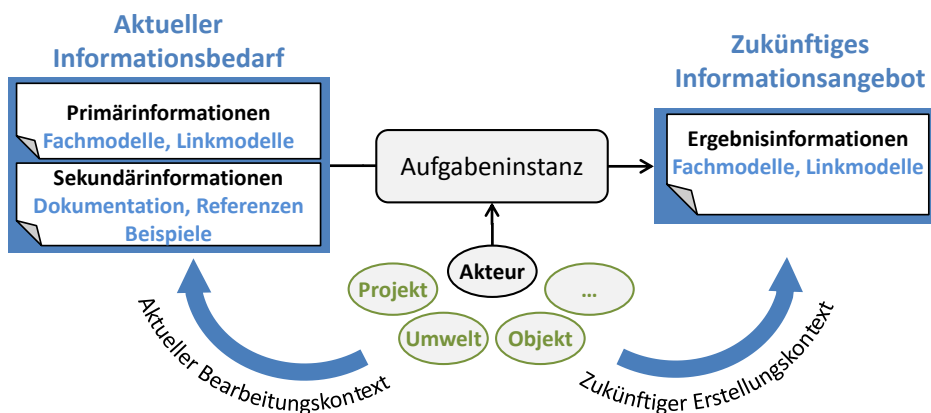


Abbildung 49: Kontextabhängigkeit von Bedarf und Angebot

3.3.4 Der Einfluss des Kontextes auf die Informationssemantik

Die Informationslogistik in einem Bauprojekt ist nicht nur für die Bereitstellung kontextbezogener Informationsräume für die jeweilige Aufgabenbearbeitung zuständig, sondern sie soll auch zu einer Wissensbewahrung und zu einem Wissenstransfer beitragen (vgl. Abschnitt 3.1.1, S. 62).

Daher ist für die Unterstützung von Informationsprozessen durch eine kontextgerechte Informationsversorgung sowohl eine prädiktive Vorhersage eines zu erwartenden Informationsbedarfs als auch eine retrodiktive Beschreibung vorhandener Informationsangebote maßgeblich. Insbesondere kollaborative Informationsräume erfordern für ihre Interpretation und Weiterverarbeitung die kooperative Bewahrung von semantischen Metadaten. Dabei ist neben der Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs immer auch ein genereller Einfluss des Kontextes auf die Informationssemantik zu beachten (Kindt und Rittgeroth, 2009, S. 39 ff.). Der Kontext beeinflusst somit implizit die Interpretation von Informationen. In der realen Welt werten Akteure für ihre jeweilige Kontextidentifizierung i. A. sowohl lokale Situationswahrnehmungen als auch unmittelbar vorausgehende Äußerungen von Kommunikationspartnern aus. Folglich repräsentieren Kontextinformationen relevante interpretationseinschränkende Bedingungen und können die jeweilige Bedeutungskonstitution unterstützen. Insbesondere Kontextinformationen, die eine Situation und Intention zum Zeitpunkt der Informationserstellung (oder -Verarbeitung) beschreiben, stellen eine wertvolle Grundlage für die Interpretation und Bewertung der Verlässlichkeit und Relevanz von vorliegenden Informationen in Bezug auf eine bestimmte Aufgabe dar (Neundorf und Raps, 2004).

Aus diesem Grund wird bei der Verwendung von Kontextinformationen typischerweise zwischen (aktuellen) *Bearbeitungskontexten* und (historischen) *Erstellungskontexten* unterschieden. Während der Bearbeitungskontext eine aktuelle Bearbeitungssituation wiedergibt, verbessern Informationen über die Situation, in der die vorliegenden Informationen erstellt oder bearbeitet wurden, deren Interpretierbarkeit (Koch, 2010). Indessen so der Bearbei-

tungskontext den verarbeitungsrelevanten Informationsbedarf beeinflusst, kann der Erstellungskontext wesentliche Teile des interpretationsrelevanten Informationsbedarfs tangieren. Abbildung 49 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Eine Vielzahl von Kontextinformationen lassen sich zur Beschreibung des Prozessergebnisses (und gleichzeitig des zukünftigen Informationsangebotes) verwenden. Die Kontextinformationen der Erstellungssituation bieten Informationen zur Einordnung (Modelldomäne, Projekt etc.), zum Umfeld (Autor, Projektphase) sowie zum Bearbeitungsstatus der Informationen.

Damit diese Informationen des Erstellungskontextes später verwendet werden können, müssen sie zum Zeitpunkt der Bearbeitung präsent sein. Die Einbeziehung des Erstellungskontextes für die Situationswahrnehmung und Informationsinterpretation wird durch das Konzept der sog. *Kontextkonstitution* ermöglicht, das die gemeinsame Übertragung der Kontextinformationen mit den Prozessinformationen beschreibt. In unterschiedlichem Umfang und unterschiedlicher Granularität wird die Kontextkonstitution bereits heute durch *Metadaten* realisiert. Diese können neben dem Erstellungskontext auch Wissensvoraussetzungen verbalisieren, die für das Verstehen der übertragenen Informationen erforderlich sind (z. B. „Für folgendes Fachmodell benötigen Sie Kenntnisse der Funktionsweise von Dächern“; Kindt und Rittgeroth, 2009, S. 39 ff.). Bei der Verwendung von Multimodellen findet die Kontextkonstitution durch die Metadaten der Containerbeschreibung statt (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 70) und erhöht dadurch die inhaltliche Bandbreite der Informationsraumkommunikation (vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78).

3.3.5 Formalisierung von Wirkrelationen

In Abschnitt 3.2.4 wurden verschiedene Korrelationen zwischen Kontextaspekten und Informationsraumkonzepten identifiziert. Um Kontextinformationen einer konkreten Situation zur Ableitung eines Informationsbedarfs und weiter zur Erzeugung von kontextgerechten Informationsräumen zu verwenden, müssen die bestehenden Kontexteinflüsse als explizite Wirkrelationen zwischen den Kontextkonzepten und Informationsraumkonzepten modelliert werden. Dem beschriebenen Grundkonzept¹⁶⁸ folgend, werden die spezifizierten Abhängigkeiten eines kontextspezifischen Informationsraums in Form von Kontextannotationen innerhalb der Multimodellvorlage spezifiziert. Somit wird ein adaptiver Informationsraum definiert, der später anhand eines dann aktuellen Kontextes zur Erzeugung eines kontextgerechten Informationsraumes ausgewertet werden kann. Um die Auswirkungen der Kontextaspekte auf die einzelnen Informationsraumelemente geeignet zu formalisieren ist es notwendig, in einem ersten Schritt verschiedene Arten allgemeiner Kontextabhängigkeiten zu unterscheiden und deren Einflussmöglichkeiten auf Adaptionsentscheidungen zu betrachten.

¹⁶⁸ Vgl. Abschnitt 3.3.1.

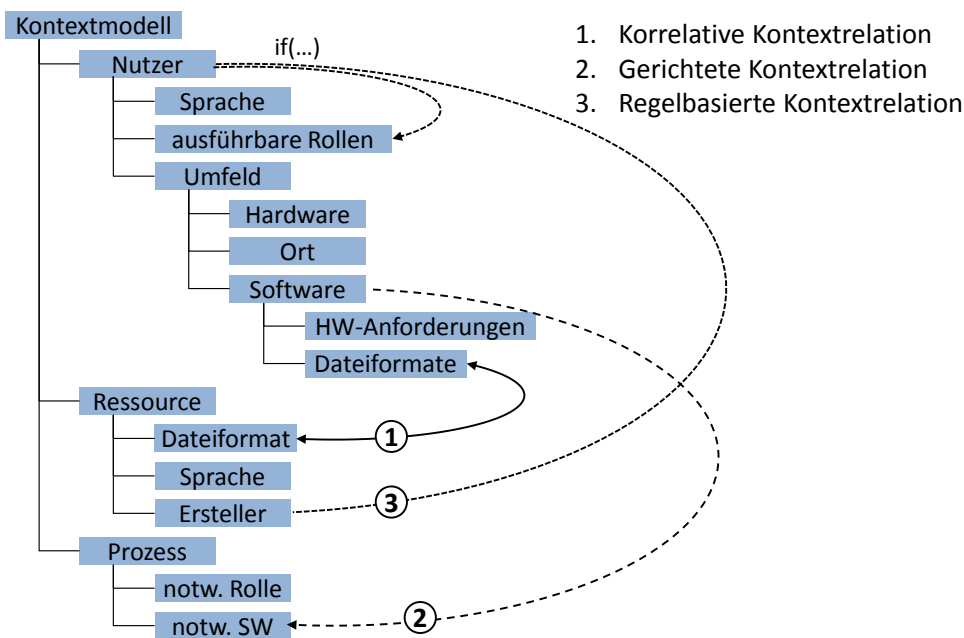


Abbildung 50: modellinterne Kontextrelationen

Modellinterne Kontextrelationen

Um zu einer präzisen Definition von Kontextabhängigkeiten zu gelangen, werden zunächst verschiedene Arten von Wirkrelationen betrachtet. Dabei unterscheiden wir zwischen *Kontextrelationen*, die Abhängigkeitsverhältnisse innerhalb des Kontextmodells repräsentieren, und *Kontextwirkrelationen*, die Auswirkungen von Kontextaspekten auf den Informationsbedarf darstellen. Bei der Betrachtung von Kontextrelationen grenzen Ziegler et al. (2005) drei Kontextrelationstypen anhand des Determiniertheitsgrades der Abhängigkeit voneinander ab.

Korrelative Kontextrelationen repräsentieren richtungslose interdependente Beziehungen zwischen Kontextaspekten. Diese basieren auf korrelativen, statistischen Zusammenhängen.

Gerichtete Kontextrelationen dagegen repräsentieren dependente Ursache-Wirkungs-Relationen und besitzen daher eine Wirkrichtung.¹⁶⁹ Als dritter Kontextrelationstyp werden *regelbasierte Kontextrelationen* betrachtet. Wenn ein Zielkonzept von mehr als einem Kontextkonzept abhängig ist, lassen sich durch Regeln komplexe Bedingungen definieren. Regeln lassen sich dabei mit anderen Relationsarten und Wahrscheinlichkeitswerten kombinieren. Die unterschiedlichen Kontextrelationen werden in Abbildung 50 dargestellt.

¹⁶⁹ Ziegler et al. (2005) diskutiert auch die bedingte Gültigkeit von Umkehrschlüssen, jedoch sind die im betrachteten Anwendungsfall vernachlässigbar.

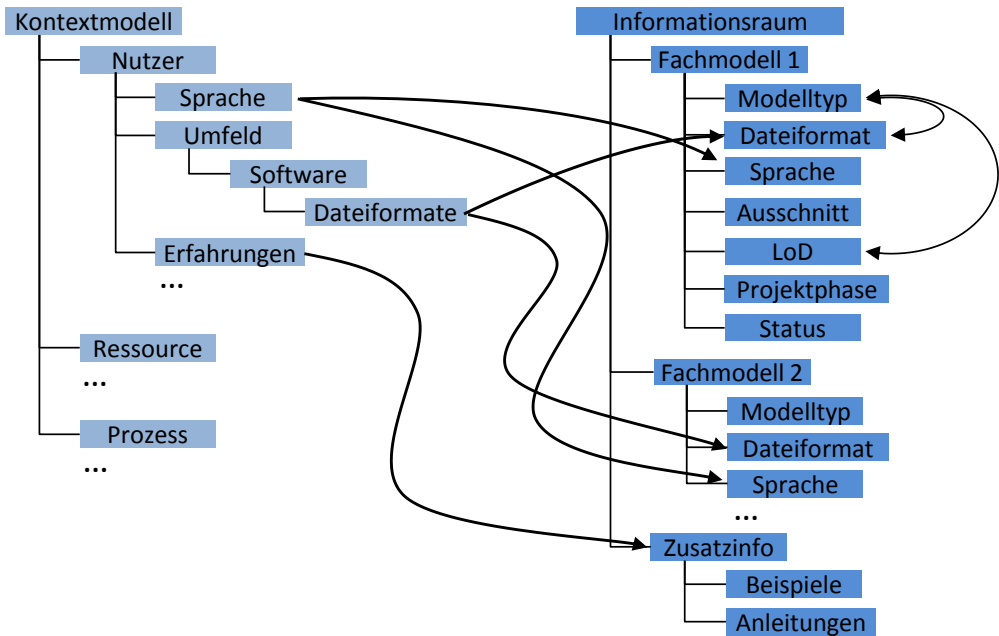


Abbildung 51: modellübergreifende Kontextwirkrelationen

Kontextwirkrelationen

Kontextwirkrelationen beschreiben gerichtete Wirkeinflüsse von Kontextaspekten auf adaptierbare Zielkonzepte (z. B. Informationsbedarf). Kontextwirkrelationen haben somit per Definition eine Wirkrichtung und werden als regelbasierte Kontextwirkrelationen abgebildet. Für die Berechnung der Einflüsse der Kontextfaktoren existieren verschiedene Verfahren. Bei probabilistischen Verfahren werden die verschiedenen Kontextwirkrelationen als bedingte Wahrscheinlichkeiten betrachtet und summiert oder nach dem Bayes'schen Theorem berechnet. Aus der Summe der (Kontextwirk-)Wahrscheinlichkeiten der einwirkenden Kontextfaktoren wird die Ausgestaltung eines Informationsraumaspektes ermittelt (Ziegler et al., 2005, S. 186).

Sollen für die Ermittlung einer geeigneten Adaption auch zurückliegende Situationen und darin getroffene Entscheidungen herangezogen werden, so lassen sich Ansätze des fallbasierten Schließens (engl. Case-Based Reasoning) verwenden (Dey et al., 2001; Mikalsen und Kofod-Petersen, 2004). Voraussetzung dafür sind die strukturierte Speicherung vergangener Kontextsituationen und eine Bewertung durchgeführter Adaptionen (z. B. durch Anwender-Feedback). Für umfangreiche Anwendungen mit sehr komplexen Informationsräumen kann es sehr aufwendig werden, für jeden Informationsraumaspekt von Hand die Beziehungen zu verschiedenen Kontextfaktoren zu modellieren. Hier existieren Ansätze, die durch Propagierungsmechanismen Kontextrelationen und Regeln in Konzepthierarchien vererben. So lassen sich beispielsweise viele fachmodellübergreifenden Informationsraumanforderungen direkt an das Multimodell stellen und werden an die subsummierten Fachmodelle propagiert

(z. B. Projekt, Landessprache, Projektphase). Ebenfalls kann die Kontextrelevanz einer Informationsgruppe (z. B. Fachmodellqualität) auf alle subsummierten Fachmodelle übertragen werden. Die Verknüpfungsinformationen der Informationsräume lassen sich nutzen, um über Mechanismen wie *Spreading Activation* (Collins und Loftus, 1975) kontextbezogene Adaptionen von einem Informationsraumkonzept auf verknüpfte Konzepte zu propagieren. Propagiert werden können Kontextwirkungen für die Fachmodellaggregation und -adaption. Die Adaption in allen Ebenen kann durch Informationsraumattribute gesteuert werden, die Maximal- und Minimalqualitäten sowie Verknüpfungstiefen oder benötigte Ausschnitte der Fachmodelle angeben (vgl. Abschnitt 3.3.2, S. 117). Abbildung 51 demonstriert modellübergreifende Kontextwirkrelationen zwischen einem Kontextmodell und einem Informationsraummodell.

3.3.6 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde die Idee der adaptiven Informationsräume ausgearbeitet. In einem ersten Schritt wurden verschiedene Adaptionarten zur Realisierung einer situativen Ausgestaltung von Informationsräumen als Methodik der Informationsraumadaptivität erarbeitet. Anschließend wurden verschiedene Kontextabhängigkeiten des Informationsbedarfs und Kontexteinflüsse auf die Informationssemantik erörtert, um auf Basis des jeweils gültigen Kontextes relevante Inhalte zu identifizieren. Abschließend wurden Informationsraumannotationen für die Formalisierung von Kontextwirkrelationen eingeführt, um die Individualisierung anhand von Kontextinformationen zu beschreiben. Auf diese Weise wird die Aufstellung ausführbarer fachlicher Regeln für domänenübergreifende Aufgabenstellungen von den technischen Sachverhalten der situativen Regelauswertung getrennt und die Beschreibung der Kontextabhängigkeiten wird vom aktuellen Kontext entkoppelt. Als Ergebnis entsteht eine adaptive Multimodellvorlage, die sich dem jeweiligen Kontext entsprechend zu einer kontextgerechten Multimodellvorlage auswerten lässt und als Basis für die Erzeugung eines kontextgerechten Multimodells verwendet werden kann. Die adaptiven Multimodellvorlagen sind somit flexibel einsetzbar.

*„People can't share knowledge if they don't speak a common language“
(Davenport und Prusak, 1998)*

Kapitel 4 **Konzept einer kontextbewussten Informationslogistik**

In diesem Kapitel wird ein Konzept für eine kontextorientierte Informationsversorgung auf der Grundlage adaptiver Informationsräume vorgestellt. Basierend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Umfeldanalyse zur bauspezifischen Informationslogistik wird ein Ansatz erarbeitet, das die grundlegenden Anforderungen an eine kontextorientierte Informationsversorgung von Akteuren in Bauprojekten erfüllen soll. Dafür werden Kontextinformationen zur Beschreibung des Informationsbestands und für die Ermittlung des situativen Informationsbedarfs verwendet. Dabei integriert das vorgestellte Konzept verschiedene Ansätze, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden. Im ersten Abschnitt werden zunächst die bereits beschriebenen Kontext- und Informationsraummodelle durch Ontologien formal abgebildet, um eine bauspezifische Kollaborationsbeschreibung abzuleiten. Die dabei erarbeitete generische Projektkollaborationsontologie ermöglicht die Verwendung von automatischen Inferenzen. In dem zweiten Teil wird mit der Regelsprache ContextScript ein Ansatz zur Formalisierung von Kontextwirkrelationen vorgestellt. Diese Regelsprache und deren, auf Projektkollaborationsontologie und dem Kontextmodell basierende Auswertung, bilden den Kern des erarbeiteten Lösungsansatzes. Der dritte Abschnitt dieses Kapitels stellt eine Architektur zur Kontextwertschöpfung und Verarbeitung von Kontextinformationen zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume vor, die einen konzeptionellen Rahmen für eine projektweite kontextgerechte Informationslogistik darstellt. Auf dieser Basis können Informationsbedarfe antizipiert und entsprechende multimodellbasierte Informationsräume zusammengestellt werden.

4.1 Ontologie-Framework für kontextbewusste Projektkollaboration **Überblick**

Für eine kontextgerechte Informationsversorgung kollaborativer Informationsprozesse muss der jeweilige situative Informationsbedarf antizipiert und durch passende Informationsräume erfüllt werden. Dafür soll die projektweite Informationslogistik um das Konzept der adaptiven Informationsräume erweitert werden und das vorhandene Informationsangebot kontextabbildend annotiert werden. Für die Annotation und für die Erzeugung der Informationsräume sollen automatische Inferenzen genutzt werden. Eine Voraussetzung dafür ist eine klare und eindeutige Formalisierung der domänenübergreifenden Projektkollaboration, die beteiligte Objekte, Konzepte, Beziehungen und Ableitungsregeln maschineninterpretierbar in einer formalen Sprache modelliert, die Inferenz erlaubt. Eine solche Repräsentation kann durch Ontologiemodelle bereitgestellt werden. Der folgende Abschnitt beschreibt die Konzeption des entwickelten Ontologie-Frameworks und beginnt mit einem kurzen Über-

blick über den Forschungsstand der Ontologiemodellierung im Allgemeinen und der ontologiebasierten Kontextmodelle im Besonderen. Anschließend wird die im Rahmen der Arbeit entwickelte *Projektkollaborationsontologie* vorgestellt.

4.1.1 Konzeption des Ontologie-Frameworks

Der Ontologiebegriff wird in verschiedenen Wissenschaftszweigen unterschiedlich verwendet. In der Informatik ist die Definition von Studer et al. (1998) allgemein anerkannt: „An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization.“ Dabei befördert die explizite formale Spezifikation eine maschinelle Les- und Interpretierbarkeit der gemeinsamen Konzeptualisierung einer Domäne. Davis et al. (2002) konzentrierte diese Definition in Hinblick auf ihre Verwendung als „shared and common understanding of a domain that can be communicated between people and application systems“. Somit können Ontologien in einer formalen expliziten Weise Konzepte und Terminologien von Wissensbereichen abbilden. Diese können anschließend von einer Gruppe von Akteuren als allgemein anerkannter Konzeptualisierungsstandard in einer Domäne verwendet werden (Abecker et al., 2002; Morgenroth, 2006). Um der Intention einer expliziten Spezifikation zu entsprechen, müssen Ontologien durch formale Beschreibungssprachen repräsentiert werden. Dabei werden die Beschreibungsfähigkeiten einer Ontologie durch die Möglichkeiten der Strukturierung von Konzepten, Relationen und Regeln determiniert. Aufgrund der Verschiedenartigkeit vorhandener Ontologien existiert kein übergreifender Abbildungsansatz. Zur Unterstützung der Ontologiemodellierung wurden in den letzten Jahren eine Reihe von unterschiedlichen Sprachen, Methoden und Werkzeugen entwickelt (vgl. Abbildung 52). Dabei entstanden viele verschiedene Ontologiesprachen mit unterschiedlichen Strukturierungsmöglichkeiten, wobei die Bandbreite von deren Ausdrucksfähigkeit von einfachen Terminologien und kontrollierten Vokabularen über Taxonomien¹⁷⁰ und Thesauri¹⁷¹ mit festen Relationstypen bis hin zu Systemen mit freien Relationstypen wie semantischen Netzen oder Topic Maps reicht (Weller, 2013, S. 207 ff.)¹⁷²

Unter dem Einfluss der Entwicklungen des *Semantic Web* und des *W3C* haben in der Informationswissenschaft vor allem *XML* (Extensible Markup Language) und weborientierte Sprachen wie *RDF* (Resource Description Framework), *RDFS* (RDF-Schema) und *OWL* (Web Ontology Language) eine weite Verbreitung erlangt (Weller, 2010). Insbesondere OWL-basierte Ontologien bilden ein zentrales Element des *Semantic-Web*-Ansatzes, in dem eine explizite maschinenlesbare Beschreibung verfügbarer Informationen vorgeschlagen wird (Berners-Lee et al., 2001; Herman und Hendler, 2004; Miller, 2003).

¹⁷⁰ Taxonomien repräsentieren eine Einordnungen von Konzepten in systematische Kategorien.

¹⁷¹ Thesauri sind systematisch geordnete Begriffssammlungen eines bestimmten Fachbereichs.

¹⁷² Einen Überblick über Ontologiesprachen geben (Gómez-Pérez et al., 2004; Staab und Studer, 2010).

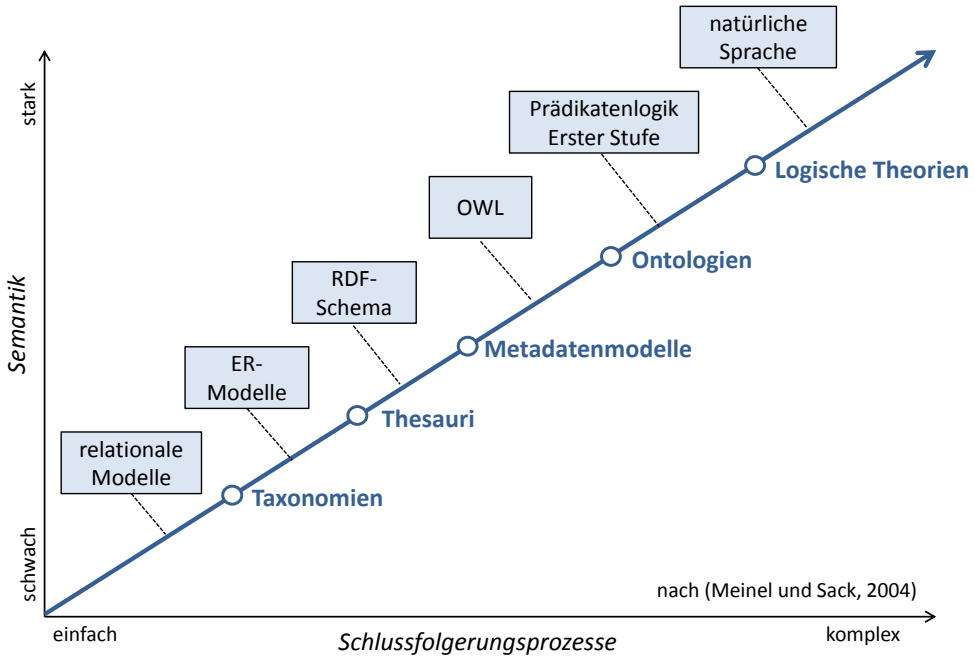
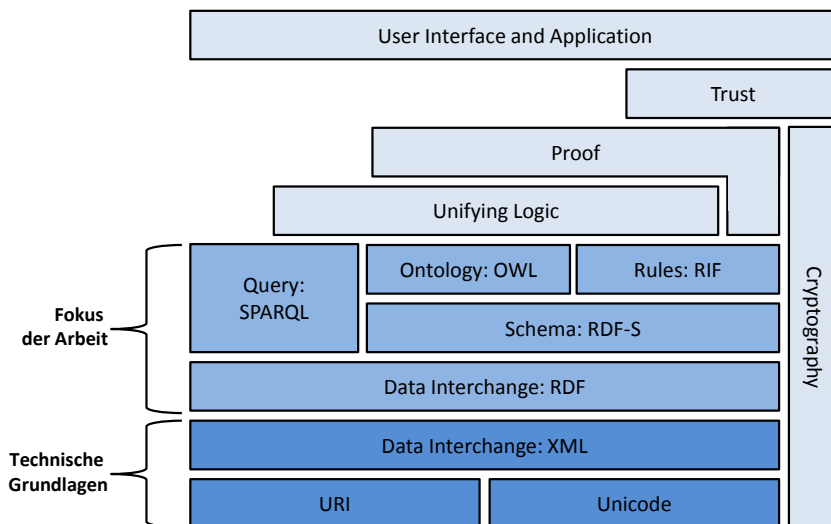


Abbildung 52: Übersicht ausgewählter Repräsentationssprachen

Diese zentrale Rolle lässt sich in dem sog. *Semantic Web Stack* erkennen, der die Themengebiete des World Wide Web verdeutlicht (vgl. Abbildung 53). OWL basiert technisch auf der RDF-Syntax, wobei die Ausdrucksmöglichkeiten weit über die des RDF-Schemas hinausgehen. Dadurch lassen sich viele Anwendungsfälle abdecken, die eine höhere Ausdrucksstärke erfordern, wie z. B. Äquivalenz, inverse Relationen, Kardinalitätsrestriktionen oder Disjunktheit. Ähnlich wie in RDF können in OWL grundlegende Fakten definiert und wie im RDF-Schema Klassen- und Eigenschaftsstrukturen definiert werden. Darüber hinaus ermöglichen zusätzliche Sprachkonstrukte, Ausdrücke ähnlich der Prädikatenlogik zu formulieren, um Konzepte und Ausdrücke zu modellieren (Weller, 2013).

Mit der steigenden Ausdrucksstärke der Ontologiesprache steigt sowohl die Stärke der intendierten Semantik als auch die mögliche Komplexität von Schlussfolgerungsprozessen. Um bei der Verwendung von Ontologien auch eine beherrschbare Komplexität zu gewährleisten, haben sich drei OWL-Abstufungen herausgebildet, die sich hinsichtlich der Ausdrucksfähigkeit und der inferentiellen Komplexität unterscheiden (Motik et al., 2009). Die Stufe mit der höchsten Ausdrucksstärke, *OWL full*, bietet dabei ein Maximum an Ausdrucksstärke und syntaktischer Freiheit, kann aber keine Verarbeitbarkeit durch Schlussfolgerungssoftware garantieren. Die mittlere Stufe *OWL DL* basiert dagegen auf einer entscheidbaren Beschreibungslogik (Description Logic), als Teilmenge der Prädikatenlogik erster Stufe, die eine vollständige Verarbeitbarkeit sicherstellt. *OWL lite* letztendlich repräsentiert eine weniger ausdrucksstarke Variante mit Klassifikationshierarchien und einfachen Restriktionen (z. B. nur binäre Kardinalitätsrestriktionen).

Abbildung 53: Semantic Web Stack¹⁷³

Durch die Abgrenzung von Individuen und Konzepten, die erweiterten Relationsmöglichkeiten und die Inferenzfähigkeit unterscheiden sich OWL-Ontologien klar von den klassischen Methoden der Wissensrepräsentation wie Thesauri und Klassifikationen (Weller, 2013, S. 215). Die beschriebenen Eigenschaften prädestinieren OWL-Ontologien klar für die Unterstützung der semantischen Interoperabilität in domänenübergreifenden Kollaborationssituationen. Durch diese Form der expliziten Formalisierung können Kontextinformationen und Informationsraumbeschreibungen in unterschiedlichen Domänen ausgetauscht und verstanden werden. Insbesondere die Fähigkeit des automatischen Schließens durch Inferenzmechanismen ermöglicht die Beherrschung und Auswertung komplexer Beschreibungsmodelle. Die große Akzeptanz dieser Ontologiesprache und die wachsende Werkzeugunterstützung ermöglichen eine relativ komfortable Ontologiemodellierung. Für den Zweck einer kontextgerechten Informationslogistik mit beherrschbarer Komplexität und Berechenbarkeit wird daher im Rahmen dieser Arbeit OWL-DL als Sprache zur Repräsentation von Ontologien verwendet.

OWL-Aufbau

OWL-Ontologiemodelle bilden Konzepte und Beziehungen eines Diskursbereiches im Wesentlichen durch Konzepte (Klassen) mit Eigenschaften (Datatype-Properties) und Relationen (Object-Properties) formal ab. Grundlegende Aussagen, die generell für eine betrachtete Domäne gültig sind, können mit Hilfe von Restriktionen (Axiomen) definiert werden. Abbildung 54 zeigt das hierfür erweiterte RDF-Vokabular.

¹⁷³ Vgl. (Berners-Lee, 2005).

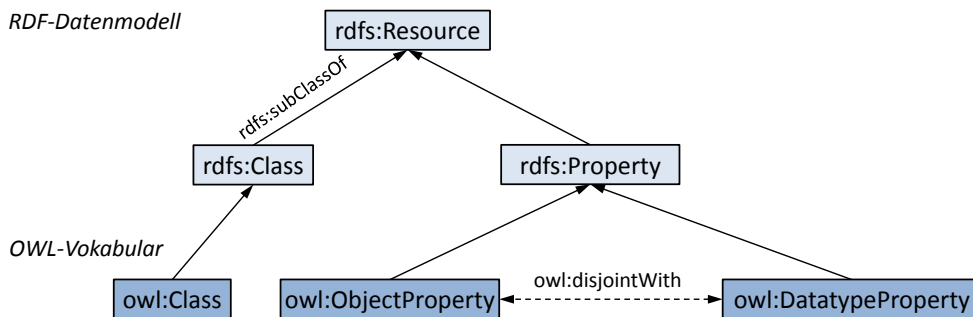


Abbildung 54: OWL-Vokabular-Erweiterung

In OWL-Ontologien wird stringent zwischen Konzepten (Klassen) und den konkreten Vertretern der einzelnen Klassen, den Instanzen (Individuals), unterschieden. OWL-Ontologien lassen sich somit formal als Fünfertupel notieren:

$$O = \langle K, E, I, B, A \rangle.$$

Eine Ontologie (O) beschreibt ein Domänenwissen durch eine Sammlung von Konzepten (K) mit ihren Eigenschaften (E) und ihren Ausprägungen (I). Zusätzlich wird noch die Menge der Relationen (B) zwischen den Konzepten in K modelliert. Durch eine Sammlung von Axiomen (A) können darüber hinaus die Attribute und Relationen beschränkt werden (ähnlich Volz, 2001). Die integrierte OWL-Eigenschaft *owl:subClassOf* ermöglicht es, Konzepte in Unterklassen hierarchisch zu strukturieren, wodurch eine einfache Erweiterung durch neue Domänenkonzepte möglich ist. Durch die Modellierung von Klassenhierarchien und Properties sind Ontologien in der Lage, neben den gängigen semantischen Relationen (z. B. Hyperonymie-, Hyponymie-, Meronymie- und Instanzrelation) auch weitere spezifische Verbindungen zwischen den Konzepten darzustellen (Peters und Weller, 2008). So können über vordefinierte Sprachkonstrukte Äquivalenzen (z. B. *owl:equivalentClass*, *owl:equivalentProperty*, *owl:sameAs*) oder Verschiedenheiten (z. B. *owl:differentFrom*, *owl:allDifferent*) beschrieben werden. Zusätzlich können Ontologien weitere Integritätsbedingungen und Ableitungsregeln enthalten, die ein automatisches Auswerten durch Inferenzmechanismen ermöglichen¹⁷⁴. Dadurch lassen sich beispielsweise notwendige und hinreichende Bedingungen für eine Klassenzugehörigkeit der Instanzen angeben.

Auf der Basis von Ableitungsregeln können durch logische Schlüsse implizite Konzeptzugehörigkeiten oder Eigenschaften aus vorhandenen Informationen automatisch expliziert werden (Faschingbauer, 2011; Neundorf und Raps, 2004, S. 165 ff.) Diese Fähigkeit kann insbesondere dazu genutzt werden, die stetig wachsende Menge von Daten in verschiedenen Domänen automatisch zu erschließen (vgl. dazu die ausführliche Darstellung in Grüninger und

¹⁷⁴ Das logische Schließen wird durch ergänzende Regelsprachen wie Common Logic (CL) und das Rule Interchange Format (RIF) unterstützt (vgl. Abschnitt 3.3.5).

Lee, 2002; Staab, 2002). Durch eine Ontologieintegration können mehrere Ontologien so miteinander verschmolzen werden, dass sie schließlich als vereinigte einheitliche Ontologie zur Verfügung stehen. Dafür stellt OWL Sprachkonstrukte bereit (z. B. *owl:imports*). In ihrer Gesamtheit bilden sie das Expertenwissen im jeweiligen Themenbereich ab, wobei die enthaltenen Konzepte zwischen den Domänen stark variieren können.

Aktuelle Ontologieansätze

Als Hilfsmittel des Wissensmanagements in Unternehmen werden derzeit viele ontologiebasierte Lösungsansätze untersucht. Im Bauwesen sind die Ansätze der Ontologieverwendung für die Projektkollaboration überschaubar. Das Forschungsprojekt *Inteligrid* entwickelte eine ontologiebasierte Lösung für die Erzeugung semantischer Interoperabilität verschiedener heterogener Grid-Anwendungen (Dolenc et al., 2007). Die Ergebnisse wurden in dem Forschungsprojekt *BauVOGrid* verfeinert (Katranuschkov und Scherer, 2008). Hier wurde eine gridbasierte Plattform für *Virtuelle Organisationen* im Bauwesen entwickelt, deren Basis verschiedene Entitätsontologien bildeten (z. B. Prozess-, Organisations- und Ressourcenontologie). Im Forschungsprojekt *MEFISTO* wurde ein Ontologie-Framework für die Informationslogistik im Bauwesen skizziert, das die verschiedenen beteiligten Fachmodelldomänen abbildet (Schapke und Fuchs, 2011).

Aufbau der Projektkollaborationsontologie

Der Aufbau großer Domänenontologien kann sowohl induktiv durch die Integration mehrerer kleiner leichtgewichtiger Teilontologien als auch deduktiv durch Festlegung allgemeiner Konzepte und Regeln mit anschließender Spezialisierung für Teilbereiche geschehen (Holsapple und Joshi, 2002). Generell werden bei der Ontologiemodellierung meist drei Abstraktionsebenen unterschieden. Allgemeine Konzepte, die bereichsübergreifend gebräuchlich sind, werden in generischen *Oberontologien* (Upper Ontologies oder auch Top Level Ontologies) definiert und als Grundlage für die Entwicklung anwendungsspezifischer *Kernontologien* (Core Ontologies) verwendet. Diese beschreiben relevante Kernkonzepte für typische Anwendungsfälle. Die detaillierte Ausgestaltung der Konzepte geschieht in der Ebene der *Domänenontologien* (Domain Ontologies). Die Konzepte werden dabei in den einzelnen Abstraktionsebenen immer weiter spezialisiert. Während beispielsweise in einer Oberontologie das Konzept *Projekt* als Unterklasse von *Object* definiert wird, kann in der darunterliegenden Organisations-Kernontologie dieses Konzept mit der Klasse *ProjectPhase* verknüpft werden, und die Konzepte von Vorgänger und Nachfolger können durch die Kanten *hasPredecessor* und *hasSuccessor* modelliert werden.

Erst in einer bauspezifischen Domänenontologie werden die konkreten Phaseninstanzen mit ihren Vorgängern und Nachfolgern angegeben (z. B. besitzt die Phase „Genehmigung“ dann als *hasPredecessorPhase* die Phase „Entwurf“ und als *hasSuccessorPhase* die Phase „Ausführungsplanung“). Aus den vorangegangenen Betrachtungen heraus wurde ein generisches Ontologie-Framework für die Abbildung von Kollaborationssituationen in Projektumgebungen entwickelt. Diese *Projektkollaborationsontologie* (PKO) setzt sich induktiv aus mehreren kleineren Teilontologien zusammen, die in vier Ebenen gegliedert sind (vgl. Abbildung 55).

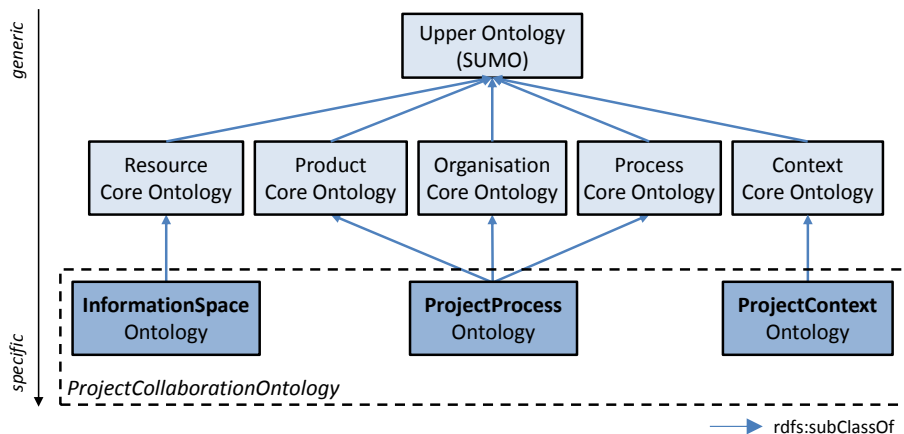


Abbildung 55: Struktur der Projektkollaborationsontologie

Die Ebenen unterscheiden sich dabei in der Spezialisierung der enthaltenen Konzepte, die, wie beschrieben, nach unten zunimmt. Im Folgenden werden die wesentlichen Konzepte der Teilontologien der ersten zwei Schichten erläutert. Mit dem Ziel, bestehende Lösungen in der PKO wiederzuverwenden, werden gleichzeitig vorhandene Ansätze untersucht.

4.1.2 Kernontologien der Informationslogistik

Für eine maximale Interoperabilität ist es sinnvoll, allgemeingültige Konzepte und Beziehungen in einer möglichst hohen Ebene zu beschreiben. Daher werden in der Oberontologie generische Konzepte beschrieben, die in allen darunterliegenden Abstraktionsstufen eine ähnliche Bedeutung besitzen (z. B. Entität, Objekt, Ereignis, Material, Zeitpunkt), sowie deren Beziehungen zu anderen Entitäten. Für solche Oberontologien existieren in der Literatur einige Vorschläge, die sich anhand der fokussierten Diskursbereiche unterscheiden. Für die Forschung in den Gebieten Information Retrieval, Linguistik und logisches Schließen existiert eine große formale Oberontologie, die sog. *Suggested Upper Merged Ontology* (SUMO; Niles und Pease, 2001). SUMO gehört der IEEE¹⁷⁵ und ist kostenlos unter der GNU General Public Licence erhältlich. Die Instanzen dieser Ontologie entstammen dem WordNet Lexikon.¹⁷⁶ Für die Modellierung im Rahmen dieser Arbeit sind wesentliche Konzepte für die Beschreibung von Kontextinformationen, Prozessen und Informationsressourcen relevant. Hierfür bringt die SUMO-Oberontologie bereits grundlegende Konzepte mit. Als Einstiegsknoten wird die Klasse *OWL:Thing* verwendet, von der sich alle weiteren Konzepte ableiten.

¹⁷⁵ IEEE ist der weltweit größte Ingenieurverband für die Förderung der technologischen Innovation der Elektrotechnik und Informationstechnik; er standardisiert Techniken, Hardware und Software (<http://www.ieee.org>).

¹⁷⁶ WordNet ist eine umfangreiche lexikalische Datenbank der englischen Sprache (<http://wordnet.princeton.edu>).

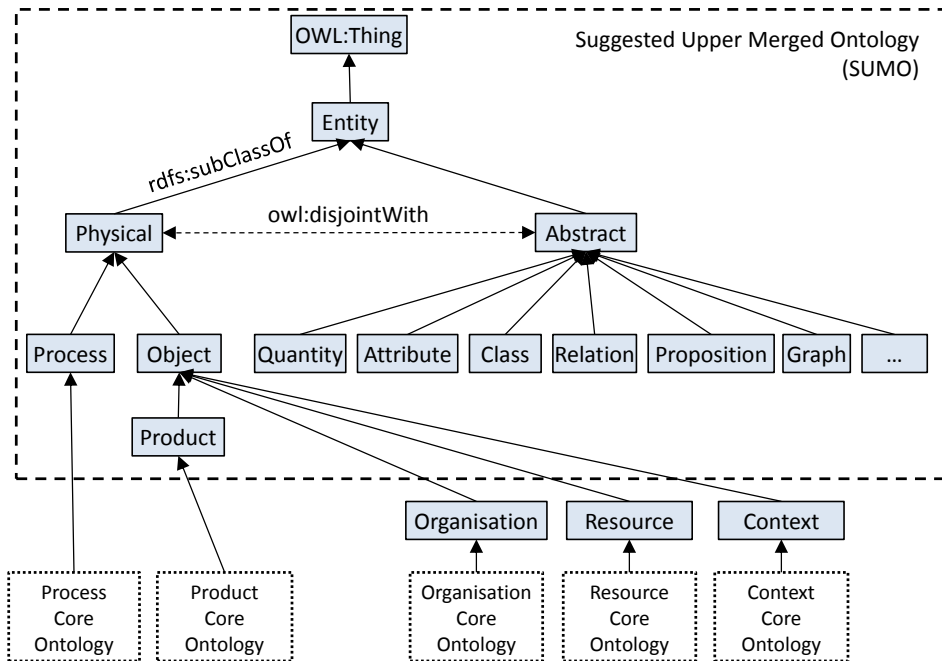


Abbildung 56: Einordnung der IEEE-SUMO-Oberontologie

Abbildung 56 illustriert die Konzepthierarchie der Oberontologie. Fehlende Konzepte sind außerhalb des gestrichelten Rahmens dargestellt. Die Kernontologien der zweiten Ontologieschicht (s. Abbildung 56, unten) betrachten die beteiligten Entitäten (vgl. Kapitel 3.2.4, S. 108). Die Kernontologien basieren auf Ontologien der Forschungsprojekte Inteligrad (Gehre et al., 2006) und BauVOGrid (Katranuschkov und Scherer, 2008) und werden im Folgenden näher beschrieben.

Die *ProcessCoreOntology* beschreibt allgemeine Prozesskonzepte und ihre Eigenschaften. Dazu gehören sowohl physische Prozesse (z. B. Materialbearbeitung) als auch Informationsprozesse. Generelle Eigenschaften solcher Prozesse sind z. B. StartEvent und EndEvent. Die Prozesse sind eine der wichtigsten Kontextentitäten und beeinflussen wesentliche Informationsanforderungen, weshalb die ProcessCoreOntology als semantische Grundlage der späteren Prozessbeschreibung eine wichtige Rolle im entwickelten Ontologie-Framework spielt. Tatsächlich ist die ProcessCoreOntology selbst relativ klein und definiert hauptsächlich die Anknüpfungspunkte für eine spätere integrative Verknüpfung mit den anderen Kernontologien zur Bildung einer konsistenten Gesamtontologie. Abbildung 56 zeigt schematisch die wesentlichen Komponenten der ProcessCoreOntology und ihre Beziehungen untereinander.

Die *ProductCoreOntology* beschreibt allgemein Produkttypen mit generellen Attributen. Dazu gehören wesentliche strukturelle Details (z. B. Unterprodukte, Produktteile) und Beschreibungen (z. B. Produktzustand). Für eine einheitliche Produktbeschreibung durch wohldefinierte Produkttypen existiert die Produktontologie *eClassOWL* (Hepp, 2006). Allerdings umfasst diese Ontologie mehr als 30.000 Klassen und über 5.000 Properties.

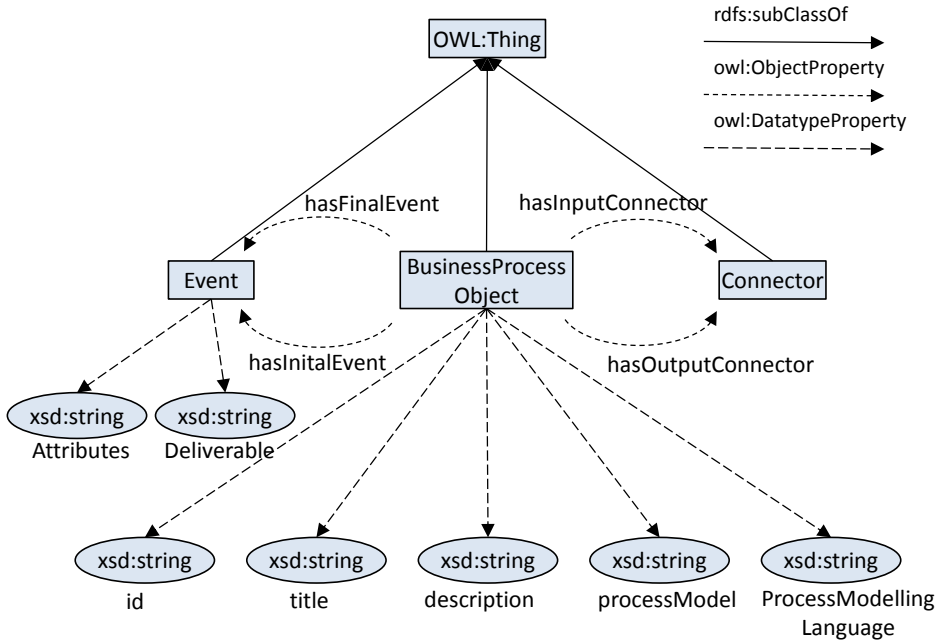


Abbildung 57: Ausgewählte Konzepte der ProcessCoreOntology

Da nur wenige Ausschnitte Verwendung finden, ist sie für kleinere Diskursbereiche nicht handhabbar. Ähnliches gilt für die *ProductTypesOntology*, die basierend auf Wikipedia hochpräzise Identifikatoren für verschiedenste Produktarten bereitstellt (Hepp, 2008). Um eine Produktstruktur beschreiben zu können, genügt im Rahmen dieser Arbeit eine einfachere Kernontologie mit nur einem Konzept (vgl. Abbildung 57).

Die *OrganisationCoreOntology* erfasst Konzepte, die organisatorische Aspekte der Projektumgebung beschreiben. Dazu gehört neben der Abbildung des allgemeinen Projektkonzeptes mit typischen Projektattributen (z. B. Startzeit, Dauer, Projektort) auch eine Reihe von organisationsbeschreibenden Konzepten (z. B. Personen, Rollen und Berechtigungen).

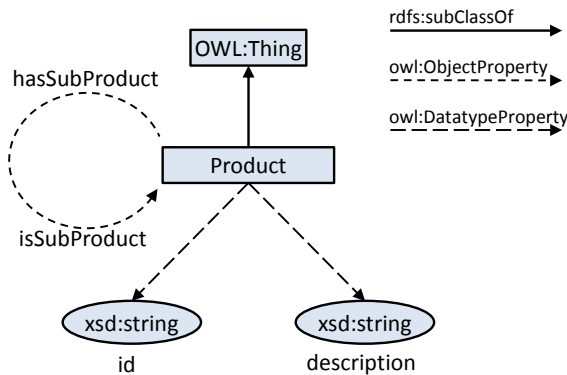


Abbildung 58: Struktur der ProductCoreOntology

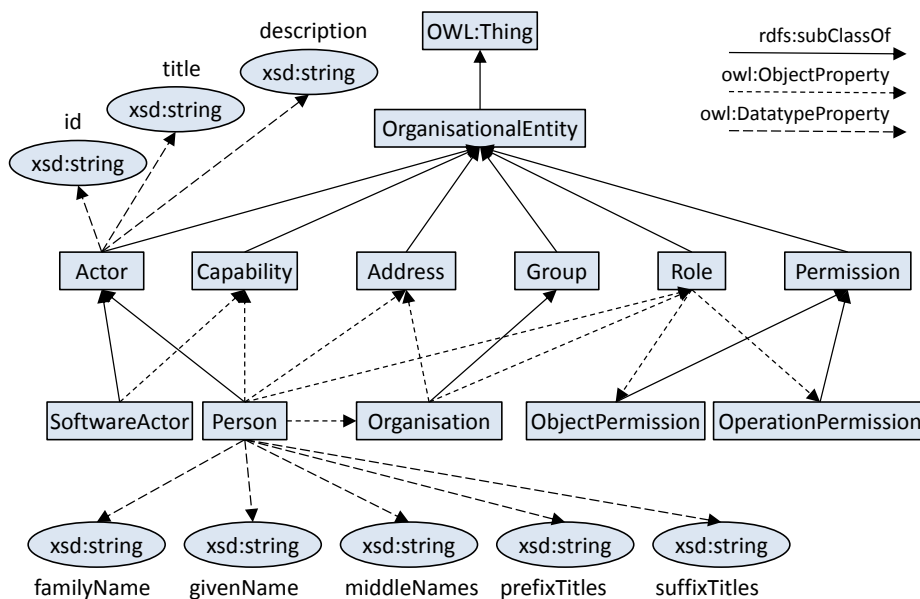


Abbildung 59: Ausgewählte Konzepte der OrganisationCoreOntology

Hier existieren verschiedene Standardontologien zur Abbildung von Projektorganisationen, die von speziellen Organisationsausprägungen abstrahieren. Ein Beispiel hierfür ist die *GoodRelationsOntology*, die eine branchenunabhängige Beschreibung von Geschäftsbeziehungen (z. B. Bezahlung, Lieferung etc.) bereitstellt (Hepp, 2008).

Im Rahmen der Arbeit wird eine Kernontologie verwendet, die sich an der *GoodRelationsOntology* orientiert und eine Weiterentwicklung der *ResourceOntology* des Forschungsprojektes BauVOGrid darstellt (vgl. Abbildung 58). Die verschiedenen Ressourcentypen mit unterschiedlichen Strukturen, Zugriffsmethoden und Inhalten werden generisch durch die *ResourceCoreOntology* beschrieben. Das Hauptkonzept dieser Kernontologie ist die Ressourcenklasse, von der Unterklassen für die Beschreibung sowohl von Informationsressourcen und Servicere Ressourcen als auch von physischen Ressourcen abgeleitet werden. Für die Informationslogistik interessant sind hauptsächlich die ersten beiden Typen.

Die Beschreibung der heterogenen Ressourcen in der Ressourcenontologie geschieht dabei typübergreifend durch einen Kernsatz von Metadaten. Dabei dient die Verwendung der Metadaten nicht nur dem Zweck der Errichtung eines zentralen Informationsdienstes mit Verweisen auf verteilte Ressourcen, die bei verschiedenen Ressourcen-Providern gespeichert sein können (z. B. BIM-Server, Datenbanken oder Produktmodellserver).

Die semantischen Metadaten können außerdem von Softwareanwendungen verwendet werden, um durch den maschinenlesbaren Ressourcenkontext Informationen über deren Bedeutung und Verwendungsmöglichkeit zu erhalten.

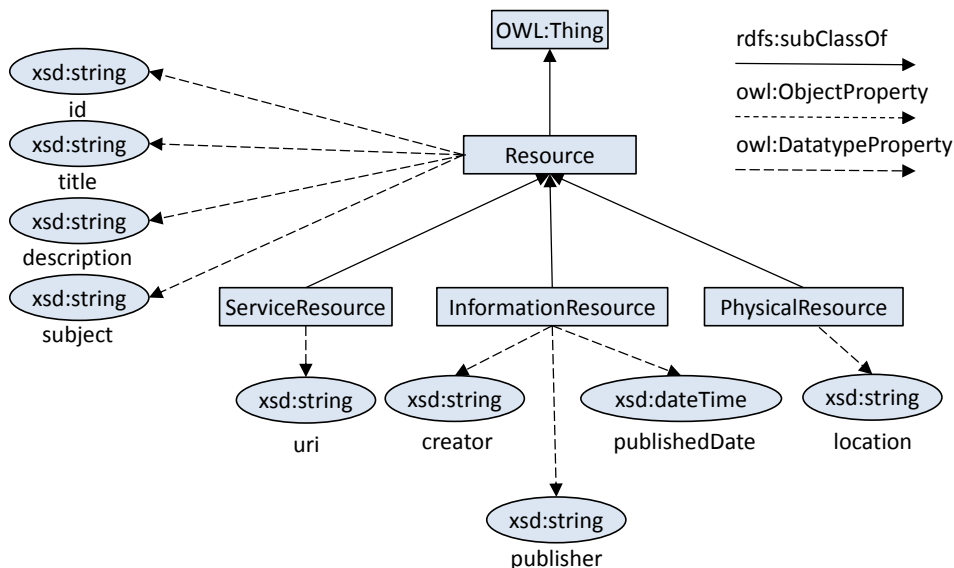


Abbildung 60: Ausgewählte Klassen der Ressourcen-Kernontologie

Insbesondere bei der Verwaltung verteilter digitaler Ressourcen ist die Notwendigkeit von Metadaten noch größer als bei lokalen Ressourcen, da die Objekte nicht zeitnah in Augenschein genommen werden können. Die Abbildung 60 zeigt die beschriebenen Kernkonzepte der ResourceCoreOntology.

Die *ContextCoreOntology* definiert grundlegende generische Konzepte, um Kontextinformationen strukturiert zu beschreiben und zu verwalten (vgl. Kapitel 3.2.1, S. 88). Obwohl durch die ständige Weiterentwicklung der Kontextmodelle in vielen Anwendungsgebieten¹⁷⁷ eine vollständige Formalisierung aller Kontextinformationen zu aufwendig ist, verwenden die unterschiedlichen Modelle oftmals gemeinsame Konzepte mit ähnlichen Eigenschaften. Diese lassen sich durch ein generisches Kontextmodell einheitlich abbilden. Das betrifft vor allem die allgemeinen Merkmale der grundlegenden kontextuellen Entitäten. Daher können diese in einem allgemeinen Kernmodell grundlegend dargestellt werden. Für die Modellierung generischer Kontextontologien existieren verschiedene Ansätze, von denen im Folgenden drei vorgestellt werden. GU ET AL. (Gu et al., 2004) präsentierten mit *CONON* (extensible CONTEXT Ontology) eine generische Kontextontologie für die Modellierung von Kontextinformationen in *Pervasive-Computing*-Umgebungen. In diesem Ansatz wird eine Reihe von abstrakten Entitäten beschrieben, die jeweils ein physikalisches oder konzeptuelles Objekt beschreiben (z. B. Person, Aktivität, Recheneinheit und Ort).

¹⁷⁷ Die verschiedenen Ansätze für die Modellierung von Kontextinformationen wurden in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt.

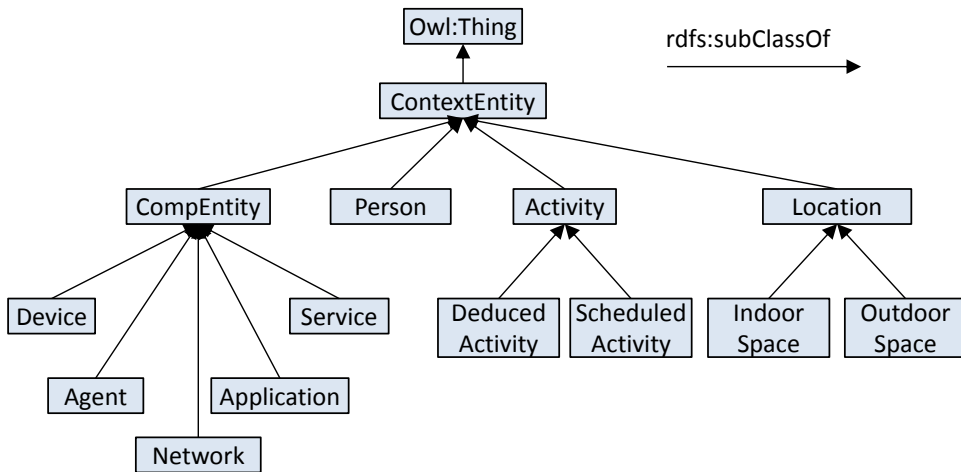


Abbildung 61: Basiskonzepte der CONON-Ontologie

Zusätzlich wurde eine Reihe von abstrakten Unterklassen modelliert, die meist grundlegende kontexttragende Elemente für die Erfassung von Informationen über eine Bearbeitungssituation darstellen. Diese kontextbezogenen *Upper-Level*-Entitäten bilden dabei nicht nur das Skelett des Kontextmodells, sondern dienen auch als Indizes, um zugehörige Informationen zu verknüpfen und spezifische Konzepte in unterschiedlichen Anwendungsdomänen hinzuzufügen. Die Abbildung 61 illustriert die verwendeten Entitätsklassen.

Mit dem Fokus auf der Verteilung und Anwendung von Kontextinformationen stellten Chen et al. (2004) eine brokerzentrierte Architektur vor, um Kontextinformationen zwischen unterschiedlichen Quellen, Systemen und Anwendungen auszutauschen. In diesem *CoBra*-Framework verwaltet ein *Context Broker* Kontextinformationen und stellt diese für ressourcenarme Geräte und Agenten bereit.

Der Ansatz basiert auf einem verteilten Kontextmodell, das von verschiedenen Agenten gemeinsam verwendet wird. Als Basis für dieses Konzept wird eine standardisierte Ontologie mit dem Namen *SOUPA* (Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications) entwickelt, die generelle anwendungsunabhängige Konzepte und ihre Beziehungen definiert (Chen et al. (2004b)). Zusätzlich wird ein Zugriffssystem eingeführt, das es den Nutzern ermöglicht, den Zugriff auf ihre persönlichen Daten zu kontrollieren. Abbildung 62 zeigt die Basiskonzepte dieser Ontologie.

Beide Ontologien lassen sich nicht problemlos in das entwickelte Framework integrieren. Insbesondere die Konzepte der *SOUPA*-Ontologie lassen sich sehr schlecht gegenüber anderen Konzepten abgrenzen. Hier ist die Struktur der *CONON*-Ontologie mit dem Basiskonzept der *KontextEntity* wesentlich flexibler verwendbar. Allerdings fehlt in beiden Ansätzen die Darstellung wesentlicher Kontextstrukturen, wie sie in Abschnitt 3.2.1 erarbeitet wurden. Aus diesem Grund wurde eine eigene Kernontologie entworfen, die sich zwar stark an der *CONON*-Ontologie ausrichtet, jedoch die Kontextstruktur feiner modelliert.

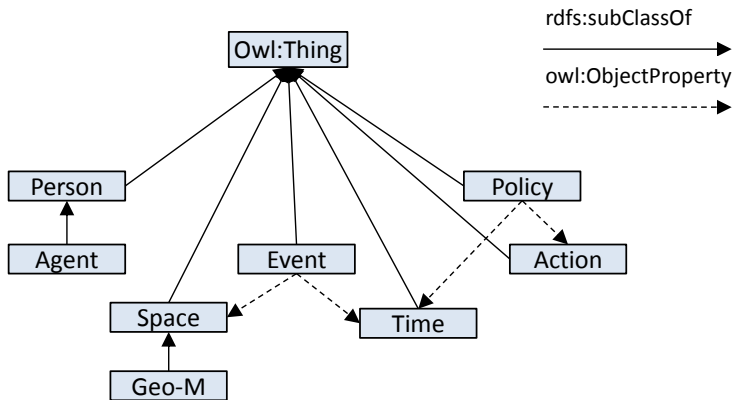


Abbildung 62: Basiskonzepte der SOUPA-Ontologie

Die wesentlichen Konzepte der entwickelten *ContextCoreOntology* werden in Abbildung 63 dargestellt.¹⁷⁸ Ein Gesamtkontext (OverallContext, Abbildung 63, links oben) besteht aus verschiedenen Kontextaspekten, die sich aus mehreren, ggf. zusammengesetzten Kontextattributen zusammensetzen. Kontextattribute besitzen Datentypen, Wertebereiche und Inhalte.

Integration vorhandener Kernontologien

Die Verwendung von Ober- und Kernontologien anderer Autoren erfordert immer Kompromisse. Aufgrund unterschiedlicher Problemstellungen und Herangehensweisen ist die Abstraktionsstufe oft nicht ideal oder es fehlen notwendige Konzepte. Eine Hauptanforderung an die Integrationsfähigkeit verschiedener Kernontologien ist es, dass sie eine genügende Abstraktion besitzen, um in verschiedenen Fachdomänen Anwendung zu finden, und sich dennoch möglichst in ihrem semantischen Abdeckungsbereich nicht überschneiden. Damit sie sich problemlos in ein Ontologie-Framework integrieren lassen, sollten sie auch jeweils einen abgegrenzten Namensraum verwenden.

Die vorgestellten Kernontologien stellen eine Sammlung von abstrakten Konzepten dar. Um Bearbeitungssituationen umfassend abzubilden, müssen diese Konzepte entsprechend verfeinert werden. Dies geschieht zum einen durch die Informationsraumontologie, die speziell multimodellbasierte Informationsräume als Spezialisierung der Ressourcen-Kernontologie abbildet, durch die Projektkontextontologie zur Abbildung von Bearbeitungssituationen und durch die Projektkollaborationsontologie, die wesentliche informationslogistische Konzepte der Kernontologien verknüpft und verfeinert. Diese drei Unterontologien werden im Folgenden vorgestellt.

¹⁷⁸ Der Aufbau dieser Ontologie entspricht im Wesentlichen den Kontextkonzepten, die in Abschnitt 3.2.2 beschrieben wurden.

4.1.3 Die generische Projektkollaborationsontologie

Die *generische Projektkollaborationsontologie* (PKO) dient dazu, Informationsprozesse in Kollaborationssituationen formal abzubilden.¹⁷⁹ Dafür werden einerseits die Konzepte der Kernontologien miteinander verknüpft und andererseits weitere spezifische Konzepte zur Beschreibung des Projektkontextes hinzugefügt. Dementsprechend besteht die PKO aus mehreren entitätsbasierten interdependenten Teilmodellen. Abbildung 64 veranschaulicht den Zusammenhang der wesentlichen Konzepte. Das zentrale verbindende Konzept, das alle Entitäten der projektweiten Informationsprozesse verknüpft, ist die Projektentität (*CollaborationProjectEntity*). Dem Projekt sind weitere Entitäten zugeordnet, wie eine Projektorganisation (*CollaborationOrganisationEntity*), (ggf. mehrere) Produkte (*CollaborationProductEntity*), (ggf. mehrere) Prozesse (*CollaborationProcessEntity*) und viele Informationsressourcen in Form von Informationsräumen (*CollaborationSpaceEntity*). Dabei werden die Entitätskonzepte von bestehenden Konzepten der Kernontologien abgeleitet und verfeinert.

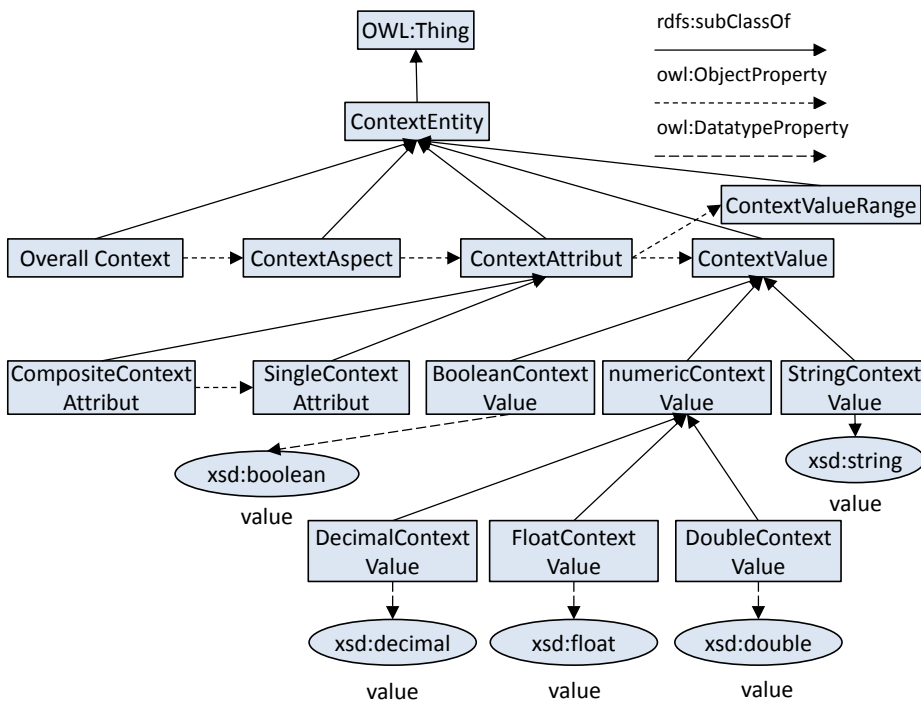


Abbildung 63: Basiskonzepte der Kontextkernontologie

¹⁷⁹ Für die Beschreibung von Kollaborationsprozessen sei an dieser Stelle auf Kapitel 2.2.1 verwiesen. Insbesondere in dem dort vorgestellten 3E-Kollaborationsmodell wird in abstrakter Form gezeigt, wie die beteiligten Entitäten (Akteur, Ressource und Prozess) miteinander interagieren.

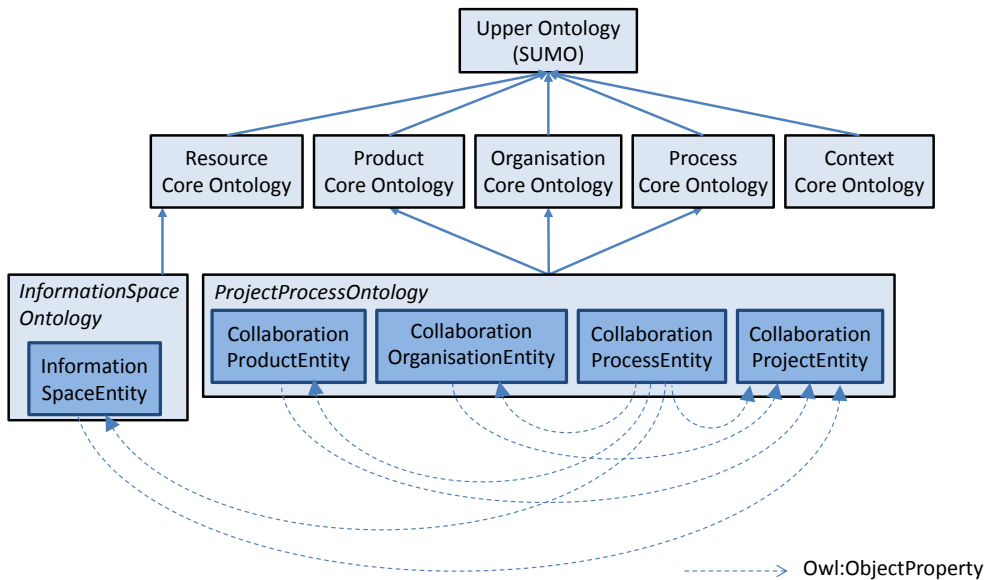


Abbildung 64: Konzepte der ProjectProcessOntologie und InformationSpaceOntology

Die *Projektentität* der PKO (*CollaborationProjectEntity*) hat typische Attribute, wie Starttermin, Laufzeit, Bezeichnung und Standort. Ein wesentliches Attribut des Projektes ist die *Projektphase* (*CollaborationProjectPhase*); die Phasen folgen einander und können Unterphasen besitzen.

Das *Produktkonzept* der PKO (*CollaborationProductEntity*) definiert auf einer abstrakten Ebene typische Projektprodukte. Dafür wird das Produktkonzept der darüberliegenden Kernontologien differenziert und verfeinert. Insbesondere wird die Grundlage dafür geschaffen, eine hierarchische Produktstruktur zu definieren, indem Strukturierungskonzepte (z. B. *isPartOf*, *isSubProduct*) eingeführt werden. Hier werden verschiedene Produktarten (*CollaborationProductType*) voneinander abgegrenzt und deren strukturgebende Elemente angegeben. Diese Informationen sind die Grundlage für die Definition der Qualitäten von Fachmodellen (z. B. Granularitäten und Ausschnitte), die dieses Produkt beschreiben.

Das *Organisationskonzept* der PKO (*CollaborationOrganisationEntity*) beschreibt die organisatorischen Aspekte eines Projektes. Hier werden Akteure und Organisationen durch Beziehungstypen und Rollenkonzepte miteinander verknüpft. Das Organisationskonzept ist die Basis der Zugriffssteuerung und der profilbasierten personenbezogenen Kontextinformationen (z. B. Kompetenzen). Insbesondere sollen den Organisationselementen der Bauprojektorganisation *Projektrollen* (*ProjectRole*) und *Nutzerrollen* (*AktorRole*) zugeordnet werden können.

Das Vorhandensein aller organisatorischen Informationen in einer Ontologie ermöglicht nicht nur die Einordnung der Informationen in einen größeren Zusammenhang, sondern erleichtert auch die Integration der Ressourcen und Prozesse. Das Organisationskonzept ist

eine Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Kollaborationsprozesskonzeptes, da für dieses die organisatorischen Aspekte eine wichtige Rolle spielen.

Das *Rollenkonzept* der PKO gliedert sich in Projektrollen und Organisationsrollen und besteht aus Berechtigungen für den Zugriff auf Informationsressourcen oder das Ausführen von Prozessen (Hilbert et al., 2012). Dieses Konzept ist die Basis für die Bestimmung verwendbarer Ressourcen und ausführbarer Prozesse einer Akteurinstanz. Da Rollen und Berechtigungen hierarchisch organisiert sein können, umfassen explizit zugewiesene Rollen (z. B. Architekt) unter Umständen auch implizite Rollen (z. B. Bearbeiter). Das Gleiche kann auch für Berechtigungen gelten. Beispielsweise kann aus der Schreibberechtigung für einen speziellen Modelltyp auch dessen Leseberechtigung abgeleitet werden, die möglicherweise eine Voraussetzung für das Ausführen eines Prozesses darstellt. Organisations- und Rollenkonzepte bilden insbesondere die Grundlage für die Definition von Ausführungsbedingungen der Prozesse.

Die *Kollaborationsprozess-Entität* der PKO (*CollaborationProcessEntity*) stellt das wesentliche verbindende Konzept der PKO dar, da es die betrachteten Kollaborationsprozesse beschreibt und mit den beteiligten Entitätskonzepten verknüpft. Die gewünschte intelligente Informationsversorgung erfordert neben der Erweiterung des Datenschemas eine explizite Modellierung kollaborativer Prozesse.¹⁸⁰ Der generische Kollaborationsprozess erweitert hauptsächlich das Informationsprozesskonzept der Prozesskernontologie für die Betrachtung von Informationsprozessen in Kollaborationssituationen und erweitert die deklarative Aufgabenbeschreibung des Standardmodells¹⁸¹ der *Workflow Management Coalition*. Die bei der Projektkollaboration beteiligten Entitäten sind über Relationen miteinander verknüpft. Teilnehmer- und Produktassoziationen werden dabei durch die Object-Properties *isProject-partner* zu Projektkonzepten oder *createProduct* zu Produktkonzepten repräsentiert. Typische Objektrelationen sind die Definition von Input- und Output-Informationen in Form von Konzepten der generischen Informationsraumontologie. Außerdem ist auch die Angabe von für die Prozessbearbeitung benötigten Rollen durch Organisationskonzepte vorgesehen.

Informationsraumontologie

In interdisziplinären Kollaborationssituationen werden eine Vielzahl heterogener Informationsressourcen ausgetauscht und bearbeitet. Als Besonderheit des vorgestellten Ansatzes ist zu nennen, dass als Geschäftsobjekte der Kollaborationsprozesse Informationsräume verwendet werden, wie sie in Abschnitt 3.1 beschrieben wurden. Um über den Inhalt und die Ausgestaltung von Informationsräumen automatisiert logische Schlüsse ziehen zu können, müssen deren Konzepte eingeführt und mit vorhandenen Ressourcenkonzepten verknüpft werden. Dies geschieht in der generischen Informationsraumontologie (InformationSpace-Ontology).

¹⁸⁰ Eine solche muss von einem menschlichen Experten während der Geschäftsprozessdefinition vorgenommen werden (Liao et al., 1999).

¹⁸¹ The Workflow Reference Model (Hollingsworth und Hampshire, 1993).

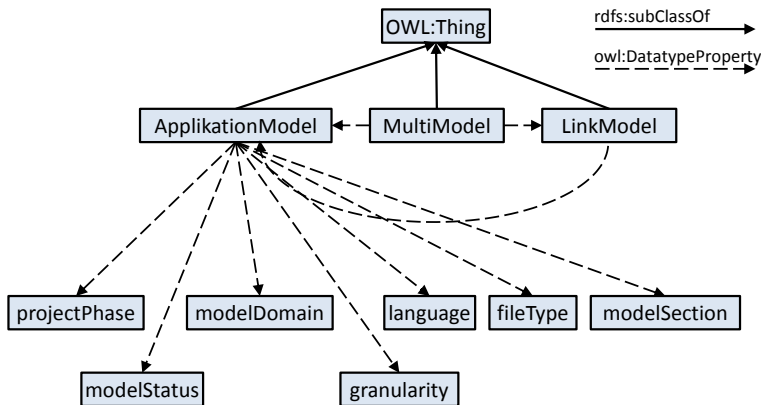


Abbildung 65: wesentliche Klassen der Informationsraumontologie

Diese Ontologie zielt darauf ab, allgemeine Informationsräume zu beschreiben, die im Rahmen der kollaborativen Informationsprozesse in einem beliebigen Projekt erzeugt und verwendet werden.

Dafür werden die allgemeinen Konzepte der ResourceCoreOntology verfeinert und durch vier zusätzliche elementare Informationsraumkonzepte für die Beschreibung von multimodellbasierten Informationsräumen (*multiModel*), den darin verknüpften Informationsressourcen (*applicationModel*), der Verknüpfungsstrukturen (*linkModel*) und zusätzlichen Informationen (*additionalInformation*) ergänzt (vgl. Abbildung 65). Für die Beschreibung der unterschiedlichen Struktur- und Formateigenschaften der Fachmodelle wurden weitere Attribute und Verknüpfungen zugefügt.

Die Bedeutungsinhalte der repräsentierten Konzepte lassen sich durch semantische Relationen, sog. *Datentype-Properties*, abbilden. So werden die Klassen *multiModel*, *applicationModel* und *linkModel* ähnlich dem in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Annotationssystem für Fach- und Linkmodelle näher charakterisiert.

Dabei sind die Attribute zur Beschreibung der Informationsressourcen an die Metadatenelemente des *Dublin Core Standards* angelehnt.¹⁸² Über *Object-Properties* werden die Verknüpfungen der Informationsressourcen beschrieben und es wird deren Komposition zu Informationsräumen ermöglicht. Die Kante *hasApplicationModel* verbindet dabei jeweils eine Multimodellinstanz mit mehreren Fachmodellen und die Kante *hasLinkModel* verknüpft das Multimodell mit (ggf. mehreren) Linkmodellinstanzen. Das Linkmodell selbst verbindet jeweils zwei Fachmodelle durch die Kanten *connectedTargetModel* und *connectedSourceModel*. Diese hierarchischen Relationen bilden die Konzepthierarchien ab.

¹⁸² Der Dublin-Core-Metadata-Satz ist ein standardisiertes Metadatenvokabular für die Erschließung von digitalen Ressourcen (Burnard et al., 1996). Unter Anhang A7 findet sich eine Auflistung der Elemente. Eine genauere Beschreibung mit weiterführenden Links findet man unter <http://dublincore.org/documents/2006/12/18/dces/>.

Für die Modellierung der in Abschnitt 3.1.3 identifizierten Abhängigkeiten der Attributinhalt heterogener Fachmodelle wurde das Konzept des Fachmodelltyps (*applicationModelType*) eingeführt. Auf diese Weise können modelltypische Attributsets modelliert werden. Zusätzlich werden über das Konzept des *basicElement* die strukturtragenden Konzepte der Fachmodelltypen externalisiert. Diese bilden sowohl Grundlage der Verknüpfungsbeschreibung des Linkmodells als auch der Definition von Adaptions- und Filtermöglichkeiten. Den Abschluss der Informationsraumbeschreibung bildet die Angabe der beteiligten Softwareanwendungen (*application*) mit der Zuordnung der jeweiligen les- und schreibbaren Fachmodelltypen.

Projektkontextontologie

Für die kontextbewusste Unterstützung der Informationslogistik ist eine Formalisierung der Interaktionen zwischen der Informationslogistik und den Kontextinformationen im Projekt nötig.

Diese Formalisierung muss sowohl die Kontextinformationen selbst als auch Adaptionsregeln und Einschränkungen interagierender Kontextaspekte maschineninterpretierbar abbilden.

Eine solche explizit definierte *Projektkontextontologie* dient damit der Verbesserung der semantischen Interoperabilität durch die Erzeugung eines gemeinsamen Verständnisses von Kontextinformationen zwischen Akteuren, Anwendungen und Services. Zusätzlich erlaubt sie die formale Analyse von Kontextinformationen und logisches Kontext-Reasoning. Im Folgenden wird ein Modell für eine *Projektkontextontologie* vorgestellt, dessen verschiedene Aspekte aus den Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung aus Abschnitt 2.2.4 deduziert wurden und das allgemeines Kontextwissen über die Situation bei der Bearbeitung kollaborativer Informationsprozesse darstellt. Abbildung 66 stellt die wesentlichen Konzepte der Ontologie und ihre Interaktion mit der InformationSpaceOntology und der ProjectProcessOntology dar. Die einzelnen aufgeführten Kontexte repräsentieren in ihrer Gesamtheit den globalen Kontext der zu unterstützenden Projektaufgabe. Dabei besteht das allgemeine Kontextwissen über die Bearbeitungssituation aus verschiedenen lokalen Kontexten, die jeweils die erforderliche Information über die Umwelt der betrachteten Entitätsinstanz abbilden.

Um eine große Vielfalt von Kontextinformationen und Kontextquellen wiederzugeben, müssen möglichst umfassend Kontextinformationstypen, Kontextattribute und Kontextaspekte modelliert werden. Die spezifischen Konzepte der Projektkontext-Ontologie werden abgeleitet von der übergeordneten *ContextCoreOntology*, die grundlegende Kontextkonzepte definiert. Um typische Kollaborationskontexte abzubilden, verfeinert das Konzept *CollaborationContextEntity* die Konzepte der *ContextCoreOntology*. Die einzelnen Kontextattribute werden durch Aspekte strukturiert und können in ihrer Gesamtheit Entstehungs- und potentielle Nutzungskontexte darstellen (vgl. Kapitel 3.2.4, S. 108). Dafür werden eine Reihe von Eigenschaften und Beziehungen vorgesehen, die für die Informationsversorgung bei Informationsprozessen relevant sind.

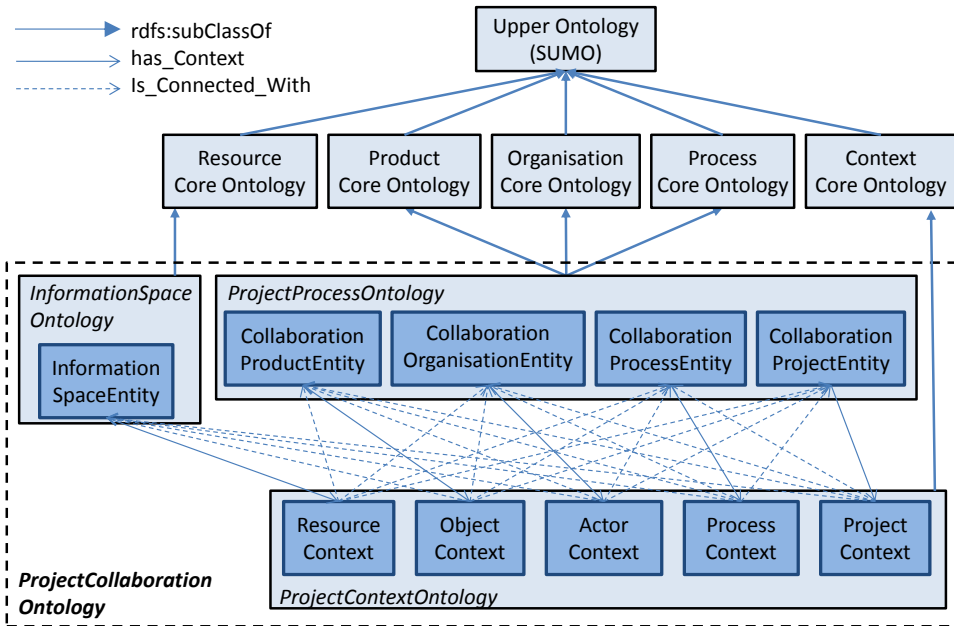


Abbildung 66: wesentliche Kontextaspekte der ProjectCollaborationOntology

Die verschiedenen Kontextaspekte besitzen Verbindungen zu den entsprechenden Entitäten, die über *owl:ObjectProperty*-Relationen verknüpft werden. Darüber hinaus existieren noch weitere spezifizierende Eigenschaften, die über *owl:DatatypeProperty*-Relationen abgebildet werden¹⁸³. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die verschiedenen Attribute der Kontextaspekte.

Tabelle 19: Attribute des Ressourcenkontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Ressourcenname (ID)	xsd:string
hasProject	Zugeordnetes Projekt	ProjectEntity
hasStatus	Zustand	xsd:string
hasInspectionStatus	Prüfstatus	xsd:string
hasResourceType	Entspricht Template	xsd:string
hasDescription	Beschreibung, Intention	xsd:string
hasProductionContext	Erzeugungssituation (Prozess, Akteur, Rolle, Projektphase, Datum)	ContextEntity
hasSituationContext	Bearbeitungssituation (Prozess, Akteur, Rolle, Projektphase, Datum)	ContextEntity
hasInspectionContext	Prüfsituation (Prozess, Akteur, Rolle, Projektphase, Datum)	ContextEntity

¹⁸³ Diese sind aus Platzgründen in der Abbildung nicht dargestellt.

Tabelle 20: Attribute des Produktkontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Produktname (ID)	xsd:string
hasStatus	Produktzustand	xsd:string
hasProject	Zugeordnetes Projekt	ProjectEntity
hasProductType	Produkttyp	xsd:string
hasPhysicalLocation	Physischer Aufenthaltsort des Produktes	xsd:string
hasProcess	Zugeordnete Prozesse	ProcessEntity
hasResource	Zugeordnete Ressourcen	ResourceEntity

Tabelle 21: Attribute des Akteurkontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Anwendername (ID)	xsd:string
hasStatus	Anwenderzustand	xsd:string
hasProject	Projekt	projectEntity
hasPhysicalLocation	Physischer Aufenthaltsort des Anwenders	xsd:string
hasLogicalLocation	Logischer Aufenthaltsort des Anwenders (interne/externe Domäne)	xsd:string
hasActorRole	Zugeordnete Rollen	RoleEntity
hasApplication	Vorhandene Fachanwendungen	ApplicationEntity
hasCompetences	Kompetenzen (werden aus Erfahrungen und Beruf berechnet)	CompetenceEntity
hasExperiences	Erfahrungen	ExperienceEntity
hasProfession	Ausbildung des Benutzers	ProfessionEntity
hasAssignedProcess	Zugeordnete Prozesse/Arbeitsaufgaben	ProcessEntity

Tabelle 22: Attribute des Prozesskontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Prozessname (ID)	xsd:string
hasStatus	Zustand (Bearbeitungsstand)	xsd:string
hasProject	Zugeordnetes Projekt	ProjectEntity
assignedActor	Zugeordneter Bearbeiter	xsd:string
requiresExecuteRole	Erforderliche Bearbeitungsrolle	xsd:string
requiresCheckRole	Erforderliche Prüffrolle	xsd:string
hasInputResource	Input-Template	xsd:string
hasOutputResource	Output-Template	xsd:string
necessaryExecuteContext	Notwendiger Projektkontext	xsd:string

Tabelle 23: Attribute des Projektkontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Projektname (ID)	xsd:string
hasStatus	Projektzustand (Gültigkeit)	xsd:string
hasPhase	Projektphase	xsd:string
hasLocation	Projektstandort	xsd:string
hasStartDate	Projektstart (Datum)	xsd:dateTime
hasDuration	Projektlaufzeit	xsd:duration
hasVocabular	Projektvokabular (URI)	xsd:anyURI
hasRepository	Projektkollaborationsplattform (URI) → Vorlagen; Informationsressourcen	xsd:anyURI

Tabelle 24: Attribute des Organisationskontextes

Relation	Beschreibung	Ziel
hasName	Name (ID)	xsd:string
hasStatus	Zustand	xsd:string
hasProject	Zugeordnetes Projekt	ProjectEntity
hasPhysicalLocation	Physischer Aufenthaltsort	xsd:string
hasLogicalLocation	Logischer Aufenthaltsort	xsd:string
hasOrganisationRole	Zugeordnete Organisationsrollen	OrganisationRole

Um eine klare Schnittstelle für eine effiziente Kontextverarbeitung zu bieten, muss bei der Definition der Kontextattribute auf eine schlüssige Konzeption der Granularitäten geachtet werden (vgl. hierzu Engelbach und Delp, 2003). Dies ist in dieser generischen Ebene ohne eingrenzende Problemstellung relativ schwer. Oft zeigen sich erst bei der spezifischen Verwendung in den Anwendungsdomänen die gemeinsamen sinnvollen Attribute. Daher ist es sinnvoll, auch einen solch generischen Ansatz aus der spezifischen Verwendung heraus iterativ zu verbessern. Die PKO bildet eine Systematik für eine allgemeine Beschreibung der Projektkollaboration, ohne sich auf ein spezielles Anwendungsgebiet zu beschränken. Die Beschreibung der Informationsräume und Fachmodelle geschieht domäneninvariant, weshalb eine universelle Verwendung der Ontologie auch außerhalb des fokussierten AEC-Sektors möglich ist.

4.1.4 Eine bauspezifische Ausprägung

Für die Unterstützung fachspezifischer Aufgabenstellungen werden typischerweise hoch spezifische Konzepte benötigt, deren fachliche Semantik die PKO aufgrund ihrer hohen Allgemeingültigkeit nicht abbilden kann. Deshalb müssen für den Anwendungsfall die generischen Konzepte der PKO entsprechend der Anwendungsdomäne verfeinert werden. Durch eine Domänenontologie werden fachspezifische Ausprägungen der PKO-Konzepte bereitgestellt, die Prozesse, Produkte, Organisationsstrukturen, Informationstypen und Informationsinhalte für spezielle Aufgabenstellungen definieren.

In der Vergangenheit wurden in einigen Bereichen Anstrengungen unternommen, um aufgabenunabhängige wiederverwendbare Domänenontologien zu entwickeln, so z. B. für den Bereich der Chemie und der Materialwissenschaften (Liao et al., 1999). Im Bauwesen gibt es ähnliche Ansätze. So erforschte Schreyer (2002) Datenmodelle für Baustoffinformationen und beschrieb eine Ontologie zur Beschreibung betontechnologischer Informationsressourcen. Ismail (2011) untersuchte ontologiebasierte Methoden zur Verbesserung des Wissensretrievals in Bauunternehmen. Das Forschungsprojekt *ONTOBau* entwickelte Ansätze für die ontologiebasierte Prozessunterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen, die vorhandenes fachspezifisches Wissen formalisieren, archivieren und für neue Prozesse automatisch einsetzen (Schwinn et al., 2011). Weitere spezifische Ontologien wurden für die semantische Anreicherung von Baudokumenten (Leukel et al., 2011) und die simulationsunterstützte Systemidentifikation im geotechnischen Ingenieurbau (Faschingbauer, 2011) entwickelt.

Die aufgezählten Ontologieansätze wurden dabei aufgabenfokussiert entwickelt und berücksichtigen keine explizite Kontextmodellierung oder Datensammlungen in Form von Informationsräumen.

Da die PKO anhand einer Spezialisierung für interdisziplinäre Bauinformationsprozesse evaluiert werden soll, ist es notwendig, eine Beschreibung spezifischer Bearbeitungssituationen in eben dieser Domäne bereitzustellen. Dafür wurde eine bauspezifische Ausprägung der PKO abgeleitet, die typische Konzepte und Beziehungen beschreibt. Diese bauspezifische Ontologie (*ConstructionCollaborationOntology*) spezifiziert die in den Ebenen der Ober- und Kernontologien sowie in der PKO grundlegend definierten Konzepte. Dabei werden insbesondere bautypische Projektphasen, Projektprodukte, Informationsressourcen und Organisationskonstellationen abgebildet. Bei der Verwendung müssen nicht nur diese Konzeptausprägungen, sondern auch deren semantische Beschreibung projektweit einheitlich vereinbart werden. Das in dieser Arbeit verwendete Annotationsvokabular sowie die wesentlichen Konzepte und deren bauspezifische Ausprägung werden im Folgenden vorgestellt.

Das Annotationsvokabular

Bei der domänenübergreifenden Verwendung von Informationsräumen müssen domänenspezifische Informationen in Form von Metadaten beigefügt werden (vgl. Abschnitt 2.2.1, S. 11). Um deren Inhalt und Bedeutung projektweit festzulegen, kommen kontrollierte Vokabulare zum Einsatz (vgl. Abschnitt 3.1.2, S. 16). Die Struktur der beschreibenden Vokabulare muss sich an der Struktur der beschriebenen Konzepte orientieren. So haben z. B. Phasen Unterphasen, Überphasen, Folgephasen und Vorgängerphasen. Modelldomänen sind in Sub- und Superdomänen gegliedert, während Bearbeitungsstatus und Granularitäten einfach hierarchisch gegliedert sind (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 29). Das Konzept der Projektentität mit den wesentlichen Attributen und Relationen wurde bereits beschrieben. Für die Verwendung dieses Konzeptes für die Baudomäne müssen die bautypischen Projektphasen und Modellierungsdomänen dargestellt werden. Diese wurden bereits in (Hilbert et al., 2012) herausgearbeitet und sind in Abbildung 67 dargestellt. Die Projektprodukte von Projekten der Bauindustrie sind im Allgemeinen Bauwerke.

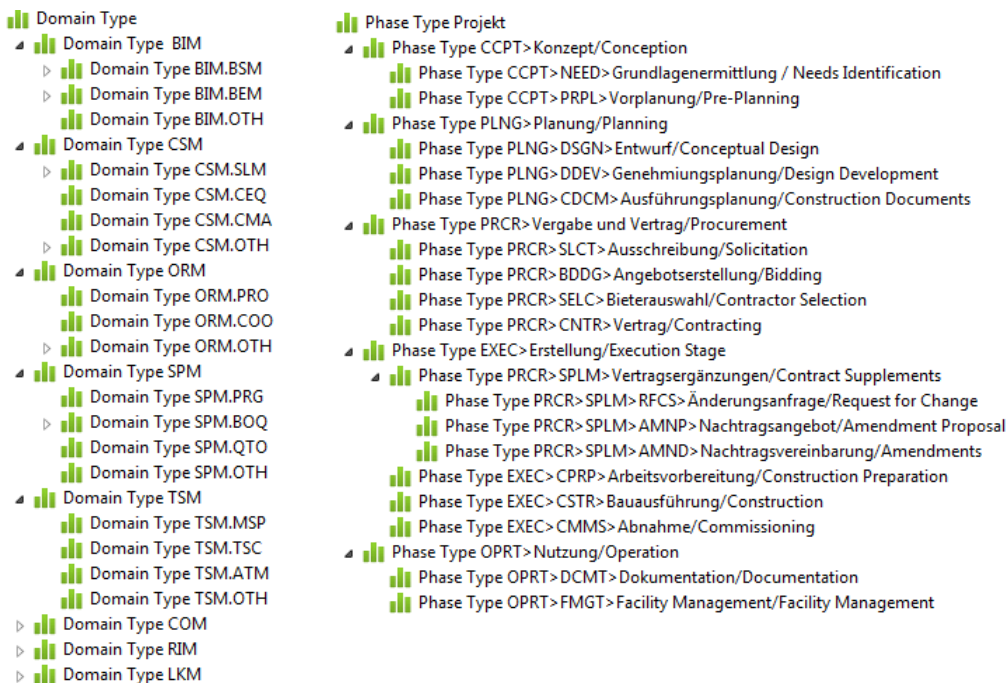


Abbildung 67: Bautypische Projektphasen und Modellierungsdomänen

Diese lassen sich anhand verschiedener Eigenschaften in unterschiedliche Produktarten (*ProductType*) einordnen (z. B. Gebäude, Brücken, Straßen).

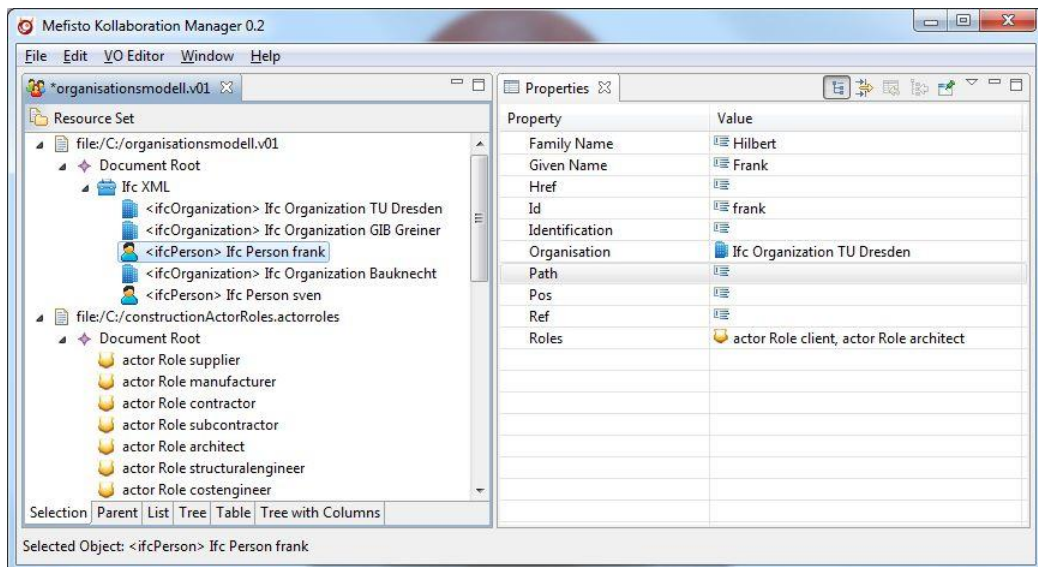


Abbildung 68: Zuordnung typischer Nutzerrollen

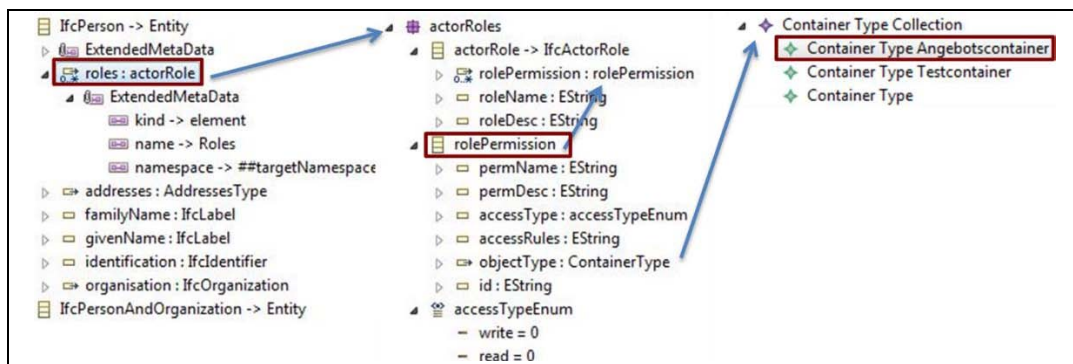


Abbildung 69: Fachmodelltypbasierte Berechtigungen über Rollendefinitionen

Insbesondere anhand der bauwerkstypischen Strukturierungsmöglichkeiten unterscheiden sich die Produktarten (z. B. hat eine Straße keine Räume oder eine Brücke kein Dachgeschoss). Tabelle 25 zeigt bauspezifische Produkttypen und deren wesentliche Strukturierungselemente. Das Konzept der Projektorganisation wird bauspezifisch als Bauprojektorganisation verfeinert, um typische Organisationskonstellationen (vgl. Kapitel 2.1.1, S. 11) abzubilden. Insbesondere die Definition von bauspezifischen Projektrollen (*ProjectRole*) und den Nutzerrollen (*ActorRole*) sorgt für eine Abbildbarkeit der komplexen Beziehungen in Bauprojekten (z. B. Lieferbeziehungen, Unterauftragnehmer). Ein einheitliches Annotationsvokabular bildet die Basis für die Beschreibung der Informationsobjekte im Bauwesen sowie der Definition von Rollen und Berechtigungen. Typische Nutzerrollen zeigt Abbildung 68 (unten links). Insbesondere das Durchsetzen von Zugriffsregeln über Lese- und Schreibberechtigungen kann relativ einfach über berechtigungsbasierte Rollen erfolgen. Abbildung 69 skizziert die Vorgehensweise.¹⁸⁴ Für die Beschreibung von Bauinformationsprozessen wird das Projektprozesskonzept (*ProjectProcessEntity*) verfeinert. Dafür wird eine Beschreibung von Kollaborationsprozessen verwendet, um die Erstellung und den Austausch der Multimodelle prinzipiell darzustellen¹⁸⁵. Dabei werden die ausgetauschten Multimodelle als Geschäftsobjekt angesehen, das die Eingangsinformationen oder Ergebnisse einzelner Aufgaben zusammenfasst.

Tabelle 25: Strukturierungselemente verschiedener Produkttypen

Produkttypen	Strukturierungselemente
Hochbau	Geschosse, Räume, Wände,
Brücken	Brückenabschnitt
Straßen	Fahrbahnabschnitt
Sonstige Bauwerke	Bauwerkstypische Elemente

¹⁸⁴ Vertiefende Informationen zu bauspezifischen Rollen finden sich in (Scherer, 2014, S. A5).

¹⁸⁵ Im Rahmen dieser Arbeit wird die Modellierung von Referenzprozessen oder die Konfiguration von Prozessinstanzen nicht eingehender betrachtet. Es wird lediglich der Einfluss von Prozessen als Kontextentität auf den Einsatz von Informationsräumen im Bauprojekt betrachtet. Vertiefende Arbeiten zum Themengebiet der Referenzmodellierung finden sich unter (Scherer, 2014, S. B-02/B-03).

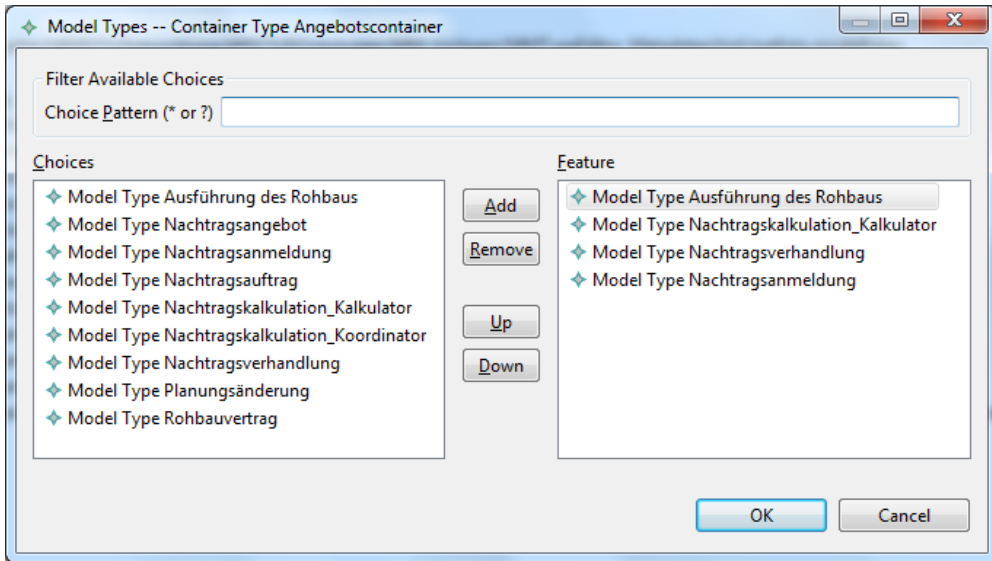


Abbildung 70: Beschreibung einer Multimodellvorlage durch Fachmodelltypen

Diese Multimodelle werden mit Hilfe formaler Multimodellvorlagen beschrieben. Zusätzlich werden die zur Ausführung notwendigen Nutzerrollen angegeben. In Abschnitt 3.1 wurden bereits bautypische Vorlagen für die Kollaborationsunterstützung in Bauprojekten zusammengestellt. Insbesondere illustriert dort die Abbildung 35 die Basisprozesse in der AVA-Phase und die Tabellen 9, 10 und 11 ordnen die zugehörigen Multimodellvorlagen zu. Für eine spezifische Situation wird der entsprechende Referenzprozess instanziiert und die notwendigen Multimodelle werden aus den Multimodellvorlagen erzeugt.

Eines der betrachteten Beispielszenarios beschreibt die Detaillierung der Baustelleneinrichtung im Rahmen der Angebotserstellung (Referenzprozess RP302, vgl. Tabelle 8). Ein zugehöriger Referenzprozess beschreibt die Aufgabe und gibt die bearbeitende Rolle und verwendbare Fachanwendungen sowie eingehende und ausgehende Multimodelle (als Multimodellvorlagen) an.

Für die Beschreibung bauspezifischer Informationsräume werden die Konzepte der Informationsraumontologie verfeinert. Hier werden bauspezifische Fachmodelldomänen (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16) mit ihren spezifischen Fachmodelltypen, Modellformaten, Granularitäten und strukturtragenden Elementen (vgl. Tabelle 2: Fachmodelle und Dateiformate) modelliert. Durch diese bauspezifischen Fachmodelltypen und deren Attributsets lassen sich sowohl Struktur- und Formateigenschaften als auch Informationsinhalte und Verknüpfungen der verschiedenen Fachmodelle angeben, und es wird deren Komposition zu Informationsräumen ermöglicht. Insbesondere die Angabe der strukturtragenden Konzepte (*basicElement*) der Fachmodelltypen ermöglicht die Beschreibung von modelltypischen Ausschnitten und Granularitäten (z. B. 1. Etage, 3. Bauabschnitt; vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16). Abbildung 70 zeigt die Definition einer bauspezifischen Informationsraumvorlage durch Angabe der enthaltenen Fachmodelltypen.

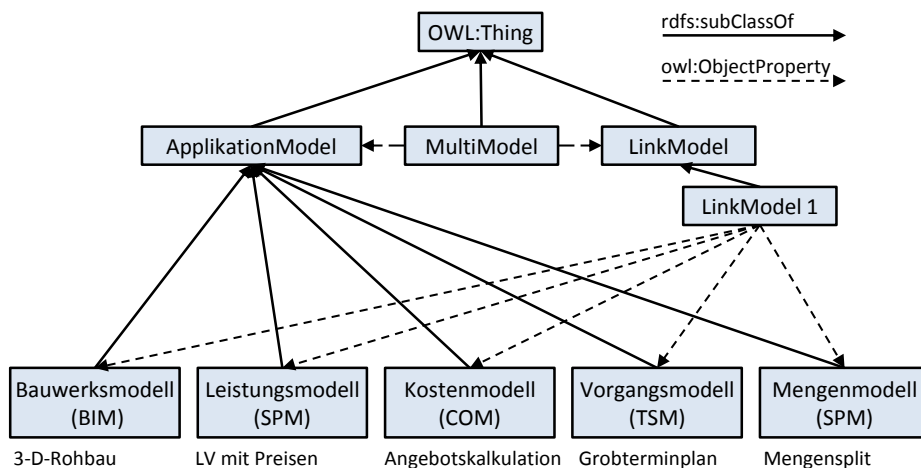


Abbildung 71: Ontologie-Ausprägung eines Multimodells zur Angebotserstellung

Abschließend wird die Beschreibung bauspezifischer Informationsräume anhand eines konkreten Multimodells demonstriert. Durch die Konzepte der bauspezifischen Informationsraumontologie und deren Instanzen wird ein Multimodell für die Angebotserstellung für einen Rohbau mit Verknüpfungen der beteiligten Fachmodelle definiert. Wie bereits beschrieben, ist für ein automatisches Schließen über die Attributwerte der Informationsräume eine ontologische Abbildung der Informationsräume notwendig. Die Abbildung 71 stellt das Multimodell zur Angebotsabgabe (MM-ANG) entsprechend der Vorlage aus Tabelle 10 als Ontologie-Instanz der Informationsraumontologie dar.

4.1.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Einblick in die Verwendung von Ontologien zur Abbildung kollaborativer Informationsprozesse vermittelt. Durch die Verwendung einer standardisierten Sprache bieten Ontologien eine maschinenlesbare und -interpretierbare Formalisierung bestehender Konzepte und kontrollierter Vokabulare und können damit die Kommunikation und die Interoperabilität zwischen Akteuren, Organisationen, Prozessen und Systemen gezielt unterstützen. Insbesondere in heterogenen Systemen können Ontologien Mediatorfunktionen erfüllen und den Austausch sowie die Wiederverwendung von Informationsräumen fördern. Für diesen Zweck wurde ein Konzept eines Ontologie-Frameworks vorgestellt, das eine kontextbewusste Projektkollaboration ermöglichen soll. Dieses Framework besteht aus verschiedenen Teilontologien, die schrittweise unter Beachtung bereits bestehender Ontologien erarbeitet wurden. Für die Abbildung kollaborativer Informationsprozesse wurde eine generische Projektkollaborationsontologie vorgeschlagen, die beteiligte Entitäten und ihre Verknüpfungen darstellt. Insbesondere die Abbildung von verschiedenen Organisationsstrukturen, Kollaborationsbeziehungen und Projektrollen spielt hier eine wesentliche Rolle. Zusätzlich wurden die verschiedenen entitätsbasierten Kontextaspekte modelliert, die in Kapitel 3.2 erarbeitet wurden. Für die Beschreibung von Informationsräumen wurde eine generische Informationsraumontologie vorgestellt, die Abhängigkeiten der verschiedenen

Fachmodellkombinationen in einem Informationsraum abbildet. Diese ontologiebasierte Beschreibung der Informationsräume begünstigt zusätzlich regelbasierte Ansätze der Informationslogistik und bietet darüber hinaus die Grundlage für die Integration und Überprüfung verteilter Modellinhalte. Eine präzise Beschreibung von Informationsräumen auf der Grundlage eines projektweit verwendeten Annotationsvokabulars dient dabei nicht nur dem Zweck der Errichtung eines zentralen Informationsdienstes für die Verwaltung verteilter digitaler Informationsressourcen. Vielmehr sollen die semantischen Metadaten der annotierten Informationsräume es Anwendungen erlauben, Inhalte, Strukturen und Intentionen zu erfassen, um dadurch die richtige Verwendungsmöglichkeit des Informationsraumes auszuwählen. Eine solche Ontologie kann sowohl für die Unterstützung der Informationsraumannotation durch die Auswahl der fachmodellspezifischen Metadatenvokabulare als auch für die Auswahl von zulässigen Adaptionsmethoden durch die Beschreibung der modellspezifischen Möglichkeiten der Filterung und Ausschnittbildung verwendet werden. Diese Unterstützung ist eine wesentliche Grundlage für eine proaktive Informationsversorgung durch kontextsensitive Informationsräume. Für die Verwendung der vorgeschlagenen generischen Ontologien wurden abschließend bauspezifische Ausprägungen diskutiert. Diese bilden domänenspezifische Konzepte ab und definieren typische Bauinformationsprozesse, Projektphasen, Projektrollen, Informationsressourcen und Informationsräume. Eine solche spezifische Bauprojektontologie bildet die Basis für logikbasierte Adaptionsentscheidungen einer kontextgerechten Informationslogistik. Diese wird konzeptionell im übernächsten Abschnitt vorgestellt. Trotz der baudomänenspezifischen Anwendungsszenarios ist das Ontologie-Framework an sich domänenneutral und kann auch in anderen Bereichen angewendet werden. So z. B. für die Informationsversorgung der Entwicklungsabteilung im Maschinenbau.

4.2 Formalisierung von Kontextwirkrelationen

Überblick

In dem vorgestellten Lösungsansatz einer kontextgerechten Informationsversorgung soll der kontextabhängige Informationsbedarf durch adaptive Informationsräume auf der Basis von Multimodellvorlagen dargestellt werden. Eine zentrale Herausforderung stellt dabei die Abbildung des Kontexteinflusses auf den Informationsbedarf dar. Insbesondere müssen die Auswirkungen der Kontextaspekte auf die einzelnen Informationsraumelemente geeignet formalisiert werden. Für die Beschreibung der Kontextabhängigkeiten wurden in Abschnitt 3.3.5 bereits Kontextwirkrelationen betrachtet. Im Folgenden wird eine Formalisierungsmethode für Kontextwirkrelationen vorgestellt, die eine Definition adaptiver Informationsräume durch semantisch annotierte Multimodellvorlagen ermöglicht. Über eine Regelsprache werden Attribute des Kontextmodells mit Elementen der Informationsraumbeschreibung verknüpft. Dabei werden in der Regelprämisse informationslogistische Kontextaspekte ausgewertet und in der Regelkonsequenz entsprechende Vorlagenattributwerte zugewiesen.

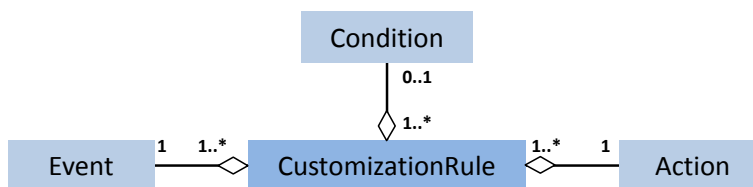


Abbildung 72: Event-Condition-Action-Paradigma

4.2.1 Die Regelsprache ContextScript

Für die Beschreibung von spezifischem reaktivem Anwendungsverhalten eignet sich das *Event-Condition-Action*-(*ECA*-)Paradigma. In *ECA*-Regeln können Situationen durch Ereignisse (*Event*) und Bedingungen (*Condition*) repräsentiert werden, auf die eine durch Aktionen spezifizierte Reaktion (*Action*) folgt (Finkelstein et al., 2002). Abbildung 72 illustriert diesen Zusammenhang. Zusätzlich zu dieser Standardkonstellation lassen sich bei der Betrachtung von *ECA*-Regeln zwei weitere Untertypen identifizieren (Schlesinger, 2000). Während *Event-Action*-(*EA*-)Regeln sich aus der Beschreibung eines regelauslösenden Ereignisses und der daraufhin zu verarbeitenden Aktionskomponente zusammensetzen, bestehen *Condition-Action*-(*CA*-)Regeln lediglich aus einer Bedingungs- und einer Aktionskomponente. Wenn zum Auswertungszeitpunkt die angegebene Bedingung erfüllt ist, wird die spezifizierte Aktion ausgeführt. Da der Zeitpunkt der Auswertung einer Kontextregel durch die Bearbeitungssituation vorgegeben wird (z. B. durch ein *Event*) und nur die Bedingungen kontextabhängig sind, eignen sich *CA*-Regeln zur Darstellung von Kontextwirkrelationen. Symbolisch lässt sich eine *CA*-Regel wie folgt darstellen:

$$\{C_1, C_2, \dots, C_n\} \rightarrow A \quad (1)$$

Zur Formalisierung der Kontextwirkrelationen ist nun eine Regelsprache nötig, die ein Mapping zwischen einwirkenden Kontextfaktoren und betroffenen Informationsraumattributen über *CA*-Regeln abbildet. Dafür wurde im Rahmen dieser Arbeit die Regelsprache *ContextScript* entwickelt, die nachfolgend vorgestellt wird.

Die Sprachbasis von ContextScript

ContextScript ist eine deklarative Regelsprache, die auf *CA*-Regeln basiert und eine textuelle Syntax besitzt. Die grundlegenden syntaktischen Elemente sind *atomare Konzepte* (unäre Prädikate), *atomare Rollen* (binäre Prädikate) und Individuen (Konstanten)¹⁸⁶. Die beschriebenen Sprachkonzepte werden im Folgenden zur besseren Lesbarkeit als (Railroad-)Syntaxdiagramme¹⁸⁷ dargestellt. Jede *ContextScript*-Regel besteht aus einer Regelprämisse (Kondition), die (ggf. mehrere) Bedingungen für die Regel beschreibt, sowie einer Regelkonsequenz (Konklusion), die eine Wirkung der Regel angibt.

¹⁸⁶ Eine formale Beschreibung der vollständigen Syntax in EBNF-Notation wird in Anhang A4 dargestellt.

¹⁸⁷ Railroaddiagramme sind grafische Alternativen zur Darstellung kontextfreier Grammatiken, die textlich in Backus-Naur Form oder EBNF definiert werden.



Abbildung 73: Struktur einer ContextScript-Regel

Lässt sich die Regelprämisse durch ein Regelsystem als wahr auswerten, so wird die als Regelkonsequenz festgelegte Anweisung durchgeführt. Abbildung 73 illustriert die beschriebene Struktur einer *ContextScript*-Regel.

Mit einer *ContextScript*-Regel lassen sich grundlegende Zweifachverzweigungen der Form $p(c) = v$ sowie $p(!c) = w$ abbilden, die besagen, dass die Eigenschaft p in einem definierten Kontext c den Wert v besitzt und außerhalb des Kontextes den Wert w . Eine *ContextScript*-Regel gilt nur für einen bestimmten Informationsraumparameter und wird an der betreffenden Stelle der Multimodellvorlage annotiert. Somit ist eine Angabe des Zielparameters unnötig. Bei der Auswertung wird die Regel selbst durch die ermittelte Regelkonsequenz ersetzt (siehe Abschnitt 4.2.2). Die Regelprämisse einer *ContextScript*-Regel besteht aus dem Konditionsblock (*ContextCondition*), der die Kontextbedingungen beschreibt. Damit sich *ContextScript* für ein möglichst breites Anwendungsspektrum eignet, wird bei der Bedingungsformulierung die Verknüpfung mehrerer Kontextbedingungen, insbesondere Existenzprüfungen und Inhaltsvergleiche, unterstützt. Als Faktoren finden dabei sowohl Kontextattribute als auch Modellattribute (der aktuellen Informationsraumvorlage) Verwendung. Somit lassen sich interne und externe Kontextabhängigkeiten formulieren (vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 125). Abbildung 74 gibt die Struktur der Regelprämisse (*ContextCondition*) wieder. Die Verwendung und die Kombination der einzelnen Sprachelemente der Regelprämisse für die Beschreibung einer Regelbedingung werden im Folgenden erläutert.

- Mit den Schlüsselwörtern *or* oder *and* können beliebig viele Kontextbedingungen kombiniert werden. Mehrere Bedingungen innerhalb einer *ContextScript*-Regel werden von rechts nach links ausgewertet und die ermittelten Wahrheitswerte werden entsprechend logisch verkettet.
- Über die zweistelligen Relationsoperatoren *less* und *greater* können entsprechende Wertvergleiche abgebildet werden¹⁸⁸. Als Argumente können sowohl Konstanten (*attributeValue*) als auch Variablen (*ValueOf*) angegeben werden. Weitere Relationsoperationen können durch das Voranstellen des Präfixes *not* dargestellt werden. So z. B. *not less* (\geq) oder *not greater* (\leq).

¹⁸⁸ Hierbei muss beachtet werden, dass auch eine Wertigkeitsrelation für die verwendeten Argumenttypen bekannt sein muss.

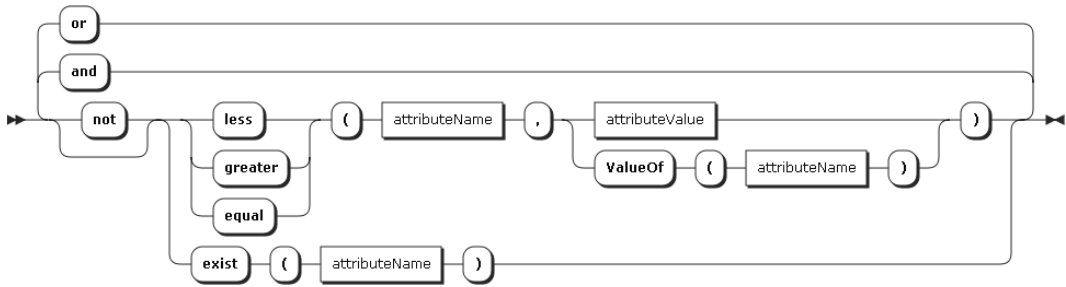


Abbildung 74: Struktur der Regelprämisse

- Mit dem Präfix *not* kann der Wahrheitswert eines Konditionsblocks negiert werden.
- Der einstellige Existenzoperator *exist* ermöglicht die Prüfung der Existenz des Attributes mit dem angegebenen Attributnamen.
- Der zweistellige Gleichheitsoperator *equal* überprüft die Werte zweier Argumente auf Gleichheit. Die Vergleichsoperation basiert dabei auf einem Stringvergleich. Der Ungleichheitsoperator (\neq) kann durch Voranstellen des Präfixes *not* dargestellt werden (*not equal*).

Die kontextabhängigen Ausprägungen der annotierten Informationsraumparameter werden in der Regelkonsequenz definiert. Dabei können sowohl Konstanten als auch Variablen verwendet werden (vgl. Abbildung 75).

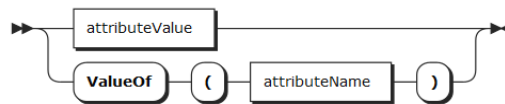


Abbildung 75: Wertzuweisung der Regelkonsequenz

4.2.2 Verwendung und Auswertung von ContextScript-Regeln

Der Grundgedanke hinter der Entwicklung der Regelsprache ContextScript war, eine relativ einfache und leicht zu erlernende Formalisierungsmethode zu erschaffen, die es auch ungeübten Endanwendern gestattet, Kontextabhängigkeiten zu formulieren. Diese Intention unterstützt auch die starke Ähnlichkeit zu JavaScript, wo ähnliche Sprachelemente verwendet werden¹⁸⁹. Das Konzept von ContextScript ist darauf ausgelegt, einen Brückenschlag zwischen dem Modellierer multimodellbasierter Referenzprozesse, dem BIM-Manager und dem Entwickler kontextgerechter Anwendungen zu erreichen. Bei der Verwendung der *ContextScript*-Regeln ist folgende Vorgehensweise angedacht:

¹⁸⁹ ISO-Standard 16262, [http://standards.iso.org/itf/PubliclyAvailableStandards/c055755_ISO_IEC_16262_2011\(E\).zip](http://standards.iso.org/itf/PubliclyAvailableStandards/c055755_ISO_IEC_16262_2011(E).zip)

1. Ein Referenzprozessentwickler beschreibt die Kontextabhängigkeiten der Attributwerte einer Multimodellvorlage, indem er anstatt eines statischen Attributwertes die gewünschte Kontextwirkung als *ContextScript*-Regel annotiert. Auf diese Weise wird eine Kontextwirkrelation zwischen Modellraumelement und Kontextkonzept abstrakt definiert. Die so annotierte Multimodellvorlage wird als sog. *kontextadaptive Multimodellvorlage* (context dependent Multi Model Template, cdMMT) gemeinsam mit einem Referenzprozess persistiert.
2. Zum Anwendungszeitpunkt werden die *ContextScript*-Regeln auf Grundlage der aktuellen Kontextinformationen ausgewertet und es wird eine kontextgerechte Multimodellvorlage (MMT) als Basis für die Personalisierung des Informationsraumes (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 99) erzeugt.

Für die semantischen Annotationen der Kontextabhängigkeiten einer Informationsraumbeschreibung benutzen die *ContextScript*-Regeln domänenspezifische Konzepte des Kontextmodells und der Informationsraumbeschreibungen. Diese müssen projektweit vereinbart werden und zur Regelauswertung verwendbar vorliegen (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 70).

Kontextpfade

Für die Identifizierung der Kontextvariablen sowohl in der Beschreibung der Regelprämisse als auch zur Definition der Regelkonsequenz spielen Kontextpfade eine wichtige Rolle. Diese Pfadangaben beschreiben den Weg von der Wurzel des Kontextmodells bis zu dem Kontextattribut, dessen Wert auszuwerten ist. Dabei werden die Segmente des Pfades durch Punkte strukturell gegliedert. Überdies helfen Aliase bei der Navigation im Kontextmodell. Um die Wurzel des aktuellen Bearbeitungskontextes anzusprechen, wird der Alias *_context* benutzt¹⁹⁰. Ein Pfad zu einem Kontextattribut dieses Bearbeitungskontextes gestaltet sich dann folgendermaßen: *_context.contextaspekt.contextattribut*. Für alle drei Kollaborationsentitäten existieren entsprechende Aliase, die auf die aktuell verknüpften Instanzen verweisen. Über den Alias *_actor* lassen sich beispielsweise die Kontextinformationen der verknüpften Benutzerinstanz ermitteln (*_actor.contextattribut*). In gleicher Weise verweisen die Aliase *_process* und *_resource* auf die jeweilige Prozessinstanz bzw. auf die Informationsressource. Die Kontextmodellwurzel (*_context*) stellt in einem Kontextpfad immer den Einstiegsknoten dar. Insbesondere lassen sich durch dieses Präfix *ContextScript*-Regeln ohne zusätzliche Markierung von statischen Attributwerten unterscheiden. Durch die beschriebene hierarchische Struktur lassen sich alle Attribute der Kontextaspekte bequem ansprechen und auswerten. Abbildung 76 zeigt den Aufbau des Kontextpfades.

¹⁹⁰ Dieser Alias verweist dann systemintern auf die entsprechende Instanz, z. B. auf „system.process645.processcontext“.

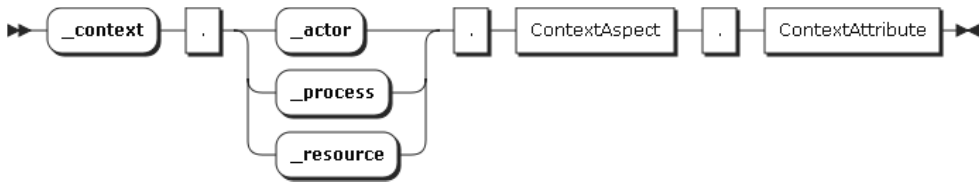


Abbildung 76: Aufbau des Kontextpfades

Informationsraumpfade

Eine ähnliche Notation wird bei der Beschreibung modellinterner Kontextabhängigkeiten verwendet. Hier bezieht sich der Alias *_this* immer auf die Wurzel der aktuellen Informationsraumvorlage. Die weiteren Pfadangaben entsprechen den XML-Knoten des Multimodellschemas. Das Pfadziel ist der zu verwendende Vorlagenattributwert.

Beispielregeln:

- Anpassen der Fachmodellsprache an die Akteursprache:

if exist *_context._actor.language* **thenPrint** *ValueOf(_context._actor.language)*
(Ähnliches auch möglich mit Ressourcensprache *_context._resource.language*)

- Wenn die vorhandenen Fachanwendungen (und damit die verwendbaren Modellformate) des Akteurs bekannt sind, dann können die benötigten Formate der Fachmodelle dahingehend spezifiziert werden.

if exist *_context._actor.preferences.application*
thenPrint(*_context._actor.preferences.application.fileFormats*)

4.2.3 Regelauswertung

Die Auswertung der ContextScript-Regeln durch ein Regelsystem geschieht in zwei Stufen. Als Voraussetzung der Auswertung wird in der ersten Bearbeitungsstufe durch das sog. Context Mapping der aktuelle Bearbeitungskontext analysiert und es werden alle Kontextbezeichner in der Kontextwirkrelation durch die entsprechenden Kontextattribute ersetzt. Erst dann kann ein Regelinterpret die Konditionen der Regelprämisse auswerten und die Attributwerte entsprechend den festgelegten Regelkonsequenzen ermitteln. Abbildung 77 demonstriert diese Vorgehensweise. Auf der linken Seite ist ein Ausschnitt einer *kontextadaptiven Multimodellvorlage* dargestellt und auf der rechten Seite der anhand eines Kontextes ausgewertete entsprechende Ausschnitt der kontextgerechten Multimodellvorlage. Eine entsprechende Architektur für die Erzeugung kontextgerechter Informationsräume, die auf dieser Vorgehensweise basiert, wird in Abschnitt 4.3 vorgestellt und in Abschnitt 5.2 prototypisch implementiert.

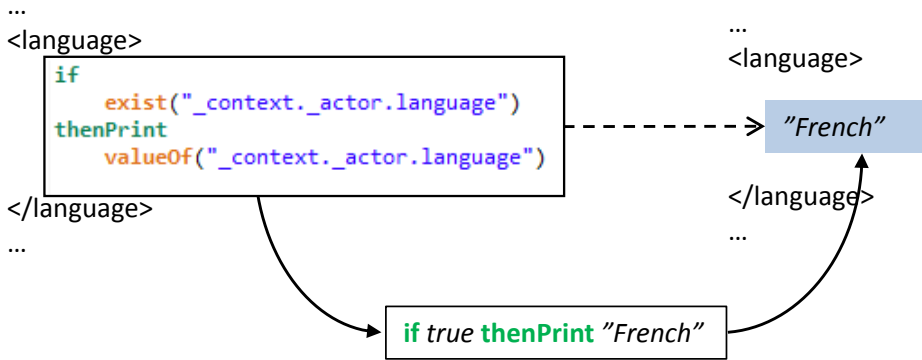


Abbildung 77: Auswertung einer ContextScript-Regel zu einem Attributwert

4.2.4 Zusammenfassung

Die informationslogistische Bedeutung eines Kontextmerkmals hängt stark von der Abbildbarkeit seines Einflusses auf die Informationsraumelemente ab. Daher stellt die Formalisierung von Kontextwirkrelationen ein zentrales Element des vorgestellten Lösungsansatzes zur kontextgerechten Informationsversorgung dar. Dafür wurde in diesem Abschnitt eine Formalisierungsmethode für Kontextwirkrelationen erarbeitet, die es ermöglicht, Auswirkungen der Kontexteigenschaften auf einzelne Informationsraumelemente zu spezifizieren. Durch die Verwendung von *ContextScript*-Regeln können Attribute des Kontextmodells mit Elementen der Informationsraumbeschreibung verknüpft werden. Dies ermöglicht eine relativ komfortable Beschreibung adaptiver Informationsräume durch semantisch annotierte Multimodellvorlagen. Diese mit Kontextwirkrelationen versehenen Multimodellvorlagen bilden die Grundlage für eine spätere automatische proaktive kontextgerechte Informationsversorgung. Da bei dieser Vorgehensweise der Beschreibung des kontextbasierten Informationsbedarfs die Kontextinformationen aller beteiligten Entitäten in die Ausgestaltung des Informationsraumes einfließen können, lassen sich erstmals adaptive kontextabhängige Informationsräume beschreiben.

4.3 Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume

Überblick

In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass bei der Bearbeitung von Informationsprozessen der jeweilige Bearbeitungskontext sowohl den aktuellen Informationsbedarf als auch das zukünftige Informationsangebot entscheidend prägt (vgl. Abschnitt 2.2.2, S. 40). Für eine Formalisierung dieser Kontexteinflüsse auf die Informationslogistik wurden Modelle für Informationsräume (vgl. Abschnitt 3.1, S. 61) und Kontextinformationen beschrieben (vgl. Abschnitt 3.2, S. 85) sowie Kontextwirkrelationen formalisiert (vgl. Abschnitt 3.3, S. 115). Um automatisch Interferenzen zwischen den Modellelementen zu ermitteln, wurde im vorigen Abschnitt die Projektkollaborationsontologie entwickelt. Um die beschriebenen

Konzepte auch tatsächlich für eine kontextgerechte Informationsversorgung zu operationalisieren, ist als nächster Schritt die Erarbeitung einer Softwarearchitektur erforderlich, die den Anforderungen aus Abschnitt 2.3.3 entspricht. Das angestrebte kontextadaptive System soll in der Lage sein, Informationsbedarfe anhand des Bearbeitungskontextes eines Akteurs zu antizipieren und durch die Erzeugung entsprechender multimodellbasierter Informationsräume aktiv zu erfüllen. Somit kann eine proaktive Unterstützung kollaborativer Informationsprozesse durch relevante, kontextgerechte Informationen realisiert werden.

4.3.1 Konzept des Gesamtsystems

Trotz einer allgemeinen Bereitschaft zur übergreifenden Kollaboration wird im Bauwesen bei der Bearbeitung von Planungs- und Ausführungsarbeiten durch die Projektbeteiligten (z. B. Planungsbüros und Bauunternehmen) meist aufgabenspezifische Fachsoftware eingesetzt, die in ihrer Anwendungsdomäne einen so hohen Reifegrad erreicht hat, dass ihre Verwendung unabdingbar ist (vgl. Abschnitt 2.1.2, S. 16). Um für diese Fachanwendungen eine Kontextadaptivität zu erreichen, wäre oft eine Neuentwicklung nötig, die für die meist kleinstrukturierten Unternehmen der Baubranche (vgl. Abschnitt 2.1, S. 11) zu kostspielig ist. Für bauspezifische Informationstechnologien wird stattdessen schon länger das Konzept der Integration vorhandener Anwendungen über Kollaborationsplattformen (enterprise application integration) favorisiert. Dementsprechend basiert auch der in dieser Arbeit vorgeschlagene Ansatz der kontextbasierten Informationsversorgung auf einer Plattformarchitektur. Da konventionelle Lösungen keine kontextspezifische Informationsversorgung bieten, ist es erforderlich, die Plattforminformationslogistik entsprechend zu erweitern. Bei der Betrachtung der Integration von Kontextinformationen für kontextbewusste Anwendungen lassen sich vier kanonische Teilgebiete differenzieren: *Kontextmodellierung*, *Kontexterkennung*, *Kontextkommunikation* und *Kontextverwendung* (Trunko, 2011, S. 67; Zimmer, 2007, S. 12). HENRICKSEN UND INDULSKA (2006) präzisieren die Phasen des operationalen Kontextsystems und unterscheiden Kontextmessung, Kontextaufnahme, Kontextmanagement, Kontextanfrage und Kontextnutzung.

Der im Rahmen dieser Arbeit verwendete Architekturansatz für eine kontextbewusste Informationslogistik besteht aus vier Hauptphasen, die alle Teilgebiete abdecken und sich an dem Modell von HENRICKSEN UND INDULSKA orientieren (vgl. Abbildung 78).

Die konzeptionelle Phase der *Kontextmodellierung* kann der Projektdefinitionsphase zugeordnet werden (vgl. Abschnitt 2.1, S. 11), die üblicherweise im Vorfeld der operativen Verwendung einer Kollaborationsplattform angeordnet ist. Neben der Festlegung der Projektinstanzen (Akteure, Prozesse, Informationsressourcen) werden hier auch das verwendete Kontextmodell mit Aspekten, Attributen und deren Wertebereichen sowie das Annotationsvokabular definiert. Prinzipiell ist es sinnvoll, Erfahrungen der späteren Phasen in eine iterative Verfeinerung der konzeptionellen Kontextmodellierung einfließen zu lassen.

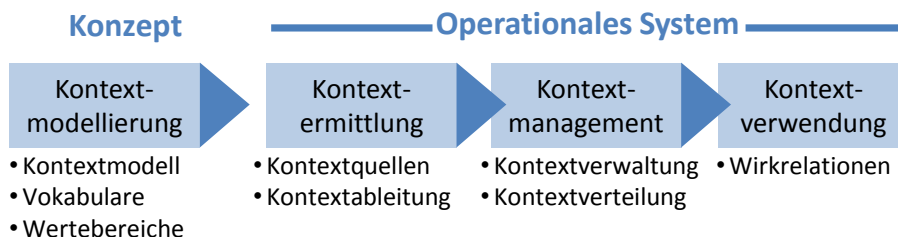


Abbildung 78: Teilgebiete der Kontextintegration

Das operationale kontextbewusste System selbst besteht aus den kontextsensitiven Phasen der Kontextermittlung und des Kontextmanagements sowie aus der kontextadaptiven Phase der Kontextverwendung. Die Phase der *Kontextermittlung* (context reception layer) beschäftigt sich mit der Verwaltung der Kontextquellen und dem Einbringen von erfassten Kontextinformationen in das Kontextmodell. Dafür werden nicht nur Kontextinformationen gesammelt und abgelegt, sondern auch prozessiert, um beispielsweise höherwertige Kontextinformationen zu ermitteln.

Die *Kontextmanagementphase* (context management layer) organisiert die Verwaltung und Verteilung verfügbarer Kontextinformationen. Dazu müssen die verschiedenen Kontextinformationen, die durch die Kontextermittlung erhoben werden, in einem zentralen Kontextmodell persistiert und konsistent gehalten werden. Abhängig von der geplanten Kontextverwendung sind verschiedene Modellformate verwendbar (vgl. Abschnitt 3.2.2, S. 93). Die nachfolgenden Phasen der Kontextnutzung werden über die Beantwortung von Kontextanfragen mit Kontextinformationen versorgt. In der Phase der *Kontextverwendung* (adaptation layer) findet die Anpassung des Anwendungsverhaltens an den aktuellen Kontext statt (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 99).

Die vorgeschlagene Architektur fokussiert eine Verwendung der Kontextinformationen zur Beschreibung und Erzeugung kontextgerechter Informationsräume. Daher wird in einer ersten Stufe der kontextabhängige Informationsbedarf antizipiert, der in einer anschließenden zweiten Stufe durch einen entsprechend kontextgerecht adaptierten Informationsraum erfüllt wird.

Komponenten der kontextgerechten Informationslogistik

Die vorgeschlagene Architektur soll die Informationslogistik einer bestehenden Kollaborationsplattform erweitern, die bereits Projekt- und Organisationsmodelle, Fachmodell- und Prozessvorlagen sowie Metadaten der Informationsressourcen und weiterer Services für die automatische Fachmodellbearbeitung verwaltet.¹⁹¹ Somit können typischerweise schon vorhandene Informationselemente als Kontextquellen verwendet werden.

¹⁹¹ Ähnliche Kollaborationsplattformen werden beispielsweise in (Katranuschkov und Scherer, 2008; Klauer, 2005; Scherer, 2014) beschrieben.

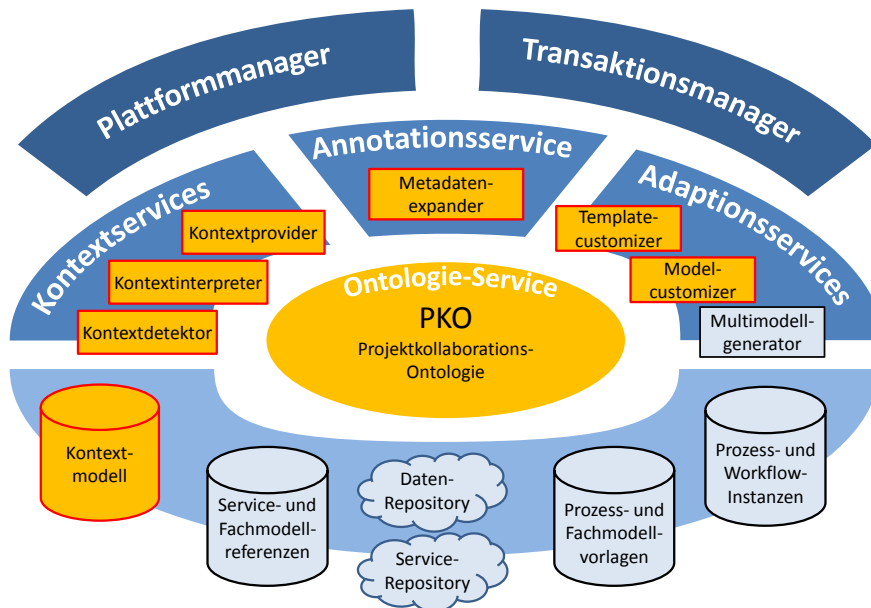


Abbildung 79: Systemarchitektur

Für die Organisation der Kontextinformationen und der Informationsräume sind weitere Komponenten und Funktionen nötig. Die verwalteten Fachmodelle und Services können dezentral bei unterschiedlichen Projektpartnern oder Drittanbietern vorliegen. Eine solche Kollaborationsplattform muss sich an verschiedene Organisationsstrukturen anpassen lassen und flexibel hinsichtlich der Erweiterbarkeit der angebotenen Funktionen sein. Dies lässt sich durch modulare Dienste und klare Schnittstellen nach außen realisieren.

Die vorgeschlagene Systemarchitektur besteht aus einer Datenbasis, sieben Plattformservices, einem Ontologie-Service und zwei Managementkomponenten. Abbildung 79 zeigt die Komponenten der Systemarchitektur, wobei die kontextverarbeitenden Komponenten hervorgehoben sind. Die beiden Managementkomponenten (s. Abbildung 79, oben) repräsentieren die Plattformschnittstellen für die in unterschiedlichen Rollen agierenden Akteure. Der *Plattformmanager* unterstützt Prozessarchitekten und Informationsmanager bei der Bearbeitung von Plattformmodellen, Vorlagen und Metadaten, während der *Transaktionsmanager* die Informationsversorgung der aufgabenbearbeitenden Akteure steuert.

Die sieben Plattformservices decken alle Teilgebiete der Kontextintegration ab. Die drei Kontext-Services (s. Abbildung 79, mittig links) enthalten die Komponenten der Kontextwertschöpfung und der Kontextverwaltung. Der *Kontextdetektor* erweitert die vorhandene Zugriffssteuerung der Kollaborationsplattform, um durch die Analyse von Verkehrsdaten operative Kontextinformationen zu erfassen (mehr dazu in Abschnitt 4.2.2). Dabei wird die Kontextermittlung im Wesentlichen von den beiden Managementkomponenten ausgelöst. Die Kontextinformationen des Kontextdetektors werden anschließend durch den *Kontextinterpretier* analysiert und den entsprechenden Kontextaspekten des Kontextmodells zugeordnet. Der Kontextinterpretier bewertet in der Startphase (und nach Modelländerungen) auch die

vorhandenen Informationsressourcen der Kollaborationsplattform und leitet Kontextinformationen ab. Die Ableitung der Kontextinformationen aus den operativen Daten und den Plattforminformationen basiert auf einem Regelsystem (z. B. Kontextwertschöpfungsregeln, vgl. Mayer, 2007). Der *Kontextprovider* beantwortet Kontextanfragen anderer kontextverarbeitender Plattformservices. Das Teilgebiet der Kontextverwendung wird durch den Annotationservice (s. Abbildung 79, mittig) und die Adaptionsservices (s. Abbildung 79, mittig rechts) abgedeckt. Der *Metadatenexpander* erweitert die semantischen Annotationen der Informationen um kontexttragende Informationen.

Die Adaptionplattformservices sind für die Erzeugung kontextgerechter Informationsräume zuständig. Diese geschieht in drei Stufen. In der ersten Stufe wertet der *Templatecustomizer* die Kontextwirkrelationen der Multimodellvorlagen auf der Basis aktueller Kontextinformationen aus und erzeugt einen kontextspezifischen Informationsbedarf als Multimodellvorlage. In der zweiten Stufe sucht der *Modelcustomizer* entsprechend passende Informationsmodelle aus dem Projektinformationsraum der Plattform und passt diese unter Verwendung von Adaptionsservices (z. B. Filterservices) an. Der *Multimodellgenerator* letztendlich bündelt die adaptierten Fachmodelle und erzeugt ein kontextgerechtes Multimodell.

Der informationslogistische Kern der Architektur ist der *Ontologie-Service* (s. Abbildung 79, mittig). Hier werden die Ontologiemodelle der Projektkollaborations-Ontologie erstellt und verarbeitet sowie Interferenzen durch logikbasierte Verkettungsverfahren und spezifische Deduktionsalgorithmen ausgewertet. Die Informationsbasis bilden die vorhandenen Persistenzsysteme der Kollaborationsplattform, z. B. Datenbanktabellen, Workspaces und Dokumentenserver (s. Abbildung 79, unten). Hier werden die plattformeigenen Informationsmodelle (z. B. Kontextmodell, Organisationsmodell, Service-Registry und Referenzen der Informationsressourcen) gespeichert.

4.3.2 Kontextwertschöpfung und Verwaltung

Das Ziel einer kontextgerechten Informationsversorgung ist die Bereitstellung von passgenauen Informationen. Die notwendige Voraussetzung dafür ist die Ermittlung des aktuellen kontextabhängigen Informationsbedarfs auf der Basis informationslogistisch relevanter Kontextinformationen. Diese werden unter Auswertung der erforderlichen Kontextquellen (vgl. Abschnitt 3.2.4, S. 105) ermittelt. Diese Kontextermittlung lässt sich dabei in die Teilbereiche der Kontextklassifikation, aggregation und -fusion unterteilen, die in der Literatur zusammenfassend unter dem Oberbegriff *Kontextwertschöpfungskette* (Context-Retrieval-Chain) betrachtet werden (Hegering et al., 2003; Krause, 2007). Die Kontextwertschöpfung füllt ein Kontextmodell mit Kontextinformationen verschiedener Abstraktionsebenen (Sensordaten, beobachtbarer Kontext, Situation). Zum Zeitpunkt der Kontextauswertung (vgl. Abschnitt 4.2.4, S. 161) müssen die Kontextinformationen der aktuellen Situation entsprechen.

Eine Anforderung des vorgestellten Ansatzes betrifft die unveränderte Einbindung heterogener Fachanwendungen. Somit können die Fachanwendungen nicht als direkte Kontextquellen verwendet werden.

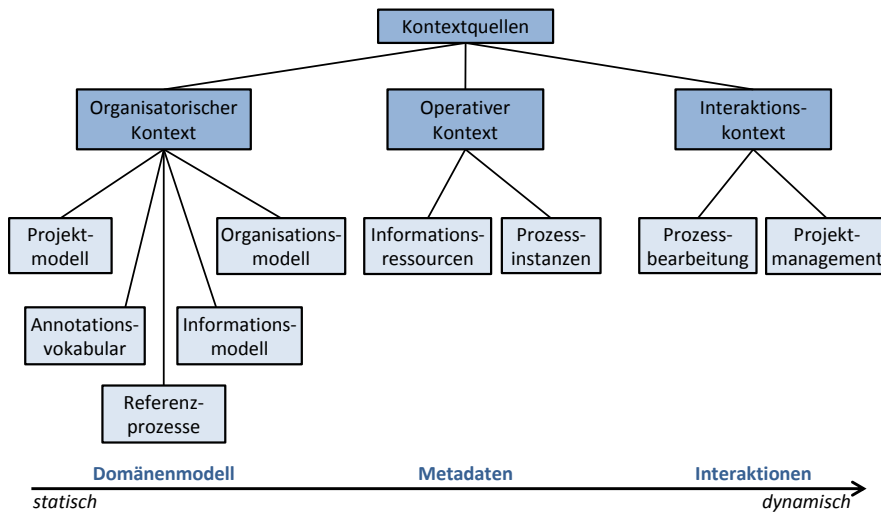


Abbildung 80: Einordnung der Kontextquellen

Für die Kontextermittlung sollen vielmehr vorhandene Projektinformationen der Kollaborationsplattform und beobachtbare Benutzerinteraktionen ausgewertet werden. Dabei lassen sich die Quellen der zur Laufzeit in einer Kollaborationsplattform abgreifbaren informationslogistischen Kontextinformationen hinsichtlich ihrer Aktualisierungsrate unterscheiden in den relativ statischen Organisationskontext, den relativ dynamischen operativen Kontext und den hochdynamischen Interaktionskontext. Abbildung 80 illustriert diese Einordnung. Diese drei verschiedenen Arten von Kontextquellen liefern in ihrer Gesamtheit den Bearbeitungskontext.

Der *organisatorische Kontext* besteht aus den Basisinformationen der Kollaborationsplattform. Diese Basisinformationen verwalten die Instanzen der im Domänenmodell¹⁹² definierten Konzepte wie Referenzprozesse, Ressourcentypen und Nutzerrollen und sind relativ statisch. Insbesondere das Annotationsvokabular und das Projektmodell ändern sich über die Projektlaufzeit selten. Das Organisationsmodell verwaltet die beteiligten Organisationen und Akteure mit der Intention der Benutzer-, Rechte- und Zugriffsverwaltung. Diese organisatorischen Kontextquellen werden zu Projektbeginn instanziiert und können im Projektverlauf über Prozesse des Projektmanagements geändert werden. Der Interaktionskontext kann Einfluss auf den organisatorischen Kontext haben. So kann sich die Bearbeitung eines Prozesses durch einen Akteur als Erfahrungszuwachs in dessen Nutzerprofil niederschlagen. Der *operative Kontext* wird aus den Metadaten der Informationsressourcen und den Kontrolldaten der Prozesse ermittelt. Die instanziierten Informationsressourcen, die auf der Kollaborationsplattform ausgetauscht werden, sind in der Regel semantisch beschrieben. Insbesondere versehen verschiedene Anwendungsprogramme die verwendeten Fachmodelle mit

¹⁹² Ein Domänenmodell beschreibt konzeptuell die Entitäten und ihre Beziehungen zueinander in einer Domäne (Kang et al., 1999).

(uneinheitlichen) Metadaten, die den lokalen Kontext der entsprechenden Informationsressource beherbergen und oft Informationen über den Erstellungskontext liefern. Somit können die Metadaten als Kontextinformationskanal zwischen den Fachanwendungen und der Kollaborationsplattform fungieren und die Fachanwendungen als indirekte Kontextquellen dienen. Die Dokumentenmanagementkomponenten der Kollaborationsplattform verwalten diese Metadaten und können sie den Kontextkomponenten zur Verfügung stellen. Eine weitere wesentliche Quelle des operativen Kontextes sind die Beschreibungen der instanziierten Prozesse, die auf der Kollaborationsplattform bearbeitet werden. Die Kontrolldaten der Prozessinstanzen werden durch Komponenten des Workflow-Management-Systems (WfMS)¹⁹³ verwaltet und informieren über den Zustand der betrachteten Prozessinstanz (Liao et al., 1999). Das Domänenmodell und die operativen Instanzen der Prozesse und Informationsressourcen repräsentieren die aktuelle Umwelt der zu unterstützenden Aufgaben. Daher können durch die daraus abgeleiteten Kontextinformationen des operativen Kontextes die wesentlichen Teile des Informationsbedarfes ermittelt werden.

Der *Interaktionskontext* spiegelt die aktuellen Interaktionen der Akteure mit der Kollaborationsplattform wider und lässt sich als zusätzliche Kontextquelle verwenden. Die Benutzerinteraktionen wirken sich auf den Systemzustand und den Datenbestand aus und lassen sich somit implizit sowohl zur Aktualisierung vorhandener als auch zur Ableitung von neuen Kontextinformationen verwenden. Die Beobachtung von Benutzerverhalten (sog. Feldbeobachtung) ist ein etablierter Ansatz aus dem Bereich der Anforderungserhebung (Requirements Engineering), bei der Anforderungsanalysten Akteure bei ihrer Arbeit beobachten (Rupp, 2007). Beispielsweise kann die Häufigkeit einer Plananforderung von bestimmten Domänenakteuren in einer speziellen Projektphase beobachtet werden oder der iterative Planaustausch in einer Plaungsphase. Notwendig dafür ist eine zentrale Informationslogistik, wie sie z. B. eine Kollaborationsplattform bietet (vgl. Abschnitt 4.3, S. 161)

Initialisierung des Kontextmodells

Für eine produktive Verwendung des Kontextmodells muss dieses mit Informationen gefüllt werden. In welcher Form die Kontextaspekte ermittelt werden, hängt von den vorhandenen Projektinformationsmodellen ab. Für häufig genutzte Modelle (z. B. für XML-Organisationsmodelle, deren Schema bekannt ist) ist es sinnvoll, angepasste Importmethoden zu nutzen. Im einfachsten Fall wird das Kontextmodell manuell gefüllt. Es lässt sich auch eine Strategie verfolgen, in der die Kontextinformationen erst im Anwendungsfall (Auswertung) aus den Kontextquellen erhoben werden. Dies verschlechtert allerdings die Auswertungsergebnisse in der Anfangsphase (sog. Kaltstartproblem). Insbesondere ist für eine sinnvolle Kontextinterpretation des operativen Kontextes und des Interaktionskontextes grundlegendes Kontextwissen aus dem organisatorischen Kontext nötig.

¹⁹³ Ein Workflow-Management-System ist ein Teilsystem der Kollaborationsplattform zur Verwaltung und Ausführung von Workflows (<http://www.wfmc.org/>).

Aktualisierung der Kontextinformationen

Für eine Analyse der Bearbeitungssituation müssen die betreffenden Kontextinformationen zum Auswertungszeitpunkt aktuell vorliegen. Bezüglich des Aktualisierungszeitpunktes lassen sich dabei zwei Strategien unterscheiden (Paulheim et al., 2011). Zum einen kann die Aktualisierung zum Kontextänderungszeitpunkt geschehen. Dafür sind Pushing-Mechanismen nötig, die ein Kontextsystem über Situationsänderungen informieren. Zum anderen kann die Aktualisierung durch Pulling-Mechanismen zum Kontextauswertungszeitpunkt stattfinden. Hier holt sich das Kontextsystem die Informationen selbstständig von den Quellen. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile. Die *Push-Aktualisierung* erfordert aktive Kontextquellen, die sich ihrer Einbindung in ein zentrales Kontextsystem bewusst sind und ihre Änderungen selbstständig mitteilen. Durch die kontinuierliche Kontextidentifikation dieser Variante kann ein umfassendes Kontextmodell über die gesamte Projektlaufzeit aktuell gehalten werden und steht zum Auswertungszeitpunkt sofort zur Verfügung. Bei der *Pull-Aktualisierung* wird das Kontextmodell zum Auswertungszeitpunkt neu aufgebaut. Dafür werden (ggf. passive) Kontextquellen abgefragt, die ihre Einbindung in ein zentrales System nicht kennen müssen. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass ein für die jeweilige Aufgabenstellung idealisiertes (kleineres) Kontextmodell erzeugt werden kann, das nur über die aktuell relevanten Kontextinformationen verfügt. Nachteilig ist die Verzögerung bei der Modellerzeugung, die eine Auswertungszeit negativ beeinflusst. Ein Beispiel für eine *Pull-Aktualisierung* beim Reasoning über Daten aus laufenden Systemen demonstriert Paulheim et al. (2011). Hier werden zum Auswertungszeitpunkt durch Verwendung von *JENA-Rules*¹⁹⁴ automatisch die Objekte (sog. Individuen) einer Ontologie dynamisch durch sog. *Built-Ins* eingelesen und in das Ontologie-Reasoning eingebunden. Die Vorgehensweise wird durch eine Beispielregel illustriert:

$$[\text{Project}(?a) \wedge \text{Status}(?s) \wedge \text{getStatusBuiltIn}(?a,?s) \rightarrow \text{hatStatus}(?a, ?s)]$$

Für die vorgeschlagene Architektur wird ein zweiphasiger Aktualisierungsansatz priorisiert. Da die organisatorischen Informationen der Kollaborationsplattform als passive Kontextquellen vorliegen, können sie beim erstmaligen Aufbau des Kontextmodells durch Pulling-Mechanismen eingegliedert werden. Alle folgenden Änderungen können über den Interaktionskontext erfasst werden. Für die aktive Abschöpfung des Interaktionskontextes müssen die Managementkomponenten der Kollaborationsplattform durch Pushing-Mechanismen erweitert werden. Durch das Versenden fest vorgegebener Ereignisnachrichten (sog. *Contextcast-Nachrichten*¹⁹⁵) an den Kontextdetektor können potentielle Kontextinformationen erkannt werden. Die Ereignisse lassen sich unterscheiden in Benutzerereignisse (U), Systemereignisse (S) und externe Ereignisse (E) und können als RDF-Statement formuliert werden.

¹⁹⁴ JENA-Rules ist ein Programmierframework für Semantic-Web-Reasoning mit eigener Regel-Engine und eigener Regel-Sprache (Reynolds, 2006).

¹⁹⁵ Vgl. (Dürr et al., 2008; Geiger und Durr, 2007).

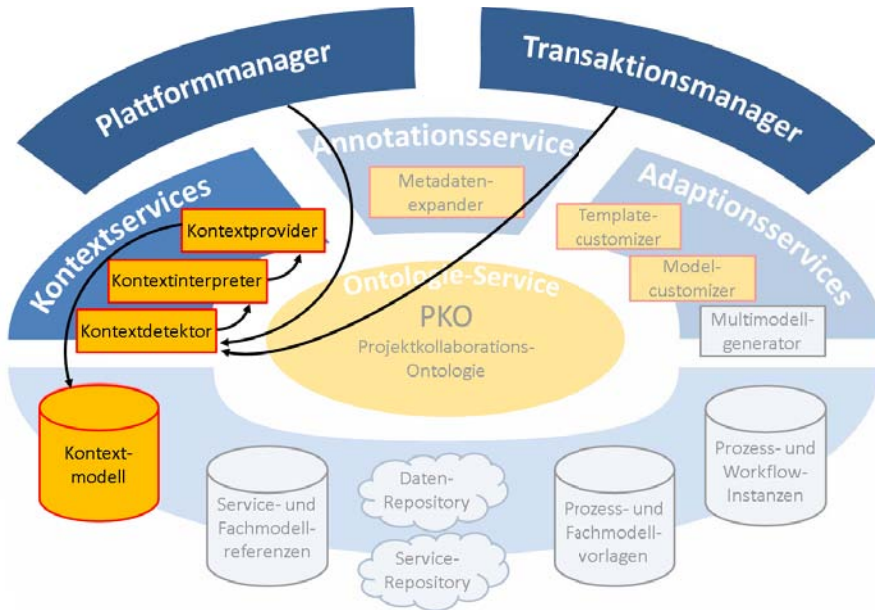


Abbildung 81: Plattformkomponenten für die Kontextwertschöpfung

Ein solches Statement formalisiert Aussagen über ein bestimmtes Objekt innerhalb einer Domäne durch eine Kombination von Subjekt, Prädikat und Objekt. Subjekt der Nachricht ist eine Entität des Domänenmodells (meist ein Prozess oder Akteur). Das Prädikat lässt sich aus der aufgerufenen Methode der Managementkomponente schließen (Anwendungsfall) und die Objekte sind ebenfalls Entitäten des Domänenmodells (meist eine Informationsressource, aber auch Prozesse oder Akteure). Eine solche *Ereignisnachricht* kann beispielsweise folgendermaßen aufgebaut sein:

(De.cib.pko. organization.akteur03) (has edited) (fachmodell01)

Die konkreten Entitätsinstanzen werden dabei über die Kontrolldaten der Kollaborationsplattform identifiziert (z. B. Workflow-Instanz-ID, Aktivitäts-ID, Benutzer-ID etc.) Die Ereignisnachrichten werden an einen Kontextinterpretier gesendet, der entsprechend das Kontextmodell aktualisiert.

Dabei lassen sich nicht alle Nachrichten direkt Kontextaspekten zuordnen, manche Kontextinformationen müssen abgeleitet werden. Insbesondere können durch sog. *Reasoning* höherwertige Kontextinformationen aus vorhandenen Informationen (Rohdaten) ermittelt werden. Dabei müssen sowohl verschiedene Abstraktionsebenen der Kontextinformation als auch die unterschiedlichen Kontextqualitäten beachtet werden. Für eine solche Ableitung werden Regeln benötigt, die Akquisitions- und Adaptionregeln beinhalten und Auswirkungen des Ereignisses auf Systemzustand und Datenbestand definieren.

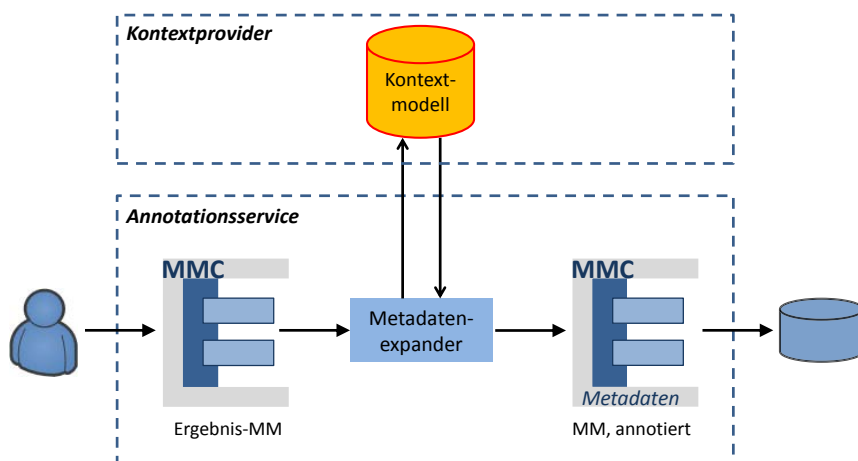


Abbildung 82: Metadatenannotation

Um die erforderliche Inferenz im Rahmen des intelligenten Kontext-Retrieval zu ermöglichen, müssen die verwendeten Annotationsvokabulare (vgl. Abschnitt 3.2.5, S. 112) in der entsprechenden Domänenontologie (vgl. Abschnitt 3.3.4, S. 124) eingebettet sein (Abecker et al., 2002; Maus, 2001). Abbildung 81 illustriert die Verknüpfung der beteiligten Plattformkomponenten.

So können beispielsweise zum Zeitpunkt des Hochladens (sog. Einchecken) von Prozessergebnissen auf die Kollaborationsplattform Informationen über den Kontext des beendeten Informationsprozesses, innerhalb dessen die Informationselemente erzeugt wurden, aus den Metadaten der Informationsobjekte und den Kommunikationsdaten extrahiert werden.

4.3.3 Kontextbasierte Annotation

Grundlage für die Erzeugung kontextgerechter Informationsräume aus vorhandenen Informationsressourcen ist ein erfolgreiches Information-Retrieval auf der Basis aussagekräftiger semantischer Beschreibungen des Informationsbestandes. Diese Informationsannotationen sind kontexttragend und können unter Verwendung von Kontextinformationen der Erstellungssituation erstellt werden.

Die Beschreibung des Inhaltes, der Art und Struktur von Informationsartefakten unterstützt dabei sowohl deren Auffinden als auch die Auswahl von adäquaten Adaptionmöglichkeiten (z. B. zur Filterung, Verknüpfung und Ausschnittbildung). In der vorgeschlagenen Architektur verwendet der *Metadatenexpander*-Plattformservice aktuelle Kontextinformationen für die erweiterte Annotation kontextspezifischer Informationsräume. Dafür fragt er beim Kontextprovider nach Kontextinformationen an und erweitert die vorhandenen Metadaten des Informationsraumes. Erst danach wird der Informationsraum im Service-Repository abgelegt und in der Fachmodell-Registry referenziert. Durch diese Vorgehensweise werden die Konzepte des *Information Sharing* und der *Information Abstraction* der informationsraum-basierten Informationslogistik unterstützt (vgl. Abschnitt 3.3.1, S. 116).

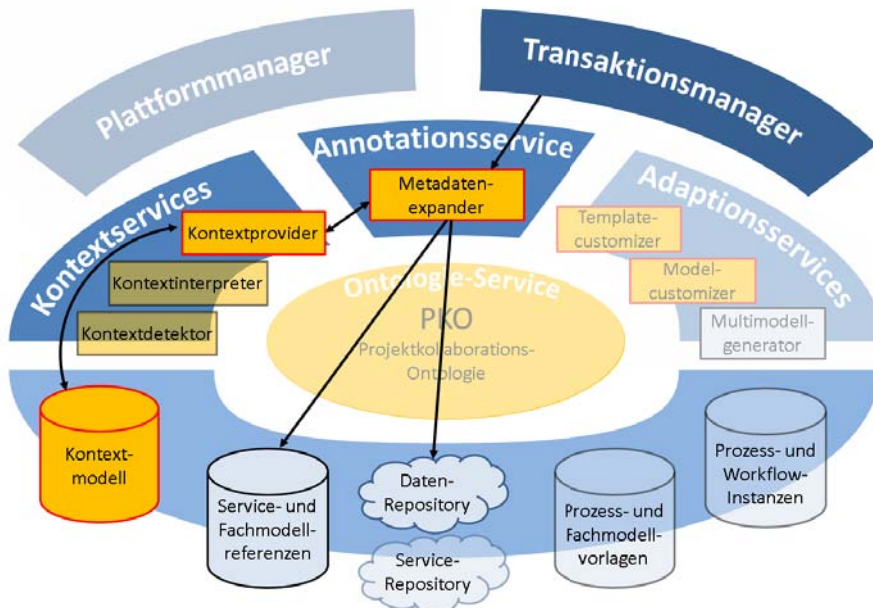


Abbildung 83: Annotationsrelevante Plattformkomponenten

Die *qualitativen Eigenschaften* der einzelnen Fachmodelle, wie Granularität, Aktualität usw. (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 70) lassen sich aus den Metadaten des Informationsraumes ermitteln und über die Kontextinformationen des Prozesskontextes verfeinern. Der durch den Informationsraum abgebildete *Ausschnitt* kann aus dem Prozesskontext ermittelt werden. Die abgebildeten *Verknüpfungsgrade* (evtl. mit Verknüpfungsentention) zwischen den Fachmodellen können anhand der Prozessbeschreibung, insbesondere aus der Multimodellvorlage des Ergebnisinformationsraumes, beschrieben werden.

Die *Intention* des Informationsraumes ist ebenfalls aus dem Erstellungskontext eines Informationsraumes ermittelbar und kann in den Metadaten annotiert werden. Die Abbildung 83 zeigt die beteiligten Plattformkomponenten. Eine kontextgerechte Annotation bildet die Grundlage für eine logikbasierte Auswertung und die Erzeugung eines erweiterten Informationsangebotes. Durch die kontextbasierten Annotationen werden die Anforderungen an eine einheitliche semantische Beschreibung von Informationsräumen erfüllt (vgl. Anforderung A6, Abschnitt 2.2.3, S. 45).

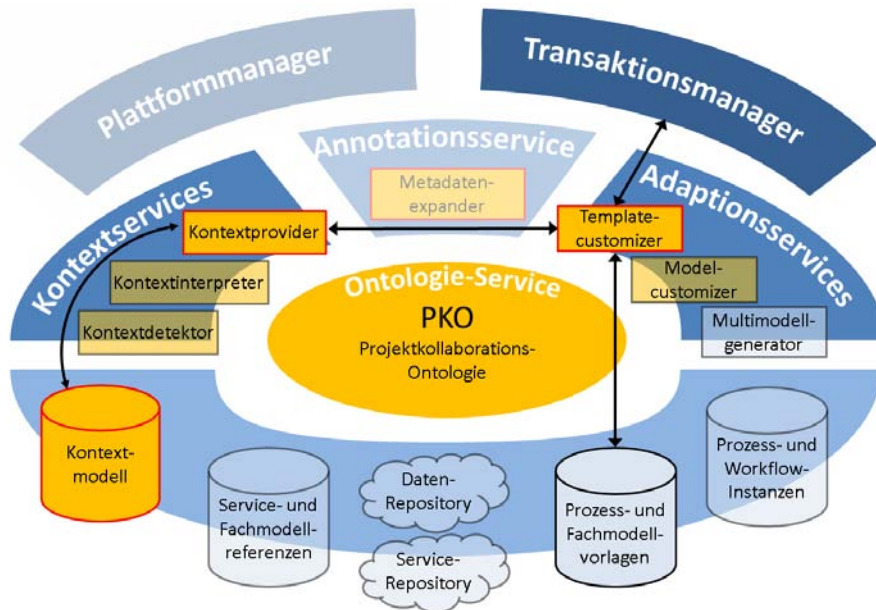


Abbildung 84: Analyserrelevante Plattformkomponenten

4.3.4 Kontextanalyse zur Bedarfsermittlung

Als Ausgangspunkt der Kontextverwendung wird die Zuordnung eines Bauinformationsprozesses zu einem Akteur gesehen.¹⁹⁶ Dieser Zuweisung geht die Instanziierung des Prozesses voraus, bei der eine Prozessinstanz erzeugt und mit den beteiligten Entitäten und deren Kontexten verknüpft wird. Eine Nutzerentität wird mit der Prozessinstanz verknüpft und der Nutzerkontext wird zu dem prozessspezifischen Bearbeitungskontext hinzugefügt. Aus dem nun vollständigen Bearbeitungskontext kann ein kontextspezifischer Informationsbedarf antizipiert werden. Die jeweiligen Kontextabhängigkeiten der Informationsräume sind als Kontextwirkrelationen in den Multimodellvorlagen annotiert (vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 125).

Für die Ermittlung des Informationsbedarfs wertet der *Templatecustomizer*-Plattformservice die Kontextwirkrelationen der Multimodellvorlagen anhand der aktuellen Kontextinformationen des Kontextmodells aus. Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Auswertung dieser Wirkrelationen ist die Projektkollaborations-Ontologie mit aktuellem Kontextmodell. Zusätzlich müssen alle Fachmodelltypen inklusive ihrer strukturtragenden Elemente bekannt sein und mit entsprechenden Annotationsvokabularen versehen sein.

Für die Kontextanalyse fragt der *Templatecustomizer* den *Kontextprovider* an und bestimmt auf Basis der erhaltenen Kontextinformationen die Ausgestaltung des entsprechenden kontextgerechten Informationsraumes.

¹⁹⁶ Auf welche Weise und unter welchen Gesichtspunkten diese Zuordnung geschieht, liegt hier nicht im Zentrum der Betrachtung.

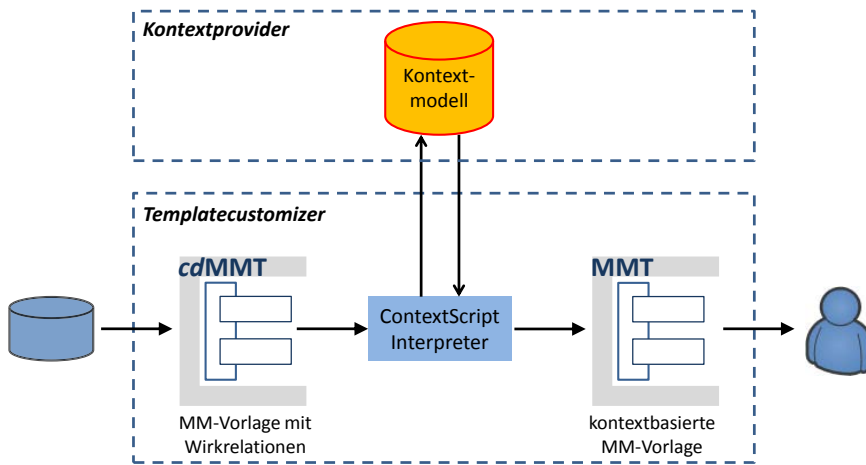


Abbildung 85: Auswertung der Kontextwirkrelationen

Der Informationsbedarf beschreibt dabei sowohl die qualitativen Anforderungen an die einzelnen Fachmodelle als auch die Anforderungen an die Verknüpfungen innerhalb des Informationsraumes. Abbildung 84 dokumentiert die Zusammenarbeit der einzelnen Systemkomponenten bei der Informationsbedarfsermittlung. Nach der Prozessinstanziierung steht der komplette Kontext bereit und kann für logikbasiertes Schlussfolgern verwendet werden. Die Struktur und der Inhalt der erzeugten Multimodellvorlage können anschließend anhand von Business Rules validiert werden. Für solcherart Validierungsaufgaben auf XML-Ebene existiert beispielsweise der Schematron-Standard.¹⁹⁷ Die Abbildung 85 zeigt eine systematische Darstellung der Auswertung der Kontextwirkrelationen.

4.3.5 Erzeugung kontextgerechter Informationsräume

Ist der Informationsbedarf ermittelt und als Multimodellvorlage formalisiert, so kann in zwei Schritten der entsprechende Informationsraum erzeugt werden. Als erster Schritt erfolgt eine Anfrage nach dem spezifizierten Informationsraum beim Informationslogistiksystem, das die vorhandenen Modelle im Projekt mit dem Informationsbedarf abgleicht. Je spezifischer ein Informationsbedarf formuliert ist, umso unwahrscheinlicher ist das Vorhandensein eines genau passenden Informationsraumes. In der Regel müssen vorhandene Fachmodelle angepasst werden. Sind diese Fachmodelle angepasst, so können sie in einem zweiten Schritt zu einem multimodellbasierten Informationsraum zusammengefasst werden. Dabei werden Informationsräume aus adaptierten Fachmodellen neu erzeugt oder vorhandene Informationsräume mit adaptierten Fachmodellen erweitert.

¹⁹⁷ Der ISO-Standard Schematron ist Bestandteil der Document Schema Definition Languages (DSDL) und stellt eine Ergänzung zu DTD und XML Schema dar. Anhand einer Schemasprache ermöglicht Schematron eine inhaltliche und strukturelle Validierung von XML-Dokumenten anhand von Business Rules (Jelliffe, 2001).

Der erweiterte Projektinformationsraum

Ein kontextspezifischer Informationsbedarf kann selten direkt durch bereits vorhandene Informationsressourcen der Kollaborationsplattform gedeckt werden. Allerdings kann durch Verwendung vorhandener Modelle und bekannter Adaptionsservices ein benötigter Informationsraum erzeugt werden. Für diesen Zweck wurde der Ansatz des *erweiterten Projektinformationsraums*¹⁹⁸ entwickelt, der explizit bekannte Informationen über vorhandene Informationsressourcen sowie verwendete Beschreibungsmodelle und verwendbare Adaptionsservices auswertet, um neben den vorhandenen Informationsressourcen auch die implizit vorhandenen und potentiell erzeugbaren Informationsressourcen zu ermitteln. Dieser *erweiterte Projektinformationsraum* ist ein intelligentes Informationslogistiksystem, das Potentiale der vorhandenen Ressourcenbeschreibung nutzt, um den Projektinformationsraum zu erweitern. Abbildung 86 illustriert diesen Zusammenhang. So wird für die Beschreibung aller Entitäten auf der Kollaborationsplattform (Informationsressourcen, Workflows, Prozesse, Akteure) ein projekteinheitliches Annotationsvokabular verwendet, das hierarchisch strukturiert ist (vgl. Kapitel 3.1.3, S. 72). Die Kenntnis der Struktur der Metadaten kann nun genutzt werden, um zusätzlich zu den vorhandenen und *explizit* beschriebenen Informationsressourcen weitere Informationsressourcen zu ermitteln, deren Inhalte durch die vorhandenen Ressourcen *implizit* abgedeckt werden. Beispielsweise kann ein Bedarf an einem Fachmodell der Projektphase *Planung* und des Gebäudemodellausschnittes *Rohbau Erdgeschoss* durch ein vorhandenes Fachmodell der Phase *Genehmigungsplanung* und *Rohbau gesamt* implizit abgedeckt sein, da es sich bei den Vokabularelementen um Subkonzepte des eigentlich gesuchten Konzeptes handelt (vgl. Abbildung 86, Schritt 1). Mit demselben Annotationsvokabular werden Adaptionsservices beschrieben, die Informationsressourcen definiert verändern können. Mit dem Wissen über diese explizit beschriebenen Workflows können anhand der Informationsressourcen weitere *transitive* Informationsressourcen ermittelt werden, die durch Verwendung der Workflows erzeugt werden können. Der auf diese Weise implizit aufgeblähte Projektinformationsraum erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass ein spezifischer Informationsbedarf auch erfüllt werden kann (vgl. Abbildung 86, Schritt 2).

Der für einen Akteur verfügbare Projektinformationsraum wird durch die abrufbaren Informationsressourcen und verwendbaren Adaptionsservices determiniert. Um verwendbare Ressourcen und Prozesse eines Nutzers zu bestimmen, ist es daher notwendig, dessen Rollen und Berechtigungen zu ermitteln. Die expliziten Berechtigungen werden von der Nutzerinstanz der Projektkollaborationsontologie festgelegt. Da Rollen und Berechtigungen hierarchisch organisiert sind, umfassen explizit zugewiesene Rollen (z. B. Architekt) unter Umständen auch implizite Rollen (z. B. Bearbeiter). Ähnliches kann auch für Berechtigungen gelten, beispielsweise kann hier aus der Schreibberechtigung für einen speziellen Modelltyp auch die Leseberechtigung für diesen Typ abgeleitet werden, die ggf. eine Voraussetzung für die Prozessinstanziierung sein kann.

¹⁹⁸ Die Idee des erweiterten Projektinformationsraumes wurde bereits in (Hilbert et al., 2012; Nityantoro und Scherer, 2013) beschrieben.

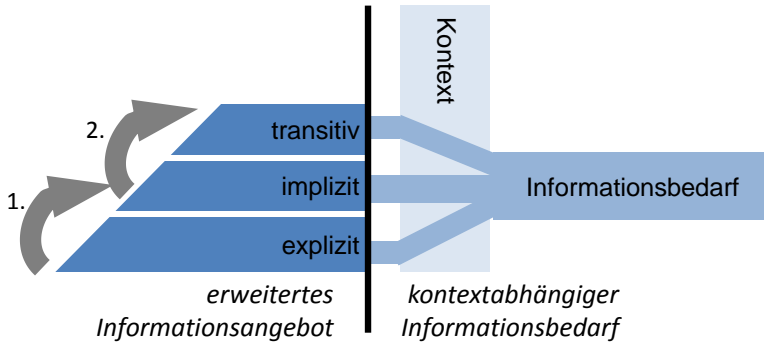


Abbildung 86: Erweitertes Informationsangebot für konkretisierten Informationsbedarf

Mit der Anzahl der vorhandenen impliziten (in diesem Kontext generierbaren) Informationsressourcen kann sich auch die Anzahl der ausführbaren Prozesse erhöhen, wenn unter den impliziten Informationsmodellen sich wiederum potentielle Inputmodelle für andere Prozessemplates befinden. Daher können Iterationen sinnvoll sein (Hilbert, 2011). Als Ergebnis entsteht ein erweiterter Projektinformationsraum, in dem alle im aktuellen Kontext ausführbaren Prozesse und (damit) generierbaren Informationsmodelle enthalten sind.

Der erweiterte Projektinformationsraum besteht somit aus dem expliziten Kern der real vorhandenen Informationsressourcen IR_{expl} , einer impliziten Hülle aller abgedeckten Informationsressourcen IR_{impl} und einer transitiven Hülle aller durch Anwendung von Adaptionsservices AS erzeugbaren Informationsressourcen IR_{trans} . Die Menge aller für einen Akteur projektweit verfügbaren oder erzeugbaren Informationsressourcen IR_{max} setzt sich somit folgendermaßen zusammen:

$$IR_{max} = IR_{expl} + IR_{impl} + IR_{trans} \tag{1}$$

mit

$$IR_{impl} = f_1 (IR_{expl}, AS) \tag{2}$$

und

$$IR_{trans} = f_2 (IR_{expl} + IR_{impl}, AS) \tag{3}$$

mit $AS = Adaptionsservice$

Die Funktion $f_1(InfB, AS)$ erzeugt die impliziten Hülle aller abgedeckten Informationsressourcen und die Funktion $f_2 (IR_{expl} + IR_{impl}, AS)$ ermittelt die transitiven Hülle aller durch Adaptionsservice AS erzeugbaren Informationsressourcen. Mit einer weiteren Funktion $f_3(InfB, IR_{max})$ soll zu jeder geforderten Informationsressource $ir \in InfB$ eine Informationsressource aus den projektweit verfügbaren oder erzeugbaren Informationsressourcen IR_{max} in dem Projektinformationsraum (*Project Information Space, PIS*) gefunden werden. Die zurückgegebene Treffermenge ($IR+$) umfasst all diejenigen Informationsressourcen, die geeignet sind, den situativen Informationsbedarf (*Information Need, IN*) zu decken. Über die Treffvarianten der Funktion können folgende analytische Betrachtungen aufgestellt werden (vgl. Abbildung 87):

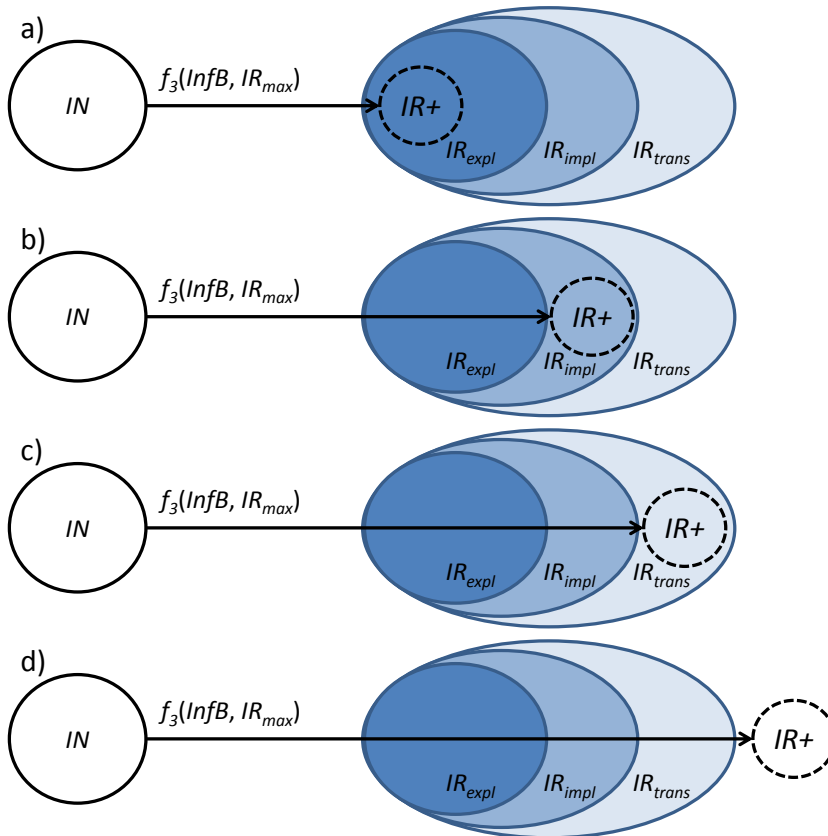


Abbildung 87: Treffvarianten der Zuordnungsfunktion

- a) Der Informationsbedarf lässt sich mit den explizit vorhandenen Informationsressourcen decken. Der benötigte Informationsraum kann direkt aus den Fachmodellen generiert werden.
- b) Die benötigten Informationsressourcen für die Deckung des Informationsbedarfs sind implizit vorhanden. Der Informationsraum kann ebenfalls direkt aus den vorhandenen Fachmodellen generiert werden.
- c) Die benötigten Informationsressourcen lassen sich unter Verwendung von Adaptionservices und der vorhandenen Ressourcen erzeugen. Für die Generierung eines entsprechenden Informationsraumes müssen die jeweiligen Fachmodelle erst adaptiert werden.
- d) Der Informationsbedarf kann weder durch vorhandene noch durch (aktuell) erzeugbare Informationsressourcen gedeckt werden. In dieser Situation ist keine geeignete Informationsversorgung möglich. Entweder müssen Informationsressourcen manuell hinzugefügt werden oder die Erzeugung geeigneter Informationsressourcen muss abgewartet werden.

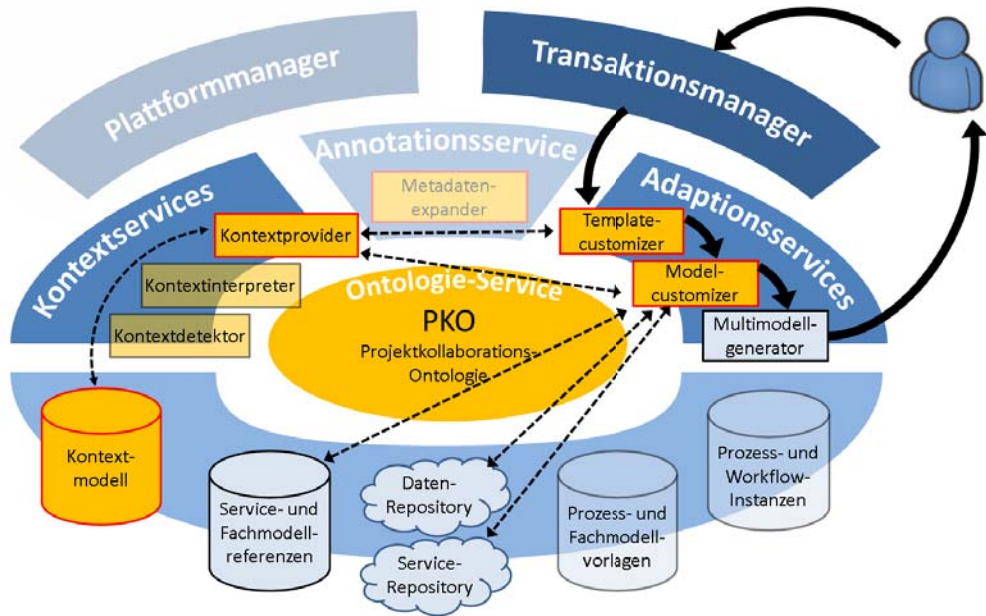


Abbildung 88: Adaptionsrelevante Plattformkomponenten

Kontextgerechte Adaption

Die Verwendung des erweiterten Informationsraumes zur Erfüllung kontextabhängiger Informationsbedürfnisse liefert als Ergebnis eine Anzahl von Referenzen auf Informationsressourcen oder Bildungsvorschriften für adaptierte Informationsressourcen. Diese Informationen dienen als Grundlage für die Erzeugung kontextgerechter Fachmodelle durch den *Modelcustomizer*-Plattformservice. Dafür enthalten sie die Fachmodellreferenz des Quellmodells und die Beschreibung des Adaptionservice (z. B. Filterservice). Zu dieser Beschreibung gehören eine URL (des Service-Repository), unter der ein Service erreichbar ist, die Syntax der Service-Schnittstelle und ggf. die Zugangsdaten. Der *Modelcustomizer* lädt das betreffende Fachmodell aus dem Daten-Repository des Projektinformationsraumes und überträgt es mit den Adaptionspezifikationen an den Adaptionservice. Das Ergebnismodell wird anschließend an den Multimodellgenerator übergeben.

Erzeugung des Multimodells

Die adaptierten Fachmodelle dienen als Grundlage für die Erzeugung kontextgerechter multimodellbasierter Informationsräume durch den *Multimodellgenerator*. Dabei kann der Multimodellgenerator komplett neue Informationsräume erzeugen oder aber vorhandene Informationsräume kontextspezifisch anpassen. Die zweite Vorgehensweise ermöglicht die Weiterverwendung vorhandener Fachmodellverknüpfungen. Entsprechend den Projektvorgaben wird ein Multimodellcontainer (MMC) erzeugt und ggf. verschlüsselt. Dieser MMC wird dem betreffenden Akteur zugesendet oder zur Abholung auf der Kollaborationsplattform bereitgelegt. Abbildung 88 illustriert die Beteiligung der zur Informationsraumerzeugung benötigten Plattformkomponenten.

4.3.6 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde eine Systemarchitektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume mit dem Fokus auf eine kontextgerechte Unterstützung von verteilten Informationsprozessen vorgestellt. Die gezeigte Plattformarchitektur bildet dabei einen Rahmen, der grundsätzlich die Erfüllung der unter Abschnitt 2.2.3 genannten Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung ermöglicht. Da diese Arbeit nur die beiden Problemfelder der Ermittlung kontextabhängiger Informationsbedürfnisse und die kontextgerechte Annotation des Informationsangebotes aus diesem Rahmen herausgreift, wurde die übrige (kontextinvariante) Systemfunktionalität der Kollaborationsplattform nur skizziert (z. B. Fachmodelladaption und Multimodellgeneration). Aufbauend auf der Plattformarchitektur einer Kollaborationsplattform wurden verschiedene Plattformservices und deren Orchestrierung sowohl für die Kontextwertschöpfung, für das Kontextmanagement und für die kontextgerechte Beschreibung vorhandener Informationsräume als auch zur Ableitung kontextbasierter Informationsbedürfnisse beschrieben. Insbesondere wurde der Ansatz des erweiterten Projektinformationsraums beleuchtet und dessen Anwendung für die Ermittlung verwendbarer und erzeugbarer Informationen gezeigt. Die Vorgehensweise zur anschließenden kontextgerechten Adaption vorhandener Fachmodelle und deren Zusammenfassung zur Erzeugung kontextgerechter multimodellbasierter Informationsräume wurde skizziert. Die beschriebene Architektur dient als konzeptioneller Rahmen für die Implementierung eines Informationslogistiksystems, das die Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung erfüllt und somit als Voraussetzung für eine prototypische Implementierung zur Evaluierung dient.

„Für das Können gibt es nur einen Beweis: das Tun.“

(Marie von Ebner-Eschenbach, 1830–1916)

Kapitel 5 **Prototypische Umsetzung**

In dem vorangegangenen Kapitel wurde das Konzept einer kontextbewussten Informationslogistik für eine bedarfsgerechte Informationsversorgung entwickelt. Der Ansatz basiert dabei auf domänenspezifischen Kontextmodellen und multimodellbasierten Informationsräumen. Insbesondere wurden für die Beschreibung adaptiver Informationsräume ContextScript-Regeln als Formalisierungsmethode für Kontextwirkrelationen vorgestellt. Ob der erarbeitete Problemlösungsansatz die Zielsetzung der Dissertation erfüllt und eine darauf aufgebaute kontextbewusste Informationslogistik die kollaborativen Informationsprozesse durch situative Informationsräume wirksam unterstützt, kann nur mit Hilfe einer konkreten Implementierung überprüft werden. Daher werden im Folgenden mehrere prototypische softwaretechnische Realisierungen vorgestellt, die wichtige Schritte für eine erfolgreiche Kontextintegration in existierende multimodellbasierte Bauflächenanwendungen demonstrieren. Die Implementierungen sollen es außerdem ermöglichen, Informationen für eine Bewertung und Verbesserung der entwickelten Lösungen zu erhalten. Daher bilden diese prototypischen Implementierungen neben dem Kontextmodell (Abschnitt 3.2) und der Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume (Abschnitt 4.2) wesentliche Elemente dieser Arbeit.

Der Abschnitt 5.1 beschreibt die prototypische Implementierung eines Kontextwirkeditors, der die beschriebenen Kontextwirkrelationen an die Informationsraumkomponenten annotiert. Der Editor unterstützt die Definition adaptiver multimodellbasierter Informationsraumvorlagen und ist daher ein wesentlicher Teil der informationslogistischen Konzeption zur Erzeugung kontextgerechter multimodellbasierter Informationsräume. Für die Anwendung adaptiver Informationsräume wird in Abschnitt 5.2 ein Ausschnitt der vorgestellten Architektur zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume implementiert. Informationslogistische Plattformservices einer Kollaborationsplattform werten die annotierten Wirkrelationen der adaptiven Multimodellvorlagen auf der Basis eines aktuellen Bearbeitungskontextes aus und generieren einen situativen Informationsbedarf. Auf der Grundlage dieser Vorlage können nachgelagerte Plattformkomponenten geeignete multimodellbasierte Informationsräume erzeugen. In Abschnitt 5.3 wird die prinzipielle Eignung der entwickelten Methodik zur Bewältigung kollaborativer Aufgaben im Bauwesen verifiziert. Dies wird anhand eines baupraktischen Beispielszenarios aus der Projektphase der Ausschreibung und Vergabe veranschaulicht.

5.1 Editor zur Beschreibung adaptiver Informationsräume

Überblick

Die wesentliche Grundlage einer kontextgerechten Informationsversorgung ist der situative Informationsbedarf. In dem erarbeiteten Lösungsansatz wird dieser Informationsbedarf als Multimodellvorlage formalisiert. Für die Beschreibung der Kontextabhängigkeiten der einzelnen Informationsraumelemente wurden in Abschnitt 4.2 *ContextScript*-Regeln eingeführt. Mit diesen Regeln annotierte Multimodellvorlagen können einen kontextabhängigen Informationsbedarf beschreiben und werden als kontextadaptive Multimodellvorlagen bezeichnet. Für die Definition solcher adaptiver Informationsräume wird im Folgenden ein informationslogistischer Kontextwirkeditor vorgestellt. Dieser Editor spielt eine besondere Rolle bei der Überprüfung des erarbeiteten Problemlösungsansatzes, da erst durch die Definition adaptiver Informationsräume eine kontextbewusste Informationslogistik evaluiert werden kann.

5.1.1 Konzeption des Kontextwirkeditors CATED

Die Beschreibung der Kontextwirkungen für die einzelnen Informationsraumattribute wird in der Weise realisiert, dass in ausgewählten Beschreibungsattributen der Multimodellvorlagen Kontextwirkrelationen anstatt der Qualitätsattribute annotiert werden. In einem späteren Anwendungsfall wird eine solche adaptive Informationsraumvorlage zu einer situativen kontextspezifischen Informationsraumvorlage ausgewertet und dient als Grundlage für die Erzeugung eines kontextgerechten Informationsraumes. Die Abbildung 89 illustriert diese Vorgehensweise. Der vorrangige Einsatzzweck des Kontextwirkeditors CATED (*Context Adaptive Template Editor*) besteht in der Unterstützung der Definition kontextadaptiver Multimodellvorlagen. Dabei steht die effiziente Verknüpfung generischer Kontextabhängigkeiten mit domänenspezifischen Annotationsvokabularen im Vordergrund. Der Kontextwirkeditor stellt sowohl grundlegende Funktionen für die Erstellung der *ContextScript*-basierten Kontextwirkrelationen als auch für deren Annotation in der Multimodellvorlage bereit. Die Zielgruppe des Kontextwirkeditors sind Prozessarchitekten (bzw. BIM-Manager) die Kontextabhängigkeiten des Informationsbedarfs nutzen, um die vorgesehenen Informationsräume an den jeweiligen Bearbeitungskontext anzupassen. Im Rahmen der Prozessmodellierung beschreibt der Referenzprozessentwickler die verschiedenen Kontextabhängigkeiten der einzelnen Multimodellaspekte, indem er die gewünschte Kontextwirkung abstrakt als *ContextScript*-Regel innerhalb einer sog. kontextadaptiven Multimodellvorlage (cdMMT) definiert, die gemeinsam mit dem Referenzprozess persistiert wird.

Funktioneller Aufbau des Editors

Der Kontextwirkeditor deckt folgende Gebiete der multimodellbasierten kontextgerechten Informationsversorgung ab:

- als universeller Editor zur Erstellung und Bearbeitung von konventionellen kontextinvarianten Multimodellvorlagen (MMT)
- als kontextbewusstes Bearbeitungswerkzeug für adaptive Vorlagen (cdMMT)
- als Testumgebung für die Auswertung von *ContextScript*-Regeln

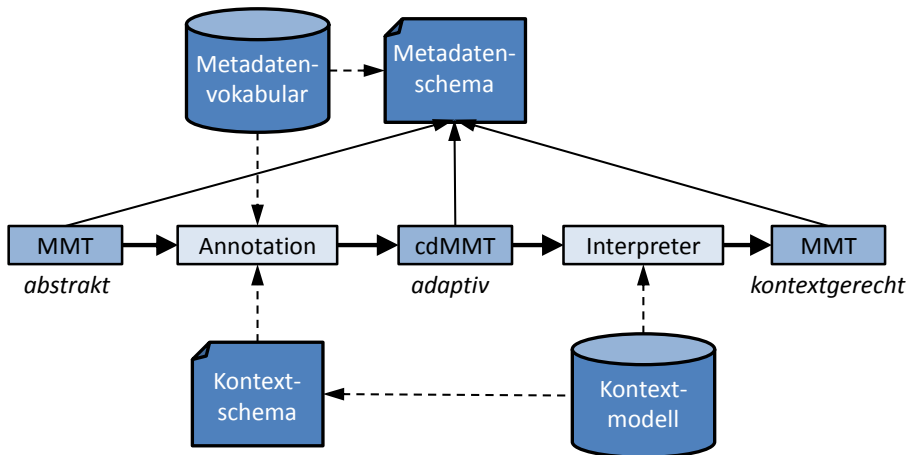


Abbildung 89: Definition kontextadaptiver Multimodellvorlagen

Um den Funktionsumfang für die genannten Einsatzgebiete bereitzustellen, besteht der Editor aus verschiedenen Funktionsmodulen (vgl. Abbildung 90).

Der *Template-Editor* dient zum Bearbeiten von Multimodellvorlagen auf Basis des Multimodellschemas (vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78). Insbesondere können neben kontextinvarianten Multimodellattributen auch kontextabhängige Attribute durch den Einsatz von *ContextScript*-Regeln formuliert werden. Wenn die Multimodellvorlagen bearbeitet wurden, können sie anschließend wieder lokal gespeichert oder auf einer Kollaborationsplattform veröffentlicht werden.

Der *ContextScript-Editor* dient zur Beschreibung von Kontextwirkrelationen in Form von *ContextScript*-Regeln. Diese Regeln werden den kontextabhängigen Multimodellelementen anstatt statischer Attributwerte zugewiesen.

Der *Kontextmodell-View* unterstützt den *ContextScript-Editor* bei der Auswahl der Kontextaspekte durch die Darstellung der Struktur des verwendeten Kontextmodells. Bei der Definition der Regelprämissen der *ContextScript*-Regeln können so die Kontextmodellelemente per Drag and Drop in den *ContextScript-Editor* übernommen werden.

Der *Vokabular-View* stellt die verwendeten Annotationsvokabulare dar und unterstützt damit die Definition der Regelkonsequenz der *ContextScript*-Regeln durch Bereitstellung entsprechender Annotationsvokabulare. Über diese Vokabulare lassen sich darüber hinaus ebenfalls die kontextinvarianten Informationsraumelemente beschreiben. Somit unterstützt diese Komponente sowohl den *ContextScript-Editor* als auch den *Templateeditor*.

Der Kontextwirkeditor ermöglicht die Verwendung verschiedener Annotationsvokabulare und unterschiedlicher Kontextmodelle. Daher müssen Beschreibungsvokabulare und Kontextmodellschemas für die Verwendung als Annotationselemente importiert werden. Diese Funktionalität übernehmen Adapter.

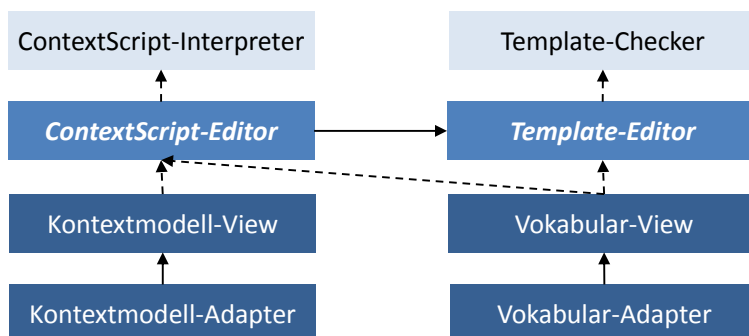


Abbildung 90: Komponenten des Kontextwirkeditors CATED

Der *Kontextmodelladapter* dient der Einbindung des verwendeten Kontextmodells. Dabei kann eine XML-Repräsentation der Kontextontologie, der Projektkollaborationsontologie (vgl. Abschnitt 4.1.3, S. 142) oder ein lokales XML-basiertes Kontextmodell verwendet werden. Der *Vokabular-Adapter* integriert die verwendeten Annotationsvokabulare. Diese können von lokalen Dateien oder über die Webservice-Schnittstellen einer Kollaborationsplattform eingelesen werden.

Der *ContextScript-Interpreter* übernimmt die wesentlichen Aufgaben zum Interpretieren der annotierten Kontextabhängigkeiten. Unter Verwendung einer Kontextmodellinstanz können die Kontextregeln überprüft und getestet werden.

Der *Template-Checker* ist ein Validierungswerkzeug für die durch den *ContextScript-Interpreter* erzeugten Multimodellvorlagen. Er basiert auf *Schematron* und ermöglicht eine inhaltliche und strukturelle Validierung des erzeugten XML-Dokumentes anhand von speziellen Business Rules (Jelliffe, 2001).

5.1.2 Techniken der Implementierung

Für die Implementierung des informationslogistischen Kontextwirkeditors wurden verschiedene aktuelle Technologien verknüpft. Als Ablaufumgebung wurde die *Eclipse-RCP-Plattform*¹⁹⁹ gewählt. Die integrierte Entwicklungsumgebung (IDE)²⁰⁰ *Eclipse* besteht nur aus einem kleinen Kern, dem Eclipse Core, der beim Start sämtliche Funktionalität über Plug-ins nachlädt (Beaton und d Rivieres, 2006). Das Grundgerüst von Eclipse ist dabei das *Equinox-Framework*, eine Implementierung des OSGi-Standards.²⁰¹ Dieses Framework bietet über sog. Extension-Points die Möglichkeit, dynamische Erweiterungen (Extensions) einzubinden, um z. B. Editoren oder Sichten zu realisieren. Diese Erweiterungen werden in sog. OSGi-Bundles gekapselt und können beliebig geladen, gestartet und gestoppt werden, ohne die

¹⁹⁹ Eclipse Rich Client Platform (http://wiki.eclipse.org/Rich_Client_Platform)

²⁰⁰ engl. integrated development environment

²⁰¹ Open Services Gateway initiative (<http://www.osgi.org/Main/HomePage>)

JVM²⁰² anzuhalten. Durch diese Möglichkeit der dynamischen Modularität zur Laufzeit bieten sich die auf dem Equinox-Framework basierenden Eclipse-RCP-Anwendungen für die Entwicklung kontextadaptiver Anwendungen an. Eine Eclipse-RCP-Anwendung verwendet dabei die Basiskomponenten der Eclipse-Plattform²⁰³ und fügt zusätzliche anwendungsspezifische Komponenten (z. B. Editoren oder Viewer) unter Benutzung der Extension-Points hinzu.²⁰⁴ Die Abbildung 91 zeigt den strukturellen Aufbau des CATED-Editors. Der wesentliche Bestandteil der Applikation ist der Multimodellvorlagen-Editor. Für dessen Implementierung wurde das Modellierungsframework *Eclipse Modeling Framework* (EMF)²⁰⁵ verwendet. EMF bietet eine effiziente Werkzeugunterstützung sowohl für die Modellierung als auch für die Codegenerierung nach dem Paradigma der modellgetriebenen Softwareentwicklung (Model Driven Architecture, MDA).²⁰⁶ Die modellgetriebene Vorgehensweise führt eine neue Ebene der Abstraktion bei der Softwareentwicklung von Informationssystemen ein und trennt die Spezifikation der Systemfunktionalität von der Beschreibung der plattformspezifischen Implementierung. EMF ermöglicht es somit, auf der Grundlage eines Domänenmodells, in dem Elemente und deren Beziehungen untereinander in einer spezifischen Anwendungsdomäne beschrieben werden, modellzentriert vollautomatisch entsprechende Editoren zur Visualisierung und Bearbeitung entsprechender Modelle zu generieren (Gronback, 2009). Die für den Lösungsansatz genutzten Modelle (Kontextmodell, Multimodellcontainer und Multimodellvorlagen) wurden auf XML-Schemas abgebildet und zur Erzeugung entsprechender Editoren und Views verwendet. Um einen anwendungsspezifischen Editor für die Bearbeitung von *ContextScript*-Regeln zu erzeugen, wurde über das Erweiterungskonzept der *Eclipse-RCP*-Plattform ein spezielles Framework zur Definition einer textuellen Syntax für domänenspezifische Sprachen (DSL)²⁰⁷, das sog. *EMFText*, als Contribution-Plug-in genutzt. Eine DSL wird durch ein Ecore-Metamodell beschrieben und erlaubt die automatische Erzeugung der entsprechenden sprachspezifischen Parser, Interpreter und Editoren (Heidenreich et al., 2009).

²⁰² Die Java Virtual Machine (JVM) ist der für die Ausführung des Java-Bytecodes verantwortliche Teil der Java-Laufzeitumgebung (Java Runtime Environment, JRE).

²⁰³ z. B. die Benutzungsschnittstelle Eclipse UI, die wiederum auf SWT-Komponenten verwendet.

²⁰⁴ Einen Überblick über Verwendung und Anpassung von Eclipse RCPs geben Blewitt (2013) und Vogel (2012).

²⁰⁵ Eclipse Modeling Framework, EMF (<http://www.eclipse.org/emf>)

²⁰⁶ Die Model Driven Architecture (MDA) ist ein von der OMG (Object Management Group, <http://www.omg.org>) 2001 standardisierter Ansatz für eine Architektur, die in Modellen ausgedrückte Spezifikationen als strukturierte Entwicklungsrichtlinien der Softwareentwicklung verwendet (Miller et al., 2001). MDA greift dabei auf bereits vorhandene Standards wie UML, MOF (Meta Object Facility) und XMI (XML Metadata Interchange) zurück (Fowler, 2004; Object Management Group, 2002; Object Management Group, 2003).

²⁰⁷ Domain specific languages (DSL); einen Überblick gibt Fowler (2010).

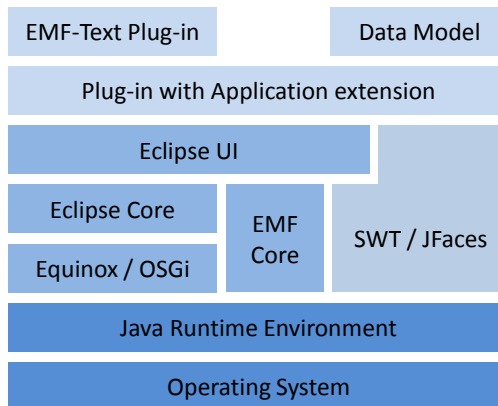


Abbildung 91: Aufbau des Kontextwireditors als Eclipse-RCP-Anwendung

Für die Implementierung des CATED-Editors wird *ContextScript* als DSL verwendet und ein entsprechender Editor für *ContextScript*-Regeln erzeugt, der im Wesentlichen auf das von *EMFText* erzeugte Editorgerüst aufsetzt. Die automatische Syntaxhervorhebung und das Code Completion²⁰⁸ unterstützt dabei das Aufstellen von *ContextScript*-Regeln. Mit der Verwendung von *Eclipse RCP* und *EMFText* wird auf etablierte Lösungen zurückgegriffen und eine aufwendige proprietäre Eigenimplementierung vermieden.

5.1.3 Aufbau der Benutzungsoberfläche

Die Grafische Benutzungsoberfläche des Kontextwireditors umfasst mehrere Funktionsbereiche. Neben RCP-typischen Windowelementen (z. B. Menüleiste, Statusleiste und Bildlaufleisten) werden die wesentlichen Editorelemente in einzelnen Unterfenstern dargestellt, die durch den Anwender flexibel angeordnet werden können. Abbildung 92 zeigt eine mögliche Aufteilung der grafischen Oberfläche des Kontextwireditors. Sie besteht aus folgenden Unterfenstern: (1) Die Baumansicht der Multimodellvorlagen, (2) das Propertyfenster der Multimodellvorlage, (3) die Gliederungssicht des Kontextmodells und (4) der *ContextScript*-Editor mit aktiver Syntaxhervorhebung. Der Kontextwireditor unterstützt das Aufstellen der *ContextScript*-Regeln auf mehrere Arten. Zum einen wird für die Formulierung der Regelprämisse eine Hilfestellung durch die Strukturdarstellung des verwendeten Kontextmodells gegeben. Hier können informationslogistisch relevante Kontextaspekte ausgewählt (Fenster 3) und per Drag and Drop in die Regelprämisse übernommen werden (Fenster 4). Zusätzlich kann für die Vereinfachung der Auswahl der Informationsraumattributwerte in der Regelkonsequenz das verwendete Annotationsvokabular dargestellt werden (in Abbildung 92 nicht dargestellt).

²⁰⁸ Automatisch erzeugte Vorschläge zur kontextgerechten Vervollständigung der Regel.

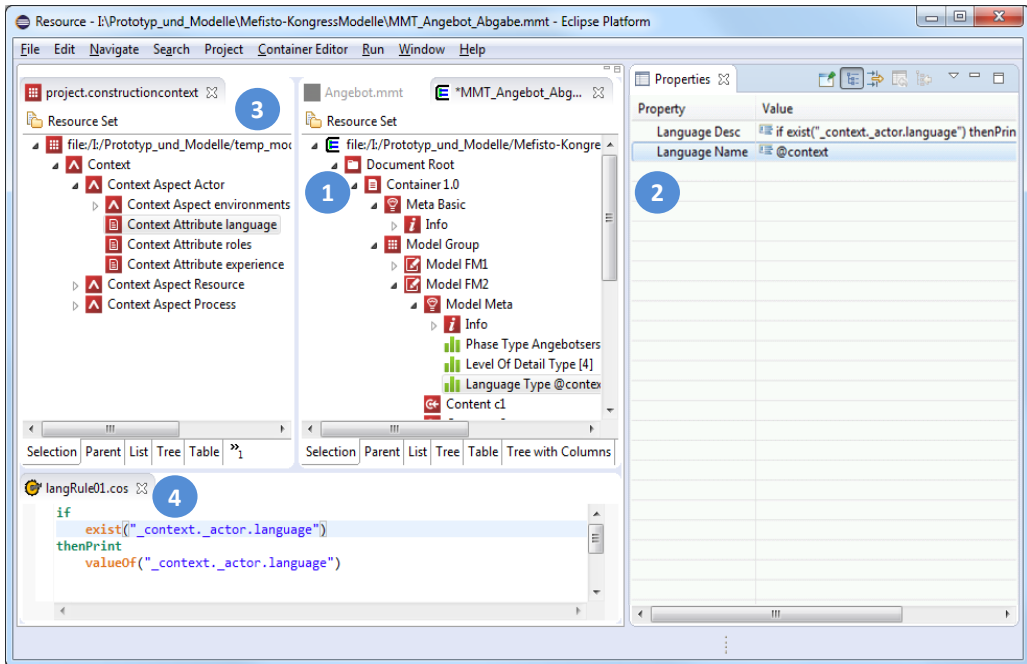


Abbildung 92: Grafische Benutzungsoberfläche des Kontexteditors

5.1.4 Erstellen kontextadaptiver Multimodellvorlagen

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Verwendung des Kontextwirkeditors zur Erstellung kontextadaptiver Multimodellvorlagen beschrieben. Als Umfeld wird ein Bauprojekt angenommen, das multimodellbasierte Referenzprozesse zur Organisation der kollaborativen Informationsprozesse verwendet. Ein BIM-Manager erstellt einen multimodellbasierten Referenzprozess, um die Kontextabhängigkeiten der verknüpften Informationsräume zu beschreiben.

Laden der Multimodellvorlagen

Für eine Annotation der Multimodellvorlagen müssen diese zunächst erst einmal geöffnet bzw. erzeugt werden. Entweder wird eine vorhandene Multimodellvorlage geladen, oder eine neue Vorlage wird erstellt, die durch das schrittweise Zufügen von Knoten, entsprechend dem Multimodellschema, zu einer Multimodellvorlage erweitert werden kann. Die einzelnen kontextinvarianten Attribute des Multimodells können anhand des vorgegebenen Annotationsvokabulars beschrieben werden, das über den Menüpunkt Datei geladen werden kann.

Annotieren der Kontextwirkrelationen

Zur Abbildung von Kontextwirkrelationen werden ContextScript-Regeln verwendet. Hierfür können in dem Unterfenster des ContextScript-Editors entsprechende Regeln, bestehend aus Regelprämisse und Regelkonsequenz, erstellt und bearbeitet, aber auch geladen und gespeichert werden. Während die Regelprämisse vorrangig Kontext- und Informationsraumattribute adressiert,

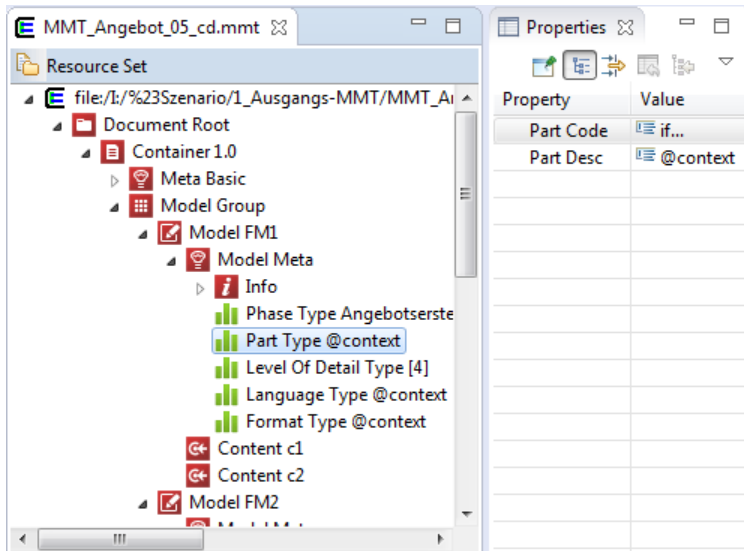


Abbildung 93: ContextScript-Regel als Fachmodellattribut

benutzt die Regelkonsequenz entsprechende Vorlagenattributwerte aus dem Beschreibungsvokabular. Für die Bearbeitung der Regelprämisse ist es hilfreich, neben den Annotationsvokabularen auch das Kontextmodellfenster geöffnet zu halten, um mittels Drag and Drop diejenigen Kontextattribute aus dem Kontextmodell auszuwählen, die der Bearbeiter für informationslogistisch relevant hält. Zur Beschreibung der Regelkonsequenz können entsprechende Attributwerte aus dem Annotationsvokabular in ähnlicher Weise verwendet werden. Während in der Regelprämisse die auszuwertenden Kontextattribute angegeben werden, repräsentiert die Regelkonsequenz die kontextabhängigen Ausprägungen der jeweiligen Attributwerte. Diese Regeln unterscheiden sich dabei von konkreten Attributwerten durch das vorangestellte Präfix „@context“ und werden im Rahmen einer manuellen Annotation den Multimodellvorlagen zugefügt (vgl. Abbildung 93). Die erstellten *ContextScript*-Regeln können dann abschließend als Attributwerte der Multimodellvorlage übernommen werden. Zusätzlich kann für die Definition von Kontextabhängigkeiten auf vordefinierte *ContextScript*-Regeln zurückgegriffen werden, die häufig verwendete Kontextwirkrelationen repräsentieren. So können verschiedene Bedingungen formuliert werden (z. B. die Modellsprache abhängig von der Landessprache des Akteurs, die Modellaktualität nicht älter als fünf Monate, der Modellausschnitt entsprechend der Prozessbeschreibung). Zusätzlich zu den Fachmodellqualitäten und Verknüpfungen kann der Informationsraumarchitekt, bzw. der BIM-Manager weitere arbeitsunterstützende Informationen vorsehen (z. B. passende Leitlinien/Vorgaben/Regeln, vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78).

Speichern der adaptiven Multimodellvorlagen

Der Informationsraumarchitekt definiert somit mit Hilfe des Kontextwirkeditors den kontextadaptiven Informationsraum, der anschließend als kontextadaptive Multimodellvorlagen (context dependent Multi Model Template, cdMMT) lokal gespeichert oder auf eine Kollaborationsplattform hochgeladen werden kann.

Auswerten der adaptiven Informationsraumvorlage

Bei einer späteren Anwendung in einem spezifischen Bearbeitungskontext können die annotierten Abhängigkeiten eines cdMMT gezielt ausgewertet werden. Dazu werden zum Anwendungszeitpunkt die ContextScript-Regeln durch einen *ContextScript*-Interpreter anhand des aktuellen Kontextmodells zu einer kontextgerechten Multimodellvorlage ausgewertet. Für Testzwecke kann diese Auswertung der adaptiven Informationsraumvorlagen durch den *ContextScript*-Interpreter innerhalb des Editors getestet werden. Auf der Grundlage einer Kontextmodellinstanz werden die ContextScript-Regeln durch das Regelsystem ausgewertet und es wird eine kontextgerechte Multimodellvorlage erzeugt. Diese Auswertung geschieht zweistufig:

- Ersetzen aller Kontextvariablen durch die entsprechenden Kontextparameter
- Auswerten der Regelprämisse durch Regelinterpreter und Setzen der entsprechenden Vorlagenattributwerte der Regelkonsequenzen

Auf diese Weise kann die spätere Verwendung (z. B. im *Templatecustomizer*-Plattformservice, vgl. Abschnitt 4.3.4, S. 172) simuliert und die Funktionsweise der Kontextwirkrelationen getestet werden. Eine solchermaßen ausgewertete kontextadaptive Multimodellvorlage repräsentiert den kontextspezifischen Informationsbedarf und dient als Basis der Erzeugung kontextgerechter Informationsräume.

5.1.5 Zusammenfassung

Eine zentrale Herausforderung des entwickelten Konzeptes einer kontextbewussten Informationslogistik stellt die Abbildung der Kontextabhängigkeit der Multimodellvorlagen dar. Zur Formalisierung dieser Kontextabhängigkeiten wurde bereits die Regelsprache ContextScript vorgestellt, womit Kontextwirkrelationen für einzelne Informationsraumelemente definiert werden können. Als Grundlage für die Definition adaptiver Informationsräume wurde in diesem Abschnitt die Implementierung des Kontextwirkeditors CATED beschrieben, der wesentliche Funktionen zur Bearbeitung der *ContextScript*-basierten Kontextwirkrelationen und damit für die Definition adaptiver multimodellbasierter Informationsräume bereitstellt. Neben den Grundfunktionen für das Lesen und Schreiben von Multimodellvorlagen können für die Annotation der *ContextScript*-Regeln verschiedene Annotationsvokabulare und Kontextmodellschemas integriert werden. Ein wesentlicher Vorteil des entwickelten Editors ist, neben der komfortablen Zuordnung von Kontextattributen zu Informationsraumelementen per „Drag and Drop“, die Erzeugung einer validen adaptiven Multimodellvorlage, die dem vereinbarten Multimodellschema und dem Annotationsvokabular entspricht. Der Kontextwirkeditor stellt darüber hinaus Validierungswerkzeuge und Kontextanalysewerkzeuge zur Verfügung. Um den größtmöglichen Effekt für die kontextgerechte Informationsversorgung in Bauprojekten zu erreichen, müssen für die adaptiven Multimodellvorlagen sinnvolle Wirkrelationen gefunden werden. Dabei wird deutlich, dass die informationslogistische Bedeutung eines Kontextmerkmals auch von dessen Abbildbarkeit auf Informationsraumelemente abhängt.

5.2 Informationslogistik einer kontextbewussten Kollaborationsplattform

Überblick

Als Anwendungsumfeld einer kontextbewussten Informationslogistik wurde in Abschnitt 4.3 ein Konzept für eine *Kollaborationsplattform* vorgestellt, mit der kollaborative Informationsprozesse durch kontextgerechte Informationsräume unterstützt werden. Für die Verifizierung dieses Konzeptes wird in diesem Unterkapitel die prototypische Implementierung einzelner informationslogistisch relevanter Plattformkomponenten beschrieben. Insbesondere werden diejenigen Plattformdienste betrachtet, die annotierte Wirkrelationen adaptiver Multimodellvorlagen auf der Basis eines aktuellen Bearbeitungskontextes zu einem situativen Informationsbedarf auswerten und entsprechend geeignete multimodellbasierte Informationsräume erzeugen. Insgesamt gliedert sich dieses Unterkapitel in fünf Teilabschnitte. Im Anschluss an diese Einleitung wird ein Überblick über die wesentlichen Plattformkomponenten und die genutzten Technologien bei der technischen Realisierung der Plattform gegeben. Insbesondere wird hier das Zusammenspiel der informationslogistischen Plattformdienste bei der Ermittlung des kontextbasierten Informationsbedarfs und der Erzeugung kontextgerechter Informationsräume dargestellt. Abschnitt 5.2.3 skizziert die Kontextwertschöpfung der Plattformdienste für Kontextermittlung, Kontextverwaltung und Kontextkommunikation. In den beiden darauffolgenden Abschnitten werden die Plattformdienste für die Kontextanwendung beschrieben. Dabei handelt es sich zum einen um die kontextbasierte Analyse des situativen Informationsbedarfs und zum anderen um die darauf aufbauende Multimodellerzeugung.

5.2.1 Plattformkomponenten und Implementierungstechniken

Die allgemeine Konzeption der kontextbewussten Kollaborationsplattform sowie deren intendierte Verwendung wurden bereits in Abschnitt 4.3 eingehend vorgestellt. Die dort beschriebene Architektur setzt das Kontextintegrationskonzept dieser Arbeit um und ermöglicht es informationslogistischen Plattformkomponenten, Kontextinformationen für eine situative Informationsversorgung zu nutzen. Der beschriebene Ansatz basiert dabei auf einer semantischen multimodellfähigen Dienstplattform, die als Projektkollaborationsplattform die Infrastruktur für eine kollaborative Nutzung von multimodellbasierten Informationsräumen bereitstellt und den koordinierten Austausch von Multimodellcontainern zwischen den Projektpartnern durch kollaborative Informationsprozesse unterstützt.²⁰⁹ Auf einer Projektkollaborationsplattform im Bauwesen werden kollaborative Informationsprozesse durchgeführt, um Bauausführungsprozesse zu planen, zu kontrollieren und ggf. zu simulieren. Um die Informationslogistik einer solchen Plattform um das Konzept der kontextadaptiven Informationsräume zu erweitern, müssen weitere Plattformkomponenten für die Kontextermittlung, Kontextverwaltung und Kontextanwendung hinzugefügt werden. Es wird angenommen, dass die Modellinformationen des Bauprojektes bei den einzelnen Projektpartnern

²⁰⁹ Eine solche Kollaborationsplattform wird von Popescu et al. (Scherer, 2014, S. A5) vorgestellt.

verteilt gespeichert sind und dort in unterschiedlichen Granularitäten, Fachsichten und proprietären Dateiformaten vorgehalten werden. Ein wesentliches Ziel der Kollaborationsplattform ist es, diese verteilt gespeicherten einzelnen oder auch gekoppelten Fachmodelle projektweit für die Anwendungssysteme der Projektpartner nutzbar zu machen. Die beteiligten Projektpartner werden als Teil einer Virtuellen Organisation (VO)²¹⁰ im Hinblick auf die Authentisierung und Autorisierung mit bekannten Standards wie RBAC und ABAC behandelt (Hilbert et al., 2010). Die Kommunikation zwischen den Partnern wird in transparenter Weise durch den Informationsaustausch auf der Basis harmonisierter Multimodellcontainer organisiert. Die Zusammenarbeit basiert auf vorgegebenen Referenzprozessen und der Projektkollaborationsontologie (PKO) (vgl. Abschnitt 4.1, S. 129). Werkzeuge für die Referenzmodellierung von Prozess-, Bauwerks- und Baustellenmodellen werden vorausgesetzt.

Architekturkonzept der Plattform

Für die Verifizierung des Ansatzes wurden prototypisch Ausschnitte einer *kontextbewussten* Kollaborationsplattform implementiert. Diese sog. CP³-Plattform (*Context Processing Construction Project Collaboration Plattform*) wurde auf der Basis von Webservice-Technologien als Serviceorientierte Architektur (SOA) realisiert. Das inzwischen etablierte Architekturkonzept SOA wurde bereits 1996 erstmals diskutiert und beschreibt ein abstraktes, technologieunabhängiges Architekturkonzept, das durch lose Kopplung wiederverwendbarer Softwarebausteine (sog. Services bzw. Dienste) verteilte Systeme für die unternehmensinterne und -übergreifende Kommunikation aufbaut (Schulte und Natis, 1996). Die wesentliche Intention besteht darin, eine Interoperabilität zwischen Maschinen (bzw. Softwaresystemen) zu ermöglichen. Dazu werden fachlich zusammengehörende grundlegende Funktionen durch autonome und plattformunabhängige Dienste gekapselt und über eine standardisierte Service-Schnittstelle bereitgestellt. Diese Schnittstelle wird durch die Webservice Definition Language (WSDL)²¹¹ formal beschrieben und gewährleistet die strikte Abstrahierung von sämtlichen Aspekten der Service-Implementierung (z. B. Programmiersprache oder Entwicklungsplattform). Diese Architektur ermöglicht die Umsetzung wichtiger softwaretechnischer Grundsätze, wie *Datenkapselung* und *Information-Hiding* (Booch et al., 2008). Die Realisierung von SOA-Szenarien erfolgt typischerweise auf der Basis von zustandslosen und robusten Services²¹². Die wesentlichen Elemente einer SOA-Architektur bestehen aus Services, Dienstverzeichnissen und Servicebus und basieren auf allgemein eingeführten Protokollen und Standards, die vom W3C in einer eigenen Arbeitsgruppe betreut werden (W3C 2004). Der service- und rechnerübergreifende Nachrichtenaustausch findet auf der Grundlage des

²¹⁰ Eine Virtuelle Organisation eines Bauprojekts wird beispielsweise von Hilbert et al. (Scherer, 2014, S. A6) beschrieben.

²¹¹ Web Services Description Language; <http://www.w3.org/TR/wsdl/>

²¹² Ob die Services als Gridservices (Foster und Kesselman, 2004) oder als Cloudservices (Baun et al., 2009) realisiert werden, spielt hierbei eine untergeordnete Rolle. Daher wird in der Arbeit der allgemeine Begriff Service anstatt Webservice oder Gridservice verwendet.

XML-basierten standardisierten Übertragungsprotokolls *SOAP* (Simple Object Access Protocol) statt. Die Methodenaufrufe werden über *Remote Procedure Calls* (RPC) realisiert. Für die Geschäftsprozessmodellierung und die automatisierte Ausführung von Workflows lassen sich einzelne Services zu beliebig komplexen Geschäftsprozessen zusammenfügen. Diese sog. *Service-Orchestrierung* wird durch Standards wie *BPMN*²¹³ oder *BPEL*²¹⁴ beschrieben. Für die Wahl der SOA-Plattformarchitektur waren unterschiedliche Gründe ausschlaggebend:

- SOA ist komponentenorientiert und bietet eine flexible Konfiguration. Insbesondere die Kapselung der Funktionen als Plattformdienste ermöglicht eine sprachneutrale und plattformunabhängige Entwicklung neuer Plattformkomponenten. Einzelne Dienste können ausgetauscht oder der Funktionsumfang durch neue Module erweitert werden.
- Da SOA auf etablierten Normen und allgemeinen Standards aufbaut, steht die Kollaborationsplattform allen Baubeteiligten gleichermaßen offen.
- Die XML-basierte SOAP-Kommunikation vermeidet eine unnötige Heterogenität und hat als textbasiertes Übertragungsprotokoll keine Probleme mit Firewalls oder Proxies wie vergleichbare Ansätze (z. B. RMI oder CORBA).
- Ein weiterer Vorteil ist die verfügbare Werkzeugunterstützung. So ermöglichen existierende Tools das automatische Erstellen von Webservices aus vorhandenen Softwarefragmenten sowie die automatische Generierung von WSDL-gerechten Clients aus der Schnittstellenbeschreibung vorhandener Plattformdienste (Richardson und Ruby, 2008).
- Um die Inkompatibilitäten einzelner domänenspezifischer Insellösungen durch eine gemeinsame Kommunikations- und Informationsbasis aufzubrechen, wird im Bauwesen bereits der Ansatz der serviceorientierten Architektur verfolgt (z. B. Klauer, 2005).
- Für die Modellierung von häufig wiederkehrenden Prozessen werden im Bauwesen Referenzprozesse verwendet. Die Ausführung und Instanziierung solcher Prozesse kann ideal durch eine prozessorientierte Orchestrierung von Webservices einer SOA unterstützt werden.
- Nicht zuletzt bietet eine webbasierte Lösung die Möglichkeit der Nutzung in verschiedenen Umgebungen (z. B. mobilen Szenarien).

²¹³ Business Process Modeling Notation (BPMN) ist eine grafische Spezifikationsprache, mit der Geschäftsprozesse und Arbeitsabläufe modelliert und dargestellt werden können (Allweyer, 2009).

²¹⁴ Die Business Process Execution Language (BPEL) wurde 2002 von IBM, BEA und Microsoft veröffentlicht und ermöglicht die Beschreibung von Geschäftsprozessen, deren einzelne Prozessaktivitäten als Services implementiert sind (Jordan et al., 2007).

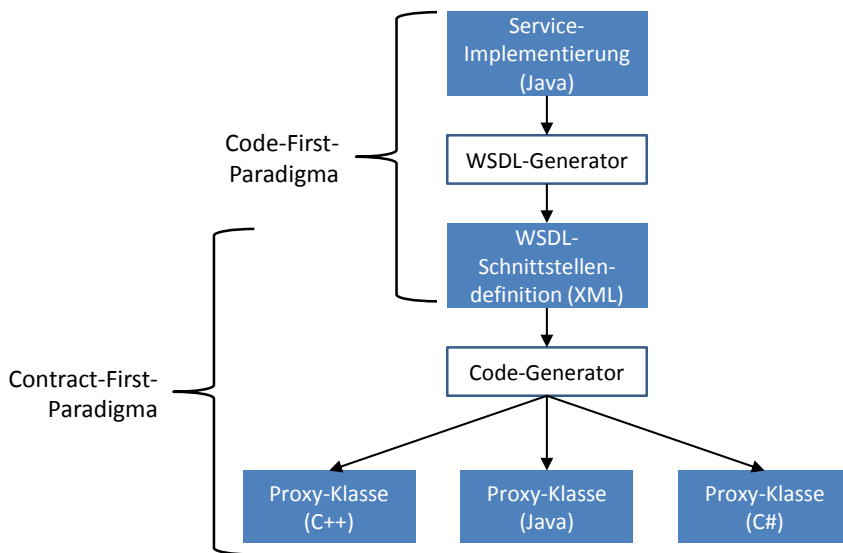


Abbildung 94: Code-First- und Contract-First-Unterstützung durch Axis²¹⁵

Ein Nachteil der SOAP-Kommunikation besteht in ihrer Komplexität. Die Erstellung von Clients und Services abseits gängiger Werkzeuge erfordert gute Programmierkenntnisse (Melzer, 2010; Richardson und Ruby, 2008). Zusätzlich wird beim Methodenaufruf der SOAP-Services ein großer Overhead durch die XML-Kodierung sowie die Kapselung in HTTP erzeugt, der sich negativ auf die Geschwindigkeit auswirkt und somit eine deutlich geringere Effizienz des SOAP-Protokolls gegenüber anderen Ansätzen bewirkt (Löwenstein, 2011). Der Einsatz von Webservices kann zudem ein Sicherheitsrisiko erzeugen, weshalb geeignete Maßnahmen für eine Verschlüsselung ergriffen werden müssen. Ein Überblick über verschiedene Ansätze zur Absicherung von Webservices findet sich unter (Naedele, 2003).

Techniken der Implementierung

Die Implementierung der Plattformdienste basiert auf Java JDK 1.7.0_55 (JavaSE Development Kit 7). Als Entwicklungsumgebung wurde die Eclipse IDE for Java EE Developers in der Version 3.4.0 genutzt. Für diese IDE existieren eine Vielzahl von Frameworks und Plugins für die Entwicklung serviceorientierter Architekturen in verschiedenen Programmiersprachen, die eine Implementierung von SOAP-Webservices wesentlich erleichtern.

So bietet die Apache Software Foundation das Toolkit *Apache Axis*²¹⁶ oder Microsoft das *.NET Framework*²¹⁷ an. Da die Implementierung der Plattformdienste auf Java basiert, wurde für die Erzeugung der Plattformdienste das Toolkit *Apache Axis* gewählt. Als Umsetzung des

²¹⁵ Nach (Frotscher et al., 2010).

²¹⁶ *Apache Axis* der Apache Software Foundation ; <http://axis.apache.org/axis2/>

²¹⁷ Das *.NET Framework* von Microsoft; <http://msdn.microsoft.com/de-de/vstudio/aa496123/>

*Code-First-Paradigmas*²¹⁸ ermöglicht der Axis2-JavaToWSDL-Generator die automatische Erzeugung von WSDL-Definitionen für vorhandene Java-Klassen, indem aus den komplexen Java-Klassen XML-Schematypen generiert werden. Der Generator funktioniert leider nicht fehlerfrei, gelegentlich müssen die WSDL-Beschreibungen von Hand nachgebessert werden (Frotscher et al., 2010, S. 55). Umgekehrt können aus bestehenden WSDL-Definitionen durch Anwendung des *Contract-First-Paradigmas*²¹⁹ Webservices- oder Client-Skelette (sog. Stubs) in unterschiedlichen Programmiersprachen erstellt werden, deren Methoden der Schnittstellenbeschreibung entsprechen. Abbildung 94 illustriert die Verwendung der AXIS-Werkzeuge bei der Entwicklung serviceorientierter Architekturen.

Axis ermöglicht über ein Servlet dem Webserver *Apache*²²⁰ das Hosten und Verwalten von SOAP-Webservices. Als Serverumgebung für die Plattform diente die *XAMPP*²²¹-Distribution für Windows in der Version 1.6.1. Aus diesem Paket wurden insbesondere die Komponenten *Apache Tomcat Server Version 6.0.18* mit *Axis2 1.4*-Erweiterung genutzt. Für die Persistenz der semantischen Daten sorgt die relationale Datenbank *MySQL*²²² Version 5.0.37. Auf diese Datenbank setzt auch das JENA-Framework auf, das die Ontologien persistiert (vgl. Abschnitt 5.2.2, S. 196). Das Plattform-Repository für die Ablage der auf der Plattform zentral gespeicherten Fachmodelle und Multimodellcontainer wurde bei diesem Prototyp über ein lokales Serverlaufwerk realisiert. In einem produktiven Umfeld ist hier die Anbindung eines leistungsfähigeren Stagesystems sinnvoll (z. B. Windows Azure Storage, Cloud Storage). Als Informationsressourcen der Plattform werden intern verfügbare Informationsquellen betrachtet. Die Kollaborationsprozesse verwenden hauptsächlich die auf der Plattform projektweit zugänglichen Informationsressourcen, die sich unterteilen in Instanzen von Fachmodellen und Multimodellcontainern und Vorlagen für Prozesse, Fachmodelle und Multimodelle. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, externe Informationsquellen anzubinden.

Komponenten der Kollaborationsplattform

Die Informationslogistik einer multimodellfähigen Kollaborationsplattform wird durch eine Reihe von Plattformdiensten repräsentiert. Im Einzelnen sind das:

- *Plattformdienste* für das Management der virtuellen Projektorganisation (Nutzer der Virtuellen Organisation des Bauprojektes).

²¹⁸ Beim Code-First-Ansatz (auch als Top-Down bekannt) wird durch ein Generierungswerkzeug aus einem vorhandenen Programmcode ein WSDL-Dokument erstellt.

²¹⁹ Beim Contract-First-Paradigma werden durch Generierungswerkzeuge aus vorhandenen Schnittstellenbeschreibungen adäquate Code-Fragmente erzeugt.

²²⁰ Webserver Apache (<http://httpd.apache.org/>)

²²¹ XAMPP ist ein Open-Source-Paket, das als Entwicklungsumgebung eine Apache-Distribution, MySQL, PHP und Perl enthält (<https://www.apachefriends.org/de/>).

²²² MySQL ist ein weit verbreitetes relationales Open-Source Datenbankverwaltungssystem (<http://www.mysql.de/>).

- *Plattformdienste* zur Verwaltung der Projektinformationen. Dazu gehört eine Registry, die semantische Daten aller Fachmodelle, Multimodelle und Prozessinstanzen verwaltet.
- *Plattformdienste zur Verwaltung der* zentralen und dezentralen Anwendungsdienste. Hier verwaltet ein Registry-Dienst die semantischen Daten und Referenzen zu internen und externen Plattformdiensten (z. B. für das Filtern von IFC-Modellen) sowie Adaption-Workflows.
- Plattformdienste zum Multimodellmanagement verwalten die Multimodellcontainer, die über die Plattform ausgetauscht wurden, in einem zentralen Datenspeicher.
- *Plattformdienste zur Vorlagenverwaltung* verwalten zentrale Kataloge mit Multimodellvorlagen (MMT), Fachmodellvorlagen und Referenzprozessen.
- *Plattformdienste* zur Verwaltung der **Annotationsvokabulare** stellen Vokabulare für die einheitliche Annotation der Multimodelle bereit.
- *Plattformdienste der Prozesssteuerung* für die Steuerung der Informations- und Kommunikationsprozesse auf der Grundlage von Workflowmodellen.

Um die Informationslogistik um das Konzept der kontextadaptiven Informationsräume zu erweitern, sind zusätzlich zu der Bibliothek der adaptiven Multimodellvorlagen weitere Plattformkomponenten für die Kontextermittlung, Kontextverwaltung und Kontextanwendung notwendig:

- (1) *Plattformdienste* der Kontextwertschöpfung (Contextservices), dazu gehören Kontextdienste für die Ermittlung, Analyse und Verwaltung von Kontextinformationen.
- (2) *Plattformdienst* für die Informationsbedarfsermittlung (Templatecustomizer), der den kontextbasierten Informationsbedarf analysiert.
- (3) *Plattformdienst* für die Fachmodelladaption (Modelcustomizer), der die kontextgesteuerte Informationsfilterung und -transformation organisiert.
- (4) *Plattformdienste* für die Informationsraumerzeugung (Multimodellgenerator).

In der Abbildung 95 sind die einzelnen Plattformdienste in einem Komponentendiagramm dargestellt. In Anhang A5 werden die entsprechenden WSDL-Schnittstellendefinitionen aufgelistet, die angebotene oder genutzte Endpoints, unterstützte Operationen sowie die Bezeichnungen der zugehörigen Input- und Output-Nachrichten repräsentieren.

Umgebung für die Plattformentwicklung

Um die Funktionen und die Kommunikation der verschiedenen Plattformdienste zu testen und zu demonstrieren wurde ein selbstentwickeltes *PHP Platform Developer Framework* eingesetzt. Dieses besteht aus einer PHP-basierten Umgebung und gestattet ein vereinfachtes Management der verknüpften Plattformservices. Die WSDL Beschreibungen der Webservices werden ausgewertet und zu jeder Methode können Informationen wie Funktion, Version, Ein- und Ausgabeparameter und der Implementierungsstand hinterlegt und ggf. Entwicklungspartnern kommuniziert werden. Zusätzlich lassen sich Testfälle hinterlegen, um sowohl die Erreichbarkeit und Funktionalität der Plattformservices zu testen als auch ad hoc

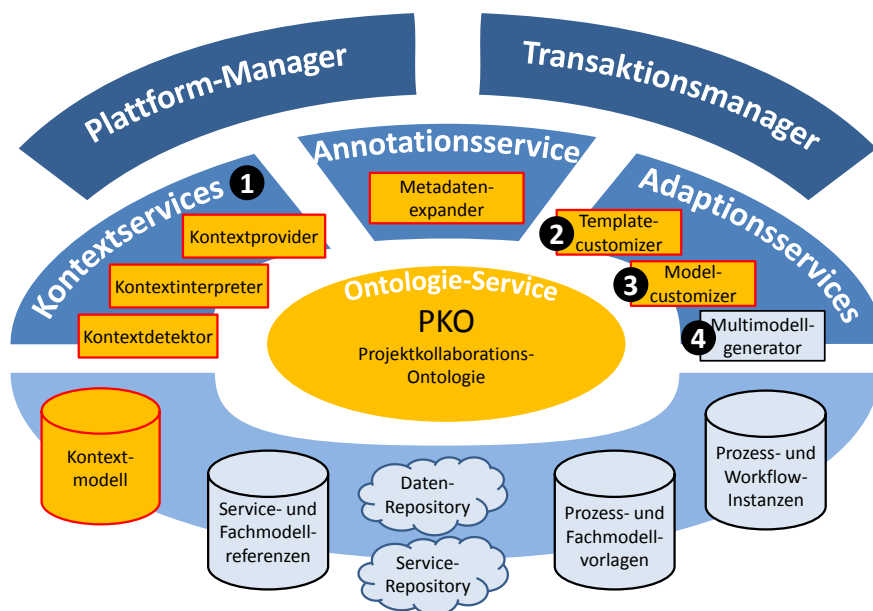


Abbildung 95: Plattform für kontextgerechte Informationslogistik

Anwendungsmöglichkeiten demonstrieren zu können. Die Abbildung 96 zeigt die Schnittstellenübersicht des PlattformManagerDienstes.

Kommunikation mit den Plattformdiensten

Anwender können die Funktionen der Plattformdienste verwenden, indem sie über das SOAP-Protokoll auf die durch entsprechende WSDL-Dokumente nach außen zur Verfügung gestellten Dienstmethoden zugreifen.

Als prototypische Fachanwendung wurde der Kontextwirkeditor (vgl. Abschnitt 5.1, S. 180) durch eine Webservice-Schnittstelle zu einem *Rich Client*²²³ erweitert. Dadurch kann der Editor direkt auf die Funktionen der Plattform zugreifen und bietet die Möglichkeit, adaptive Multimodellvorlagen direkt auf der Kollaborationsplattform abzulegen. Somit ist es relativ komfortabel möglich, Multimodellvorlagen von der Plattform herunterzuladen, zu adaptiven Informationsraumvorlagen umzuwandeln und anschließend wieder auf der Plattform zu veröffentlichen. Zu Demonstrationszwecken wurde ein webbasierter Client implementiert, mit dem die verschiedenen Plattformdienste getestet werden können. Der Client fragt über das SOAP-Protokoll den Transaktionsmanager an und überträgt dazu Nutzer- und Prozesskennung. Der Templatecustomizer ermittelt den kontextbasierten Informationsbedarf, der Modelcustomizer ermittelt passende Fachmodellinstanzen und adaptiert diese und der Multimodellgenerator erzeugt letztendlich den kontextgerechten Informationsraum.

²²³ Rich-Clients sind Desktop-Anwendungen, die mit zentralen Serverkomponenten kommunizieren können, aber auch offline applikationsspezifische Funktionen bereitstellen.

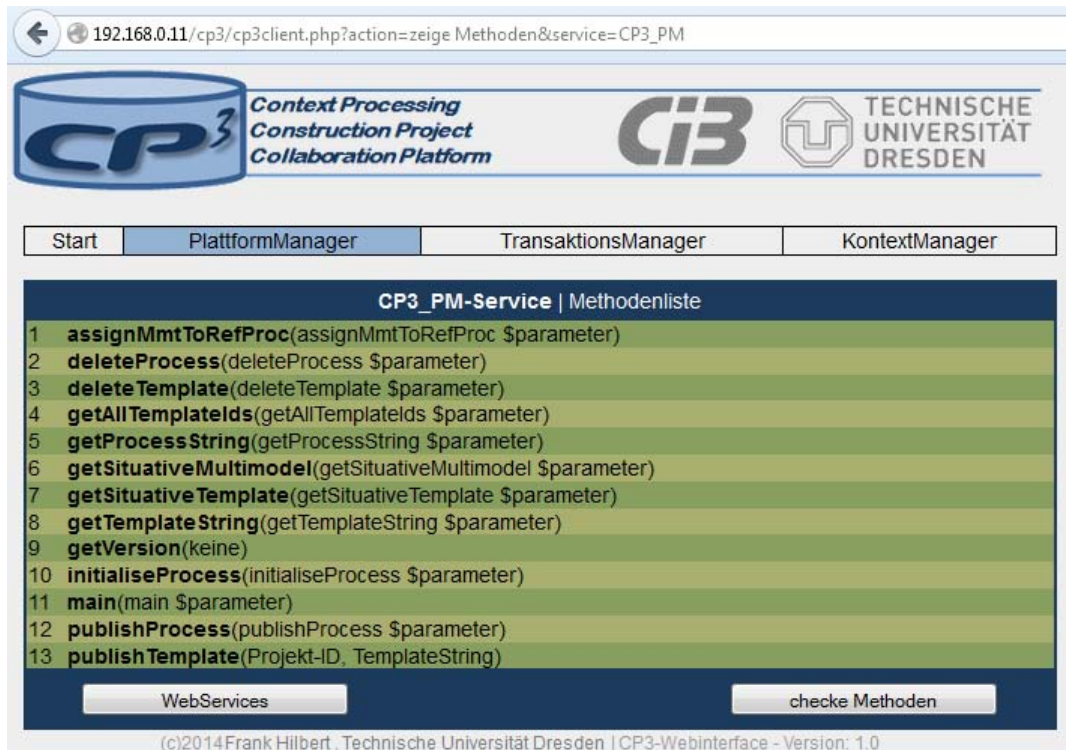


Abbildung 96: Methodenverwaltung mit dem PHP Platform Developer Framework

Nachdem der Akteur seine Bearbeitung abgeschlossen hat, veröffentlicht er das Ergebnis auf der Plattform. Dafür spricht der Client wiederum den Transaktionsmanager an, der daraufhin den Informationsraum an den Annotationservice überträgt, der den Erstellungskontext als Metadaten an das Multimodell annotiert und es auf der Plattform ablegt. Abbildung 97 zeigt die Vorgehensweise anhand eines UML-Sequenzdiagramms.

Abgrenzung

Die Infrastrukturplattfordienste einer multimodellfähigen Kollaborationsplattform werden als vorhanden vorausgesetzt und an dieser Stelle nicht näher betrachtet (z. B. Basisplattfordienste für das Service-, Nutzer- und Modellmanagement). Hierfür existieren bereits gut untersuchte Ansätze (Klauer, 2005; Scherer, 2014). Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich auf die ausführliche Darstellung des Zusammenspiels der kontextverarbeitenden und kontextanwendenden Plattfordienste der Informationslogistik.

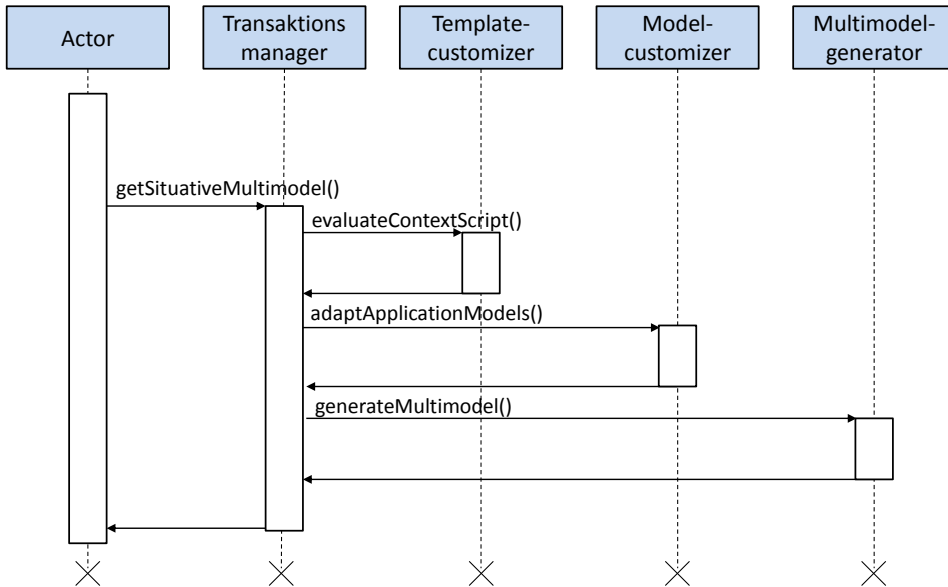


Abbildung 97: Sequenzdiagramm der kontextgerechten Informationsversorgung

5.2.2 Ontologie-Plattformdienst

Das Konzept des Ontologie-Plattformdienstes wurde bereits in Abschnitt 4.3.2 beschrieben. Die Basis des Plattformdienstes ist die PKO (vgl. Abschnitt 4.1, S. 129). Da die Ontologie-Inhalte durch Reasoner²²⁴ mit Hilfe von Beschreibungslogiken ausgewertet werden können, kann der Ontologieservice die anderen Plattformdienste durch Schlussfolgerungsmöglichkeiten unterstützen. Insbesondere unterstützt der Ontologieservice die kontextgerechte Informationslogistik in folgenden Punkten:

- Ermittlung des Prozesskontextes
- Aufspannen des erweiterten Projektinformationsraumes (EPIS)
- Ableitung höherer Kontextinformationen (High-Level Context)

Der *Prozesskontext* repräsentiert die Informationen zur Charakterisierung einer Kollaborationssituation und umfasst die Kontextaspekte aller betroffenen Entitäten des Prozesses. Daher geschieht die Ermittlung des Prozesskontextes prozesszentriert. Anhand der Prozesserkennung werden die durch die Prozessinstanziierung verknüpften Entitäten ermittelt und deren Kontextinformationen zu einem Prozesskontext zusammengefasst. Auf diesen Kontext stützen sich anschließende Informationsbedarfsermittlungen und Adaptionentscheidungen.

²²⁴ Beispiele für Reasoner sind RACER (Haarslev und Möller, 2001) oder JESS (Friedman-Hill, 2003).

Der *erweiterte Projektinformationsraum* nutzt die Wissensbasis der PKO, um Implizitäten und Transitivitäten auszunutzen und zusätzlich zu expliziten Informationsmodellen kontextabhängig implizit abgedeckte oder erzeugbare Modelle in Form einer impliziten Hülle zu bestimmen. Durch die Verwendung von Beschreibungslogiken und zusätzlichen Kontextinformationen ist es somit möglich, die Auswahl angemessener Modelle erheblich zu verbessern. Damit ist jederzeit eine Aussage dazu möglich, ob in der gegenwärtigen Situation des Projektes ein spezielles Informationsmodell explizit vorhanden, implizit durch ein anderes abgedeckt oder transitiv generierbar ist.

Die allgemeine Repräsentation der Kontextinformationen in der Kontextontologie in Form von Beschreibungslogiken ermöglicht das automatische *Ableiten von High-Level-Kontextinformationen*. Ein ontologiebasierter Ableitungsprozess durch die Nutzung von Reasonern kann die dynamischen Verkehrsinformationen aus unterschiedlichsten Quellen der Plattform zu Kontextinformationen umwandeln.

Um direkt Anfragen an die PKO zu stellen, existiert zusätzlich die SPARQL-Schnittstelle *executeSPARQL(string)*. Die Implementierung der Ontologie-Plattformdienste orientiert sich an der durch NITYANTORO UND SCHERER (2013) vorgestellten Vorgehensweise. Eine DOM-Bibliothek (Document Object Model) wird verwendet, um die XML-basierte Modellvorlage einzulesen. Für die Handhabung der Ontologie wird das *JENA Framework*²²⁵ verwendet, das eine Sammlung von Open-Source-Java-Klassenbibliotheken zur Entwicklung von Semantic-Web-Anwendungen enthält. JENA ist in der Lage, Ontologien zu lesen, zu schreiben und zu verarbeiten.²²⁶ Das Framework stellt eine RDF-API, eine OWL-API, eine Inference-API sowie eine ARQ-Schnittstelle für SPARQL-Anfragen bereit. Jena selbst bringt rudimentäre Reasoner-Funktionen mit, die jedoch nicht ausreichen, um OWL-DL zu verarbeiten. Durch die Inference-API wird allerdings eine Schnittstelle für die Verwendung verschiedener externer Reasoner für ein regelbasiertes Reasoning von RDF- und OWL-Datenquellen bereitgestellt. Für den Ableitungsprozess verwendet der Plattformservice *SWRL-Regeln*²²⁷. Bei der Nutzung dieser Regeln ist es möglich, entweder Pellet²²⁸ oder Hermit²²⁹ Reasoner zu verwenden. Lei-

²²⁵ Apache JENA (<http://jena.sourceforge.net>)

²²⁶ Für die Verarbeitung von OWL-Ontologien ließe sich alternativ zur Jena-API auch die OWL-API verwenden, die ebenfalls frei verfügbar ist. Diese unterstützt jedoch keine SPARQL-Anfragen (<http://owlapi.sourceforge.net>).

²²⁷ *Semantic Web Rule Language* (SWRL) ist ein populärer Formalismus, mit dem wissensbasierte Regeln ausgedrückt werden. SWRL basiert auf einer Kombination der Web Ontology Language (OWL) und der Rule Modelling Language (RuleML) und wurde als Kandidat für die W3C-Standardisierung vorgeschlagen (Horrocks et al., 2004).

²²⁸ *Pellet* ist ein Open-Source Projekt und bietet einen Java-basierten OWL-DL-Reasoner, der frei verwendet werden kann (<http://pellet.owldl.com>).

²²⁹ *Hermit* ist ein kostenlos verfügbarer Open-Source-Reasoner, der an der University of Oxford und der Universität Ulm entwickelt wird (<http://www.hermit-reasoner.com>).

der kann Letzterer nicht zusammen mit JENA verwendet werden, weshalb der Pellet-Reasoner gewählt wurde. Die Tabelle 26 zeigt die Merkmale verschiedener betrachteter Ontologie-Reasoner.

Für die Suche nach benötigten Informationen verwendet der Plattformdienst vordefinierte SPARQL-Anfragen. Die Listing 1 zeigt eine Beispielanfrage. Alternativ ließe sich die Abbildungslogik auch direkt in Java programmatisch unter Nutzung der Jena-API umsetzen. Die Verwendung von SPARQL ermöglicht jedoch eine bessere Entkopplung zwischen Jena und OWL und eine schnellere Anpassung der Abbildungslogik sowie eine bessere Wiederverwendung der entwickelten Anfragen.

Durch die Nutzung der JENA-APIs ist es möglich, neue Instanzen in den Ontologien zu registrieren sowie Anfragen an die Ontologie zu senden. JENA persistiert die verwendeten RDF-Tripel entweder dateibasiert oder unter Verwendung einer Datenbank. Als Datenspeicher wurde eine *MySQL*-Datenbank verwendet, die für JENA als Triplestore angebunden wurde und für andere Plattformdienste über *Hibernate* verfügbar war. Abbildung 98 zeigt die High-Level-Architektur des Plattformdienstes. Der Ontologie-Plattformdienst sorgt zusätzlich für eine Kapselung aller Lese- und Schreiboperationen auf das Kontextmodell und ermöglicht damit einen transparenten Zugriff auf die verfügbaren Kontextinformationen. Die Schnittstellenmethoden erlauben neben den CRUD-Grundoperationen (Create, Read, Update, Delete) zusätzlich die Ausgabe und das Einlesen des gesamten Kontextmodells in OWL-Notation.

Tabelle 26: Vergleich verschiedener Schlussfolgerungstools

Merkmals	Pellet	FaCT++	RacerPro	HermiT
JENA API	Ja	Nein	Ja	Nein
OWL API	Ja	Ja	Nein	Ja
Protege-OWL API	Ja			Ja
OWL-Light	Ja	Ja	Ja	Ja
OWL-DL	Ja	Ja	Ja (k. nominale)	Ja
OWL-Full	Nein	Nein	Nein	Nein
Lizenz	Frei	Frei	Kostenpflichtig	Frei

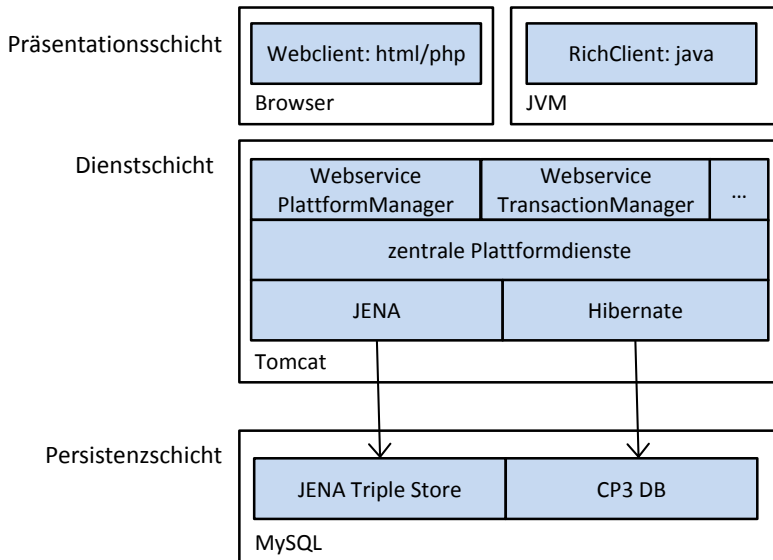


Abbildung 98: High-Level-Architektur des Ontologie-Plattformdienstes

Insbesondere in der Entwicklungsphase kann über diesen direkten Modellimport eine vorherige Kontextwertschöpfung simuliert und ein Kaltstartproblem umgangen werden. Die beschriebenen Funktionen spiegeln sich in der WSDL-Definition der Serviceschnittstelle wider, die in Tabelle 27 dargestellt wird. Als Argument wird jeweils der Projektname angegeben, da Informationen für mehrere Projekte verwaltet werden können. Die ID des anfragenden Akteurs wird im SOAP Header des *Service Requests* mitgesendet und dient der Autorisierung des Methodenaufrufs.

Listing 1: SPARQL-Beispiel

```

prefix : <http://www.semanticweb.org/thato/ontologies/2012/10/9/thesis_ontology#>
prefix rdfs: <" + RDFS.getURI() + "> " +
prefix owl: <" + OWL.getURI() + "> " +
prefix rdf: <" + RDF.getURI() + "> " +
select ?Model ?URL ?ProducedFrom ?LOD ?Workflow
where {
    ?Model rdf:type :ApplicationModel.
    ?Model :hasDomain ?domain.
    ?domain :domainCode ?domaincode. FILTER (?domaincode = ' domainElement.getAttribute(attrDomain) ')
    ?Model :hasPhase ?phase.
    ?phase :name ?phasecode. FILTER (?phasecode = ' neededString ')
    ?Model :hasLevelOfDetail ?lod.
    ?lod :name ?lodcode. FILTER (?lodcode = ' lodElement.getAttribute(attrLOD) ')
    OPTIONAL{?Model :hasURL ?URL.
}
    
```

Tabelle 27: Schnittstellenmethoden des Ontologie-Plattformdienstes

Methode	Erläuterung
setContextattribute (...)	Aktualisiert ein Kontextattribut im Modell.
getContextattribute (...)	Gibt den Wert eines Kontextattributes zurück.
deleteContextattribute (...)	Entfernt ein Kontextattribut aus dem Modell.
setProjectcontext (...)	Importiert ein OWL-Kontextmodell.
getProjectcontext (...)	Gibt das gesamte Kontextmodell in OWL-Notation aus.
getProcesscontextXML (...)	Gibt das prozessspezifische Kontextmodell in XML-Notation zurück. Übergeben wird eine Prozess-ID als Attribut.
searchMultimodel (...)	Sucht nach Multimodellinstanzen im EPIS. Übergeben wird eine Multimodellvorlage (MMT).
searchApplicationmodel (...)	Sucht nach Fachmodellinstanzen im EPIS. Übergeben wird eine Fachmodellvorlage (AMT).
executeSPARQL (...)	Wertet eine SPARQL-Anfrage an die PKO aus.

5.2.3 Plattformdienste der Kontextwertschöpfung

Die Kontextwertschöpfungskette der Kollaborationsplattform sammelt, analysiert und aktualisiert Kontextinformationen des Kontextmodells und stellt diese anderen kontextverarbeitenden Plattformkomponenten zur Verfügung. Die Kontextwertschöpfung wird durch drei Plattformdienste mit unterschiedlichem Funktionsumfang realisiert (vgl. Abschnitt 4.3, S. 161). Während der *Kontextdetektor* das im Abschnitt 3.4.2 beschriebene Kontext-Retrieval und die Aktualisierung des Kontextmodells (vgl. Abschnitt 3.3.2, S. 117) umsetzt, analysiert der *Kontextinterpret* eingehende Kontextinformationen und leitet höhere Kontextinformationen ab. Der *Kontextprovider* schließlich organisiert die Bereitstellung der Kontextinformationen durch die Verarbeitung von Abfragen seitens der kontextverarbeitenden Plattformkomponenten.

Der Kontextdetektor-Plattformdienst

Dem Kontextdetektor-Plattformdienst obliegt die Aktualisierung des Kontextmodells beim Eintreten von kontextrelevanten Ereignissen. Für die Aktualisierung der Kontextinformationen werden je nach Veränderungsintensität der Kontextinformationen verschiedene Ansätze eingesetzt. Unterschieden werden hier *Komplettaktualisierungen* und *inkrementelle Aktualisierungen*. Bei einer Komplettaktualisierung wird durch den Kontextdetektor das gesamte Kontextmodell geleert, anschließend werden alle bekannten Kontextquellen abgefragt, deren Kontextinformationen importiert und dem Kontextmodell neu hinzugefügt. Kontextquellen bestehen aus den Projektinformationen der Kollaborationsplattform (Organisationsdaten und Bestandsinformationen). Der Kontextdetektor besitzt ein Verzeichnis aller registrierten Kontextquellen und entsprechender Importregeln. Eine konkrete Komplettaktualisierung wird über den Plattformmanager durch die Methode *initContextModel()* aufgerufen. Sowohl bei der Verwendung von Kontextquellen mit einem hohen Informationsgehalt (bzw. erhöhtem Kontexttransformationsaufwand) als auch bei einer hohen Aktualisierungs-

frequenz wird die Komplettaktualisierung durch die wiederholte Übertragung großer Informationsmengen schnell ineffizient. Um die zu übertragende Informationsmenge zu begrenzen, eignet sich die inkrementelle Aktualisierung, die nur die Kontextinformationen aktualisiert, die entsprechend den Änderungen der Projektsituation geändert wurden oder neu hinzugekommen sind. Inkrementelle Aktualisierungen benötigen dazu wesentlich weniger Zeit als eine Komplettaktualisierung, setzen aber ein aktuelles Kontextmodell und die aktive Beteiligung der Aktualisierungsquellen (z. B. die Managementkomponenten) voraus. Insbesondere bietet sich eine Aktualisierung der Kontextinformationen immer dann an, wenn eine Plattformaktivität ein neues relevantes Informationselement erzeugt oder empfängt (Abecker et al., 2002). Dazu ist ein Benachrichtigungssystem nötig, das den Kontextdetektor über das Auftreten eines entsprechenden Ereignisses informiert. Dafür lässt sich das SOAP-Protokoll nutzen. Über einen SOAP-basierten Benachrichtigungsmechanismus können Aktualisierungsnachrichten ausgetauscht werden, die Informationen über Änderungen aus den Verkehrsdaten des Laufzeitgeschehens (aufgerufener Methoden) sowie aus den Metadaten der übertragenen Informationsräume weiterleiten. Der Kontextdetektor empfängt die Aktualisierungsnachrichten der Managementkomponenten über die Methode *notifyContextChange(service.methode,id1,id2)* und stellt fest, welche Kontextattribute entfernt bzw. aktualisiert werden müssen. In den Aktualisierungsnachrichten sind neben der Absenderkennung (der Managementkomponente) auch Angaben zum Akteur (ID) und zur aufgerufenen Aktion (Service-Methode) enthalten. Für die Bearbeitung der Aktualisierungsnachrichten besitzt der Kontextdetektor entsprechende Auswirkeregeln, die zu den verschiedenen Methodenaufrufen die betroffenen entitätsbasierten Kontextaspekte bestimmen. Anhand dieser Informationen ordnet der Kontextdetektor die eingehenden Aktualisierungsnachrichten den betroffenen Kontextaspekten zu und leitet die Nachrichten an den *Kontextinterpret* als entitätsbasierte Updateaufrufe weiter. Aufgrund der losen Kopplung der Plattformdienste kann allerdings nicht sichergestellt werden, dass alle Aktualisierungsnachrichten komplett und in der richtigen Reihenfolge beim Kontextdetektor eintreffen und verarbeitet werden. Wenn Nachrichten verloren gehen, können sich nachfolgende Aktualisierungen auf Kontextinformationen beziehen, die möglicherweise so noch nicht im Kontextmodell existieren. Für die Konsistenzerhaltung ist es daher nötig, entweder in regelmäßigen Abständen eine vollständige Aktualisierung durchzuführen oder zusätzlichen Verwaltungsaufwand innerhalb der Aktualisierungskommunikation zu betreiben (z. B. Empfangsbestätigungen, Versionisierung).

Der Kontextinterpret-Plattformdienst

Die vorrangige Aufgabe des Kontextinterpret-Plattformdienstes besteht darin, eingehende Kontextinformationen zu analysieren, ggf. höherwertigen Kontext abzuleiten und den entsprechenden entitätsbasierten Kontextaspekten des Kontextmodells zuzuordnen. Der Kontextinterpret benutzt einen Ontologie-Reasoner und verwendet Ableitungsregeln, um höherwertige Kontextinformationen abzuleiten. Als Ausgangspunkt für die Ableitungsmethoden dient die ontologiebasierte Wissensbasis PKO, auf die über den Ontologie-Plattformdienst zugegriffen wird. Angestoßen wird die Analyse durch den Methodenaufruf *updateContextAttribute(contextAspect,attributeName,value)*.

Tabelle 28: Schnittstellenmethoden der Kontextdienste

Plattformdienst	Methode	Erläuterung
ContextDetector	initContextModel(...)	Initialisiert das Kontextmodell durch eine Komplettaktualisierung.
	notifyContextChange(...)	Benachrichtigt den Plattformservice über Aktualisierungen.
ContextInterpreter	updateContextAttribute(...)	Analysiert das angegebene Kontextattribut und leitet höhere Kontextinformationen ab.
ContextProvider	getContextAttributeValue(...)	Gibt den Wert des genannten Kontextattributes zurück.
	readContextAttribute(...)	Gibt den Wert eines Kontextattributes zurück.
	deleteContextAttribute(...)	Entfernt ein Kontextattribut aus dem Modell.
	createContextAttribute(...)	Fügt dem Modell ein Kontextattribut hinzu. Der entsprechende Kontextaspekt muss bereits existieren.
	exportContextModel(...)	Gibt das gesamte Kontextmodell in OWL-Notation aus.
	importContextModel(...)	Importiert ein OWL-Kontextmodell.

Auf die konkrete Implementierung dieser Komponente soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, ein Beispiel findet sich bei (Eichhorn, 2007).

Der Kontextprovider-Plattformdienst

Die Kontextinformationen werden als *ontologiebasiertes Kontextmodell* innerhalb der PKO durch den Ontologie-Service verwaltet und in einem Ontologie-Repository persistiert. Kontextverwendende Dienste richten eine Anfrage bzgl. aktueller Kontextinformationen an den Kontextprovider, der die entsprechende Anfrage an den Ontologie-Plattformdienst stellt. Die Tabelle 28 gibt abschließend einen Überblick über die Methoden der Kontextdienste.

5.2.4 Plattformdienst der Bedarfsevaluation

In dem vorgeschlagenen Ansatz zur kontextgerechten Informationsversorgung werden an drei Stellen Kontextinformationen angewendet. Zum einen bei der Ermittlung des kontextbasierten Informationsbedarfs, bei der Erzeugung der kontextgerechten Informationsräume und schließlich bei der semantischen Annotation der Informationsräume. Die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfs wird mit Hilfe von ContextScript-Regeln²³⁰ beschrieben. Für die Ermittlung eines situativen Informationsbedarfs müssen die ContextScript-Annotationen in den adaptiven Multimodellvorlagen zur Laufzeit durch einen Interpreter anhand aktueller

²³⁰ In Abschnitt 4.2 wurde die Syntax der ContextScript-Regeln formal definiert.

Kontextinformationen ausgewertet werden. Erst dann kann eine kontextbasierte Multimodellvorlage generiert werden. In der vorgestellten Architektur wertet der Plattformdienst zur Bedarfsevaluation kontextadaptive Multimodellvorlagen aus und erzeugt situativ kontextbasierte Multimodellvorlagen.

Dafür analysiert dieser Dienst die in ausgewählten Beschreibungsattributen der Multimodellvorlagen als ContextScript annotierten Kontextwirkrelationen und wertet diese entsprechend dem aktuellen Bearbeitungskontext aus. Anhand der Evaluation der adaptiven Multimodellvorlage durch den ContextScript-Interpreter ergibt sich eine kontextbasierte Multimodellvorlage als Repräsentation eines situativen Informationsbedarfes.

Die Arbeitsweise des ContextScript-Interpreters zur Auswertung von ContextScript-Regeln zur Erzeugung konkreter Multimodellattribute besteht aus vier Arbeitsschritten:

- In einem ersten Schritt wandelt ein Parser die Regelprämisse der ContextScript-Regel in einen abstrakten Syntaxbaum um, der eine navigierbare Abbildung der konkreten Kontextwirkrelation repräsentiert (vgl. Abbildung 99). Dieser enthält in seinen Knoten Regelterme, die durch logische Verknüpfungsoperatoren und Modifikatoren miteinander verbunden sein können und Existenz- oder Vergleichsoperationen enthalten. Die Blätter des Syntaxbaums enthalten *Literale* (Attributnamen und Vergleichswerte). Die Bezeichnung der modellinternen Attribute des ContextScripts beginnt mit `mmt.knoten.attribut`, Kontextattributnamen mit `context.aspekt.attribut`.
- Im zweiten Arbeitsschritt werden die Attributnamen in den Blättern durch die Inhalte der entsprechenden Kontext- und Modellattribute ersetzt. Für diese Kontextintegration wird die Methode des Ontologie-Plattformdienstes `getProcessContext()` aufgerufen. Diese ermittelt den Bearbeitungskontext und gibt das ermittelte Kontextmodell zurück.
- Im dritten Arbeitsschritt werden durch die Funktion `evaluateContext()` alle Vergleichs- und Existenzoperationen der äußeren Knoten zu Wahrheitswerten ausgewertet.
- Anhand dieser Ergebnisse werden nun die aussagenlogischen Verknüpfungsknoten anhand von deren Kindknoten ausgewertet. Dazu werden die Disjunktions- und Konjunktionsterme der Teilausdrücke ausgewertet und durch ein Literal mit dem ermittelten Wahrheitswert ersetzt. Dies geschieht iterativ bis zum Wurzelknoten der Regelprämisse.

Tabelle 29: Schnittstellenmethoden der Bedarfsevaluation

Methode	Erläuterung
<code>evaluateContextScript(...)</code>	Wertet die Kontextwirkrelation anhand des Bearbeitungskontextes aus und gibt einen String zurück. Der Bearbeitungskontext wird über die Prozess-ID verknüpft.
<code>associateContextProvider(...)</code>	Verknüpft den zu verwendenden Kontextprovider. Angegeben wird die URI der WSDL-Definition.

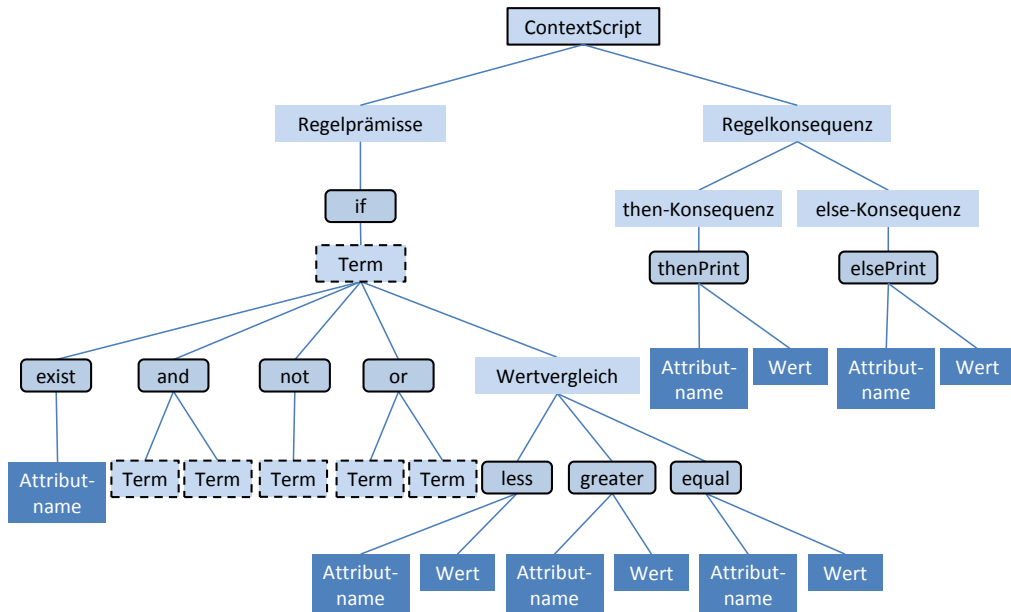


Abbildung 99: Syntaxbaum für ContextScript-Regeln

Der Algorithmus terminiert nach der Auswertung des Wurzelknotens. Auf diese Weise wird die Regelprämissen zu einem einzigen Wahrheitswert ausgewertet, anhand dessen anschließend die Regelkonsequenzen ausgewählt werden kann. Der Attributwert der Regelkonsequenzen wird anschließend an die Position der ursprünglichen ContextScript-Regel in die Multimodellvorlage geschrieben. Die auf diese Weise entstehende kontextgerechte Multimodellvorlage repräsentiert somit den situativen Informationsbedarf und ist Voraussetzung für die Erzeugung eines kontextgerechten Informationsraumes.

5.2.5 Plattformdienst für die Multimodellerzeugung

Nachdem der ermittelte situative Informationsbedarf als Multimodellvorlage formalisiert wurde soll für die kontextgerechte Informationsversorgung ein entsprechender multimodellbasierter Informationsraum generiert werden. Dabei steht nicht die Erzeugung von Informationsmodellen im Vordergrund, sondern das Integrieren, Anpassen und Zusammenfügen von vorhandenen Fachmodellen zu neuen kontextgerechten Multimodellen. Bei der Datenintegration wird zwischen *Aggregation* und *Transformation* unterschieden. Während bei der Aggregation mehrere relevante Einzeldaten ausgewählt und unverändert zu einem Gesamtobjekt zusammengefasst werden, formt die Transformation Quelldaten so um, dass sie auf Zieldaten abbildbar werden. Für die Bereitstellung kontextgerechter Informationsräume werden beide Formen der Datenintegration nacheinander ausgeführt. Passende Fachmodelle werden aus dem Projektinformationsraum ermittelt, ggf. adaptiert und anschließend zu einem Multimodell aggregiert. Diese Multimodellerzeugung realisiert der Multimodellgenerator-Platformservice durch sechs Arbeitsschritte, die in Abbildung 100 skizziert und im Folgenden beschrieben werden.

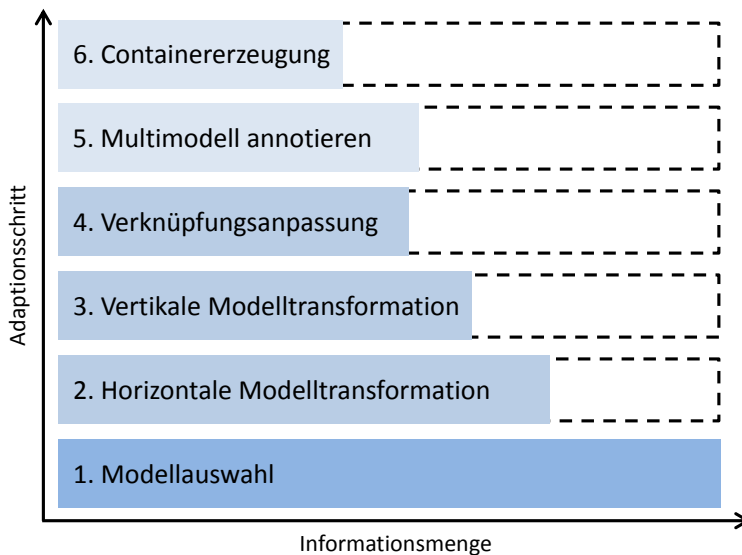


Abbildung 100: Arbeitsschritte der Multimodellerzeugung

(1) Modellauswahl

Die Identifizierung passender Fachmodelle aus dem Projektinformationsraum dient als Grundlage für die Erfüllung des ermittelten Informationsbedarfs. Zur Ermittlung verwendbarer Multimodelle oder Fachmodelle wird der Ontologie-Service angefragt (searchMultimodel bzw. searchApplicationmodel). Dieser ermittelt aus dem *erweiterten Projektinformationsraum* verwendbare Fachmodelle und ggf. die notwendigen Transformations-Workflows.

Dabei werden die notwendigen Transformationen bei der Verwendung und Neukombination von bestehenden Fachmodellen für eine zielgerichtete Informationsbereitstellung von verschiedenen adaptionsrelevanten Kontextaspekten des Bearbeitungskontextes beeinflusst. Zum einen bestimmt der Ressourcenkontext die verfügbaren Informationsressourcen und zum anderen beschränkt der Nutzerkontext (insb. die Nutzerrolle) die verwendbaren Ressourcen und ausführbaren Transformations-Workflows. Technisch werden die einzelnen Fachmodelle dateibasiert auf dem Arbeitsverzeichnis des Plattformdienstes gespeichert und durch Verwendung des angegebenen Transformations-Workflows angepasst. Wenn Fachmodelle unverändert Anwendung finden, können sie auch als Referenz auf dezentral persistierte Fachmodelle verwendet werden.

(2) Horizontale Modelltransformationen (Ausschnittbildung)

Modelladaptationen²³¹ werden in horizontal-extrahierende und vertikale Transformationen unterschieden. Während erstere Transformationsart Modellausschnitte aus einem Gesamtmodell herauslöst, verändert die vertikale Transformation Modelle durch Expansion oder

²³¹ Die Methodik der Multimodelladaptivität wurde bereits in Abschnitt 3.3.2 eingehend erläutert.

Verdichtung. Bei beiden Transformationsvarianten sind Kenntnisse des jeweiligen Fachmodellschemas notwendig (z. B. der prinzipielle Aufbau und die strukturtragenden Elemente eines Vorgangsmodells oder eines Kostenmodells). *Modellausschnitte* decken bestimmte Teile des ursprünglich beschreibbaren Gegenstandsbereiches ab und können durch eine modelltypspezifische Angabe des Betrachtungsbereiches definiert werden. Solcherart Ausschnittspezifikationen für Fachmodelle können durch *Fachmodellsichten* (model views) definiert werden, die Teile eines Fachmodellschemas bezeichnen, die für bestimmte fachspezifische Sichten auf ein Fachmodell relevant sind²³². Für die Generierung entsprechender Teilmodelle (Sichten, Partialmodelle etc.) können typspezifische *Fachmodellfilter* eingesetzt werden, die abhängig vom Fachmodelltyp und dessen Datenschema unterschiedliche Filterspezifikationen verwenden, um Teilmodelle aus einem Gesamtmodell zu generieren (Scherer, 2014, S. Fachmodellsichten und -filter; Windisch et al., 2012).²³³

Multimodellausschnitte dagegen definieren fachmodellübergreifende Ausschnitte. Ein solcher Ausschnitt könnte beispielsweise ein zeitbasierter Ausschnitt eines Multimodells sein, das einen Terminplan mit einem Gebäudemodell verknüpft. Ein Zeitausschnitt lässt sich in einem Terminmodell direkt beschreiben, ist aber für ein Gebäudemodell untypisch. Um solcherart fachmodellübergreifende Ausschnitte zu erzeugen, lassen sich die formalisierten Interdependenzen der Fachmodelle nutzen. Über die Modellelementverknüpfungen eines Linkmodells können auch modelluntypische Ausschnittdefinitionen an die verknüpften Fachmodelle propagiert werden. Die Interdependenzen zwischen den verknüpften Fachmodellen des Multimodells können durch die Auswertung der durch das Linkmodell repräsentierten Modellverknüpfungen verfolgt werden. Dabei wird die Ausschnittdefinition des Multimodells für die verschiedenen Datenschemas der Fachmodelle entsprechend adaptiert (vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78). Beispielsweise wird ein zeitbasierter Ausschnitt auf eine geometrische Ausschnittdefinition eines Geometriemodells und auf die Kostenpositionen eines kostenbasierten Fachmodells über die entsprechenden Verknüpfungen im Linkmodell umgesetzt. Abbildung 101 illustriert, wie die führende Ausschnittdefinition linkbasiert auf andere Fachmodelltypen propagiert wird und damit eine transitive Informationsauswertung erfolgt. Da in späteren Adaptionsschritten weitere Informationen entfernt werden, können Modellausschnitte auf Verknüpfungen fußen, die im finalen Multimodell nicht mehr existent sind. Aus diesem Grund ist der Arbeitsschritt der Ausschnittbildung so früh angesiedelt. Eine dem Multimodellausschnitt entsprechende Ausschnittbildung der Linkmodelle wird in Arbeitsschritt 4 (Verknüpfungsanpassung) vollzogen.

²³² Weitere Beispiele für inhaltliche Fachmodellvorgaben werden von Weise und Liebich (Scherer, 2014, S. 65 ff.) und Windisch et al. (Scherer, 2014, S. 335 ff.) vorgestellt.

²³³ Ein Beispiel ist der IFC-Filter „ViewEdit“, der IFC nach IFD filtert (Weise, 2006).

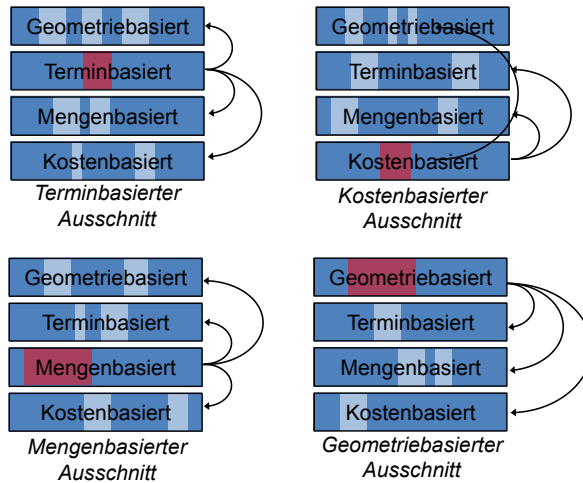


Abbildung 101: Propagieren von Multimodellausschnitten

(3) Vertikale Modelltransformationen (Modellexpansion und Modellverdichtung)

Bei der vertikalen Modelltransformation wird zwischen Modellexpansion und Modellverdichtung unterschieden, wobei die Verdichtung aus einem detaillierten Modell ein gröberes Modell generiert und die Expansion als Gegenoperation ein grobes Modell um Details ergänzt. Während für die Verdichtung Fachmodellelemente zusammengefasst werden (z. B. Verdichtung von Termininformationen eines detaillierten Ausführungsterminplans auf ein gröberes Modell des Steuerungsterminplans), entstehen durch Modellexpansionen zusätzliche Elemente in den Fachmodellen. Eine besondere Form der Modellexpansion ist die automatische Annotation des Multimodells mit entsprechenden Metainformationen. Damit aufgabenspezifische Fachanwendungen auf eine gemeinsame SOA-basierte Kollaborationsplattform zugreifen können, müssen sie um Webservice-Schnittstellen erweitert werden. Aufgrund des Dualitätsprinzips der SOAP-Architektur kann dabei jede Fachanwendung sowohl als Dienstanbieter als auch als Dienstkonsument agieren. Somit können Softwarefunktionen der lokalen Fachanwendungen externalisiert und als Fachdienste anderen Teilnehmern zur Verwendung angeboten werden²³⁴. Diese Dienste können als *dezentrale Plattformdienste* auf der Kollaborationsplattform registriert werden und über einen virtuellen Service-Pool verfügbar gemacht werden²³⁵. Somit können Adaptionismethoden für das Expandieren und Verdichten von Fach- und Linkmodellen sowohl als zentrale als auch als dezentrale Plattform-

²³⁴ In dem Forschungsprojekt Mefisto wurde diese Vorgehensweise anhand der Softwaresysteme der Projektpartner gibGREINER GmbH (GRANID), RIB Information Technologies AG (iTWO) und Solidpro GmbH (SolidWorks) exemplarisch umgesetzt (Scherer, 2014, S. A5).

²³⁵ Ein Beispiel für solche Adaptionisdienste ist z. B. das automatische Erstellen von Formatvarianten durch Konvertierung (Rüppel, 2007). Weitere Konzepte zur Filterung, Harmonisierung, Aggregation und Anreicherung (Information Enhancement) finden sich in (Kemper und Finger, 2010).

dienste bereitgestellt werden. Zur Unterstützung der Suche und Orchestrierung ist eine semantische Beschreibung dieser Adaptionendienste durch zentrale Verwaltungsdienste auf der Kollaborationsplattform nötig. Bei der vertikalen Modelltransformation eines verknüpften Fachmodells im Informationsraum muss beachtet werden, dass für den semantischen Strukturhalt evtl. weitere Transformationen interdependenter Fachmodelle erforderlich werden.

(4) Verknüpfungsanpassung

Nach den Modelltransformationen ist eine Anpassung der Linkmodelle nötig. Hier werden ungültige Links entfernt, die auf Elemente verweisen, die im Rahmen der Transformation entfernt wurden. Wenn in der kontextbasierten Multimodellvorlage eine bestimmte Verknüpfungstiefe gefordert wird, können hier auch gültige Links entfernt werden. Mit der Problematik der automatischen Erzeugung neuer Links beschäftigt sich Fuchs (2014).

(5) Multimodell annotieren

Ein notwendiger Expansionschritt für eine zielgerichtete Verwendung des erzeugten kontextgerechten Informationsraumes ist die semantische Beschreibung durch Metadaten, die Informationen des Erstellungskontextes und der Verwendungszintention repräsentieren. Insbesondere für das Einchecken des multimodellbasierten Prozessergebnisses sind die Metadaten die Grundlage für eine erfolgreiche Informationsintegration. In der vorgeschlagenen Architektur werden die multimodellbasierten Informationsräume durch den Metadatenexpander-Platformservice unter Verwendung aktueller Kontextinformationen annotiert (vgl. Abschnitt 4.2.3, S. 160).

(6) Containererzeugung

Der letzte Schritt der Erzeugung kontextgerechter Multimodelle enthält das Zusammenfügen der angepassten Fach- und Linkmodelle zu neuen aufgabenspezifischen Multimodellcontainern. Die adaptierten Fach- und Linkmodelle befinden sich in dem prozessspezifischen Multimodellverzeichnis des Multimodellgenerator-Services und sind entsprechend der Multimodellvorlage benannt. Dieses Verzeichnis wird entsprechend dem vereinbarten Containerformat zu einem Multimodellcontainer zusammengepackt und abschließend an den Akteur versendet oder auf der Plattform bereitgestellt.

5.2.6 Zusammenfassung

Die Erzeugung kontextgerechter Informationsräume stellt einen Kernaspekt der vorliegenden Arbeit dar. Für die Verwendung von Kontextinformationen wurde in den vorangegangenen Abschnitten ein Integrationskonzept vorgestellt, das einen kontextbasierten Informationsbedarf antizipiert und einen entsprechenden kontextgerechten Informationsraum erzeugt. Die prototypische Umsetzung im Sinne eines Proof-of-Concept der in Abschnitt 4.3 vorgestellten Plattformarchitektur wurde in diesem Abschnitt vorgestellt. Anhand einer kontextbewussten Kollaborationsplattform wurde demonstriert, wie die vorgeschlagenen Ansätze zu einem Gesamtsystem verknüpft werden können, um die Komplexität sowohl des Informationsraum- als auch des Kontext-Managements zu beherrschen. Die vorgestellte Lö-

sung basiert dabei auf einer multimodellfähigen Kollaborationsplattform, deren SOA-Architektur sowohl eine unternehmensübergreifende projektweite Verwendung als auch eine flexible Erweiterung der lose gekoppelten Platfformdienste ermöglicht. Die Informationslogistik der Plattform wurde um das Konzept der kontextadaptiven Informationsräume und um Methoden für die Kontextwertschöpfung und Kontextanwendung erweitert. Dafür wurden Platfformdienste für die Kontextermittlung, Kontextverwaltung und Kontextanwendung hinzugefügt. Dabei verwenden die Platfformdienste für die Kontextermittlung sowohl statische Projektdaten als auch dynamische Verkehrsdaten der Kollaborationsplattform, um Kontextinformationen abzuleiten und ein aktuelles Kontextmodell aufzubauen. Ein Ontologie-Service repräsentiert die PKO und unterstützt die Platfformdienste durch beschreibungslogische Schlussfolgerungsmöglichkeiten. Die Platfformdienste für die Bedarfsévaluation werten die durch ContextScript-Regeln formalisierten Kontextwirkrelationen der kontextadaptiven Multimodellvorlagen anhand des ermittelten Bearbeitungskontextes aus und generieren eine kontextbasierte Multimodellvorlage. Diese wird durch den Platfformdienst der Multimodellerzeugung als Vorlage für die Erzeugung eines kontextgerechten multimodellbasierten Informationsraumes verwendet. Dafür werden vorhandene Informationsressourcen genutzt, die einer notwendigen kontextgesteuerten Informationsfilterung, -verknüpfung und -transformation unterzogen werden. Die kontextgerecht transformierten Fachmodelle werden abschließend semantisch annotiert und als Multimodellcontainer verpackt.

Die beschriebene Architektur setzt das Kontextintegrationskonzept dieser Arbeit um und ermöglicht es informationslogistischen Platfformdiensten, Kontextinformationen für eine situative Informationsversorgung zu nutzen. Auf diese Weise kann eine kontextorientierte Unterstützung im Sinne einer *contextual assistance*²³⁶ ermöglicht werden, die dem Bearbeiter relevante kontextbezogene Informationen strukturiert und verknüpft präsentiert. Der Akteur erhält nur die für ihn relevanten Informationen in Form eines kontextgerechten Informationsraumes.

5.3 Evaluierungsszenario

Überblick

In diesem Kapitel wird anhand eines Anwendungsszenarios der Einsatz des vorgestellten Ansatzes unter Verwendung der implementierten Prototypen demonstriert. Dafür wird zunächst die Vorgehensweise für die Erstellung einer kontextadaptiven Multimodellvorlage für die Abbildung des kontextspezifischen Informationsbedarfes eines Bauinformationsprozesses zur Erstellung eines Angebotes innerhalb der Vergabephase eines Bauprojektes beschrieben. Anschließend werden diese Vorlagen anhand eines exemplarischen Kontextmodells durch ein Platfformdienst zu einem konkreten Informationsbedarf in Form einer situativen Multimodellvorlage ausgewertet. Abschließend wird die Erzeugung des adäquaten kontextgerechten Multimodells skizziert.

²³⁶ Vgl. (Nutt, 1996).

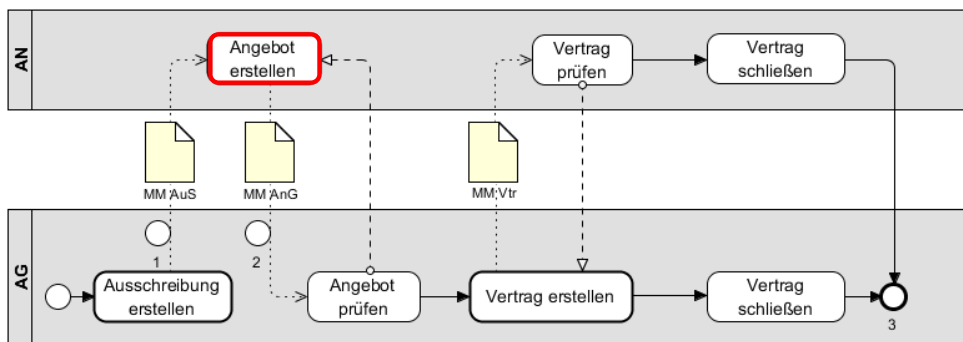


Abbildung 102: Beispielprozess der AVA-Phase

Für die Darstellung der Funktionsweise des Ansatzes zur kontextgerechten Informationsversorgung dient der Informationsprozess „Angebot erstellen“ aus der Projektphase AVA (vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78). In der Abbildung 102 ist der Informationsprozess der Angebotserstellung gekennzeichnet, der mit kontextgerechten Informationen versorgt werden soll.

Im folgendem wird demonstriert, wie im Rahmen der Prozessmodellierung eine kontextadaptive Multimodellvorlage erstellt wird. In dem Referenzprozess „Angebot erstellen“ (Referenzprozess RP302, vgl. Abschnitt 3.1.5, S. 78) wird als Eingangsinformationsraum ein Ausschreibungs-Multimodell (MM-AuS) und als Ergebnisinformationsraum ein Angebots-Multimodell (MM-AnG) definiert (vgl. Abbildung 102, mittlere Ebene). Ausgehend von einer kontextinvarianten Multimodellvorlage für diesen Referenzprozess soll eine kontextadaptive Multimodellvorlage erarbeitet werden, in der verschiedene Kontextwirkrelationen durch ContextScript-Annotationen abgebildet werden.²³⁷

5.3.1 Erstellen einer kontextadaptiven Multimodellvorlage

Die Definition der kontextadaptiven Multimodellvorlage soll durch den CATED-Editor durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 5.1, S. 180). Die kontextinvariante Multimodellvorlage zur Angebotserstellung eines Rohbaus beschreibt einen verknüpften Informationsraum durch die Spezifikation der verknüpften Fachmodelle. Der kontextinvariante Informationsbedarfes für die Ausschreibung eines Rohbaus besteht dabei aus einem Bauwerksmodell der Fachmodelldomäne BIM, einem Leistungsverzeichnis (ohne Preise) der Fachmodelldomäne SPM und einem Rahmenterminplan der Fachmodelldomäne TSM²³⁸. Um die Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfes zu formalisieren, müssen in einem ersten Schritt die kontextabhängigen Informationsraumparameter bestimmt werden. In der Abbildung 103 sind mögliche kontextabhängigen Parameter gekennzeichnet.

²³⁷ Als Datengrundlage für das vorgestellte Anwendungsbeispiel dienen Baufachmodelle, die innerhalb des Forschungsprojektes Mefisto erarbeitet wurden.

²³⁸ Eine Übersicht der Fachmodellbezeichnungen befindet sich im Anhang unter A3 (Vokabulare).

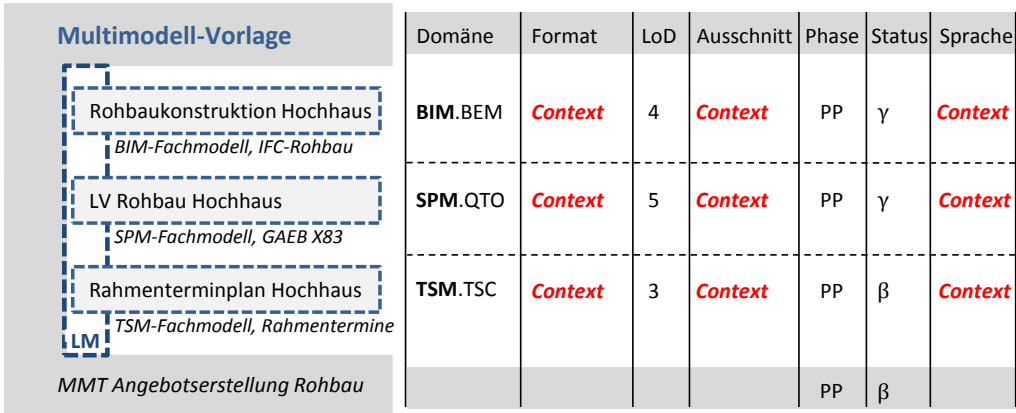


Abbildung 103: Kontextabhängigkeit der Multimodellvorlage

So sind im Beispiel die Modellsprache und die Dateiformate abhängig vom verknüpften Akteur und dessen zur Verfügung stehenden Fachanwendungen. Die Modellausschnitte werden dagegen durch die Prozessaufgabe (z. B. Ausschreibung Erdgeschoss) definiert. Die Attribute Phase, Fachmodellldomäne, LoD und der Bearbeitungsstatus werden kontextinvariant durch die Multimodellvorlage vorgegeben. Um die markierten Abhängigkeiten nun in der Multimodellvorlage zu annotieren wird die kontextinvariante Multimodellvorlage in den CATED-Editor geladen.

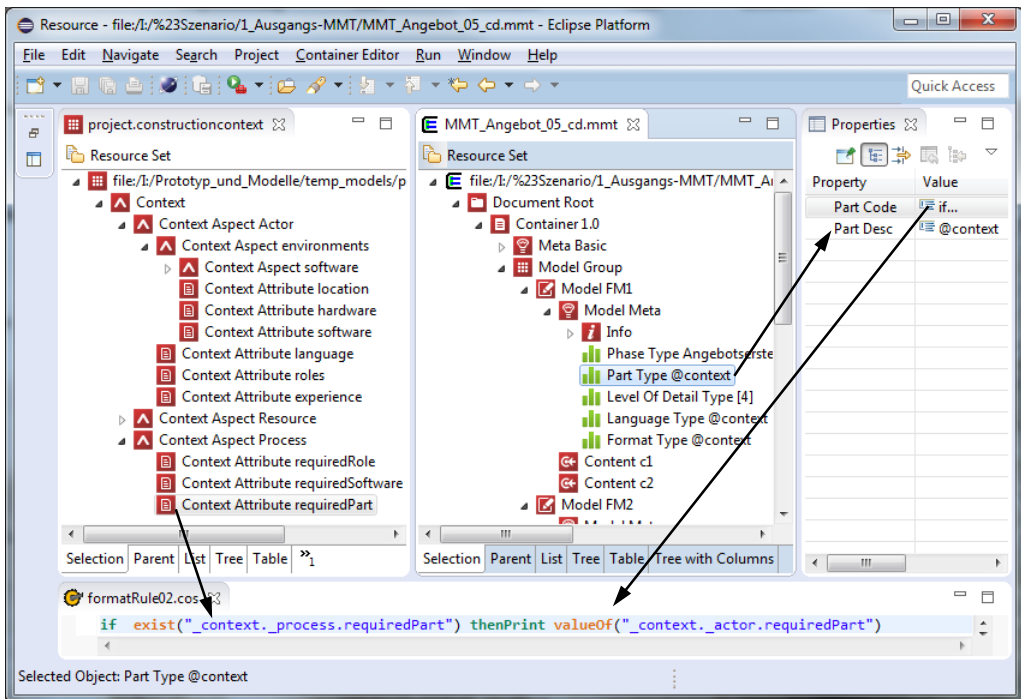


Abbildung 104: Multimodellvorlage im CATED-Editor

Die Vorlage wird baumstrukturiert dargestellt (Abbildung 104, Mitte) und die zu annotierenden Informationsraumattribute können darin ausgewählt und entsprechende ContextScript-Regeln als Attributwerte eingetragen werden (Abbildung 104, rechts oben). Dabei werden die Kontextattribute (Abbildung 104, links oben) als Attributnamen verwendet. Die komplette kontextadaptive Multimodellvorlage wird im Anhang A6 angegeben.

Nach der Fertigstellung der Annotationen kann die kontextadaptive Multimodellvorlage zur weiteren Verarbeitung abgespeichert und mit einem Referenzprozess verknüpft werden. Dies kann sowohl lokal als auch auf einer Kollaborationsplattform geschehen. Die zweite Variante wird im nächsten Abschnitt aufgegriffen.

5.3.2 Auswerten des situativen Informationsbedarfes

Anknüpfend an die Modellierung der kontextadaptiven Multimodellvorlage (cdMMT) wird deren Verwendung auf einer Projektkollaborationsplattform gezeigt. Dafür wird die CP^3 -Plattform verwendet (vgl. Abschnitt 5.2, S. 188). Als Voraussetzung für die Verwendung der cdMMT muss diese auf die Plattform hochgeladen und mit einem Referenzprozess verknüpft werden. Abbildung 105 illustriert diese Vorgehensweise. Die Methoden für diese beiden Schritte werden durch den *PlattformManager*-Dienst bereitgestellt (vgl. Abschnitt 5.2.4, S. 202). Dieser bietet, unter anderen, die zwei entsprechenden Methoden *publishMmt* und *assignMmtToRefProc* über seine WSDL-Schnittstelle an. In Anhang A5 wird ein entsprechender Ausschnitt der WSDL-Definition abgebildet. Der Plattformdienst wird über den Webclient der CP^3 -Plattform angesprochen (vgl. Abschnitt 5.2.1, S. 188) und die Vorlage auf die Plattform übertragen. Als Resultat einer erfolgreichen Übertragung wird eine plattformeigene Vorlagen-ID zurückgegeben.

In der Abbildung 106 wird die SOAP-Kommunikation zwischen Webclient und Webservice dargestellt. Mit der Vorlagen-ID kann die cdMMT mit einem bereits vorhandenen Referenzprozess verknüpft werden. Als Kontrolle wird von dem Plattformservice ein boolean-Wert zurückgegeben. In unserem Anwendungsszenario wird die cdMMT als Inputvorlage des Referenzprozesses RP302 verknüpft. Nun ist dieser kontextadaptive Referenzprozess bereit zur situativen Verwendung.

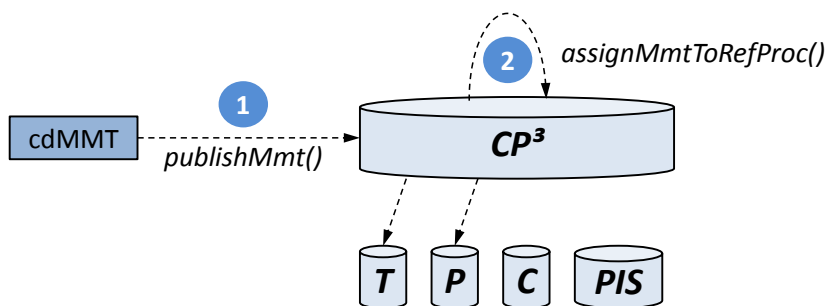


Abbildung 105: Upload und Verknüpfung der cdMMT

Prozess instanzieren und situativen Informationsbedarf ermitteln

Für die Verwendung eines kontextadaptiven Referenzprozesses muss dieser instanziiert und damit in einen Bearbeitungskontext gesetzt werden. Dafür muss der Plattform die Identitäten der verknüpften Entitäten mitgeteilt werden. Dies geschieht durch den Aufruf der Methode *initialiseProcess* (ProjID, ProcID, ActorID, ResourceID). Auf der CP³-Plattform wird nun eine entsprechende Prozessinstanz mit einer eindeutigen Prozess-ID erzeugt. Diese ID wird als SOAP-Response zurückgegeben. Zu dieser Prozessinstanz kann nun der situative Informationsbedarf durch den Plattformdienst *TemplateCustomizer* ermittelt werden (vgl. Abschnitt 5.2.1, S. 188). Diese Bedarfsermittlung wird durch die Methode *getSituativeMmc*(ProjID, ActorID, ProcID, „Input“) angestoßen. Abbildung 107 zeigt die beschriebene Vorgehensweise. Dieser Aufruf aktiviert die zentralen Plattformdienste, die für die Analyse des Informationsbedarfes zuständig sind (vgl. Abschnitt 5.2.4, S. 202)²³⁹. Als erster Schritt der Bedarfsermittlung wird die situative Multimodellvorlage erstellt. Da für die Informationsversorgung im Rahmen des Pilotszenarios multimodellbasierte Informationsräume verwendet werden, kann der Informationsbedarf eines Informationsprozesses als Multimodellvorlage dargestellt werden. Diese lässt sich mit der Methode *getSituativeMmt*(ProjID, ProcID, „Input“) zur Kontrolle ausgeben. Abbildung 106 zeigt einen Teil der ausgewerteten situativen Multimodellvorlage.

Die situativ angepasste Multimodellvorlage enthält die Beschreibung folgender Fachmodelle:

- ein BIM-Fachmodell der Rohbaukonstruktion Hochhaus in der Serialisierung die der Akteur in Abhängigkeit der ihm zur Verfügung stehenden Fachanwendungen bearbeiten kann (in diesem Szenario IFC) und in der Landessprache des Akteurs (hier deutsch), im Ausschnitt Erdgeschoss (nach der Prozessaufgabe – Level-ID des Erdgeschosses),
- ein Leistungsverzeichnis (LV Rohbau Hochhaus ohne Preise) der Fachmodellldomäne SPM im Format GAEB X83 (nach Fachanwendung des Akteurs) ebenfalls in Landessprache des Akteurs und als Ausschnitt der Aufgaben entsprechend, sowie
- ein Rahmenterminplan der Fachmodellldomäne TSM ebenfalls in Landessprache des Akteurs und als Ausschnitt der Aufgaben entsprechend.

Besonders zu erwähnen ist die Definition des Multimodellausschnittes. Diese ist in allen Fachmodellen gleichermaßen nach der Spezifikation des ausschnittdefinierenden Fachmodells angegeben (im Beispiel als Gebäudeausschnitt Erdgeschoss über IFC-Level-ID). Ebenso könnte ein anderes Fachmodell den Multimodellausschnitt definieren.

²³⁹ Im Zuge des Methodenaufwurfes wird eine Nutzeridentifikation übertragen, anhand derer die Zugriffsrechte des Anwenders ermittelt werden können.

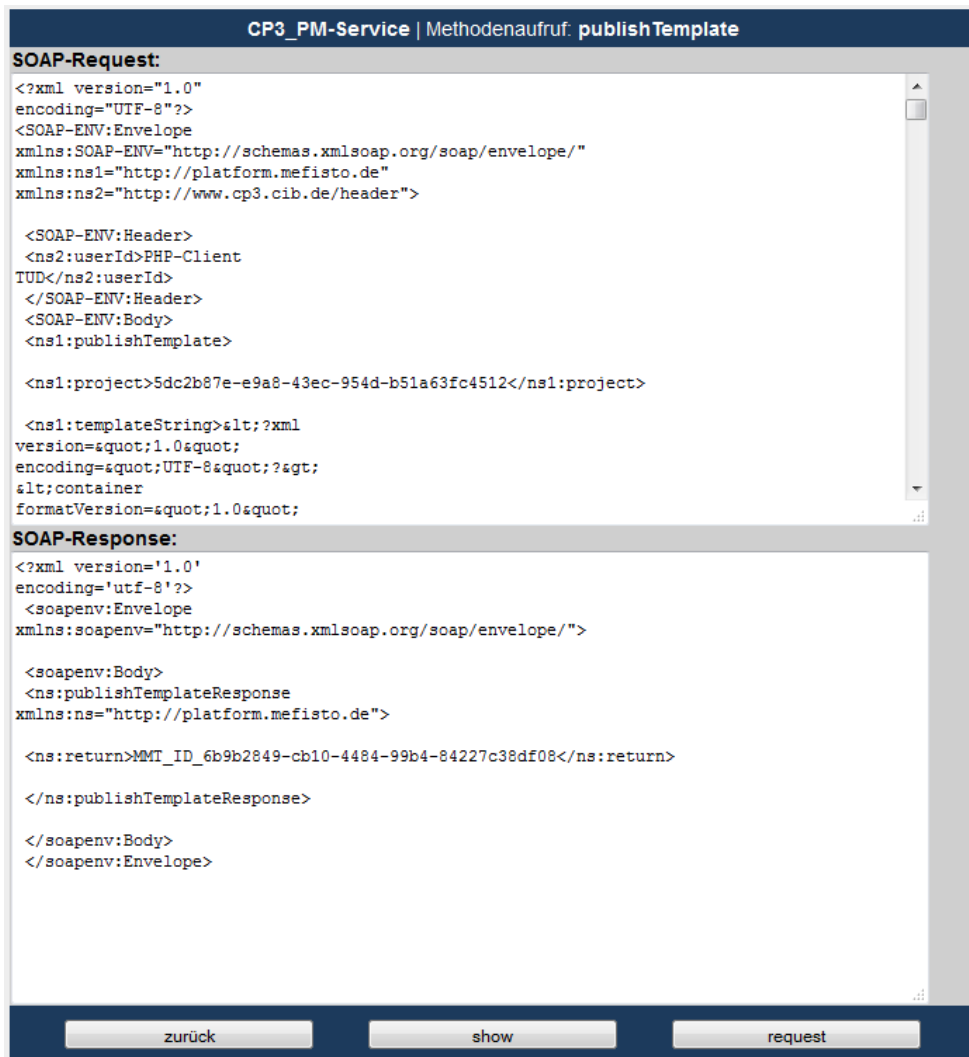


Abbildung 106: SOAP-Kommunikation

5.3.3 Erzeugen des kontextgerechten Multimodells

Um nun entsprechend des ermittelten situativen Informationsbedarfes einen adäquaten Informationsraum zu erzeugen sind zwei weitere Schritte nötig. Zum einen muss der Projektinformationsraum erweitert werden, um verwendbare vorhandene Informationsmodelle zu finden. Und zum anderen müssen die ermittelten Fachmodelle entsprechend der Vorlage adaptiert werden. Abbildung 109 zeigt die Vorgehensweise.

Die Beschreibung des Informationsangebots auf der Kollaborationsplattform findet durch die Metadaten der registrierten Fachmodelle statt.

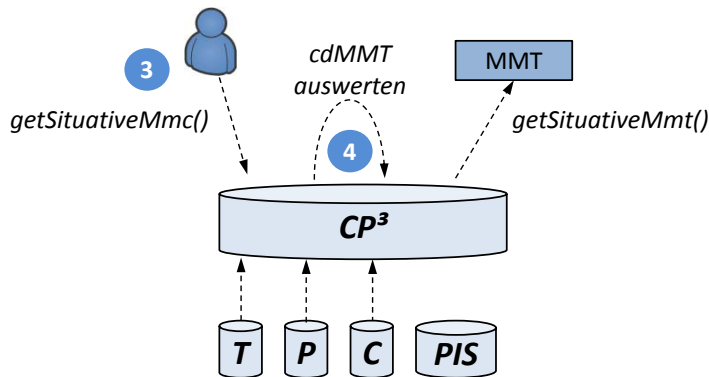


Abbildung 107: Ermittlung des situativen Informationsbedarfes

Um den spezifischen situativen Informationsbedarf bestmöglich zu erfüllen wird in Schritt 5 der Projektinformationsraum durch die Methode *generateEpis*(ProjID, ProcID) des zentralen Ontologie-Plattformdienstes erweitert (vgl. Abschnitt 5.2.5, S. 204). Der Ontologie-Plattformdienst nutzt die Metadaten der Informationsressourcen und der verfügbaren Filterdienste, um zusätzlich zu der expliziten Beschreibung vorhandener Informationsressourcen zusätzlich implizit abgedeckte und transitiv erzeugbare Informationsressourcen zu ermitteln (vgl. Abschnitt 5.2.5, S. 204). Als Ergebnis entsteht durch den sog. EPIS (extended Project Information Space) ein erweiterter Projektinformationsraum, in dem die spezifizierten Fachmodelle gefunden bzw. erzeugt werden können.

Fachmodelle adaptieren und Multimodell erzeugen

Die ermittelten Fachmodelle werden in einem Arbeitsverzeichnis gespeichert und können nun entsprechend des Informationsbedarfes adaptiert werden. Die Anpassung der vorgefundenen Fachmodelle entsprechend den in der Multimodellvorlage geforderten Fachmodellqualitäten soll durch Adaptiondienste durchgeführt werden. Aufgrund des Fehlens adäquater Filterdienste ist noch keine automatische Erzeugung des Informationsraumes möglich. Daher werden die Adaption der Fachmodelle und die finale Erzeugung des kontextgerechten Informationsraumes für das Evaluierungsszenario manuell nachgebildet. Für die Ausschnittbildung der Fachmodelle wurde die *Multimodel-Query-Language* (MMQL) genutzt (Fuchs, 2014).

Da der Multimodellausschnitt über das ifc-Gebäudemodell spezifiziert ist, werden in einem ersten Schritt die Modellelemente ermittelt, die zu dem gesuchten Bereich gehören. Dafür wird in diesem Beispiel die ifc-Property „RevitLevelName“ verwendet, welches die Geschossnummer repräsentiert. In der zu filternden IFC-Datei müssen diese Properties gesetzt sein. Die MMQL-Engine wertet eine entsprechende Anfrage aus und gibt ein Resultset mit den IDs aller Elemente zurück, deren Belegung des ifc-Properties „6.OG“ entspricht (vgl. Abbildung 111).



Abbildung 108: situative Multimodellvorlage

Anschließend können auf ähnliche Weise die Ausschnitte der verknüpften Fachmodelle ermittelt werden. Dafür werden über MMQL-Anfragen die transitiven Ausschnitte ermittelt, die durch den Bauwerksausschnitt spezifiziert sind. Abbildung 110 zeigt exemplarisch die Ermittlung der dem Erdgeschoss zugehörigen Leistungsverzeichniselemente. Anhand der ermittelten Identifikatoren können nun die Fachmodelle reduziert werden. Abschließend sind noch alle Linkelemente des Linkmodelles zu entfernen, die bereits entfernte Fachmodellelemente referenzieren. Die angepassten Modelle werden abschließend zu einem Multimodellcontainer zusammengefasst und abgespeichert.

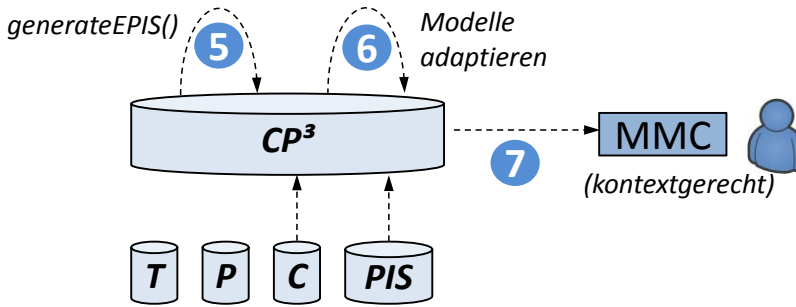


Abbildung 109: Vorgehensweise der Multimodellerzeugung

```

use file "d:\Temp\Szenario\Angebot_04_E.mmaa"

select
item.id,

buildingElement ? ("property","RevitLevelName") as level

from
"bauwerksmodell.ifc"."IfcBuildingElement" as buildingElement

cross linkedwith
"LV 1.X81"."Item" as item

where level == "6.0G"

```

Abbildung 110: MMQL zur Ermittlung des Leistungsverzeichnis-Ausschnittes

Gegenüberstellung kontextinvariantes und kontextgerechtes Multimodell

Durch die Anpassung der Qualitäten, der Ausschnitte und der Verknüpfungstiefe der Fachmodelle kann die Größe und Komplexität des erzeugten Informationsraumes gegenüber dem Ausgangs-Multimodell signifikant reduziert werden. Tabelle 30 stellt beide Multimodellcontainer gegenüber. Die folgenden beiden Abbildungen stellen das ursprüngliche kontextinvariante und das kontextgerechte Multimodell gegenüber. Beide Multimodelle werden durch die M2A2-Plattform²⁴⁰ dargestellt, auf der die verschiedenen Fachmodelle der Multimodelle mit ihren Verknüpfungen modelltypgerecht visualisiert werden können. Deutlich ist die Reduzierung des Gebäudemodells und der Linkanzahl zu erkennen.

²⁴⁰ M2A2 - Multi-Model Assembly and Analyzing Platform (Fuchs, 2014).

Tabelle 30: Gegenüberstellung beider Multimodellcontainer

	kontextinvariantes Multimodell	Kontextgerechtes Multimodell
BIM-Gebäudemodell (bauwerksmodell.ifc)	19,182 kB	1,556 kB
SPM-Leistungsverzeichnis (GAEB LV1.X81)	606 kB	545,145 kB
TSW-Rahmenterminplan (vorgangmodell1.xml)	190,322 kB	171,210 kB
Linkmodell	2964 Links	1755 Links

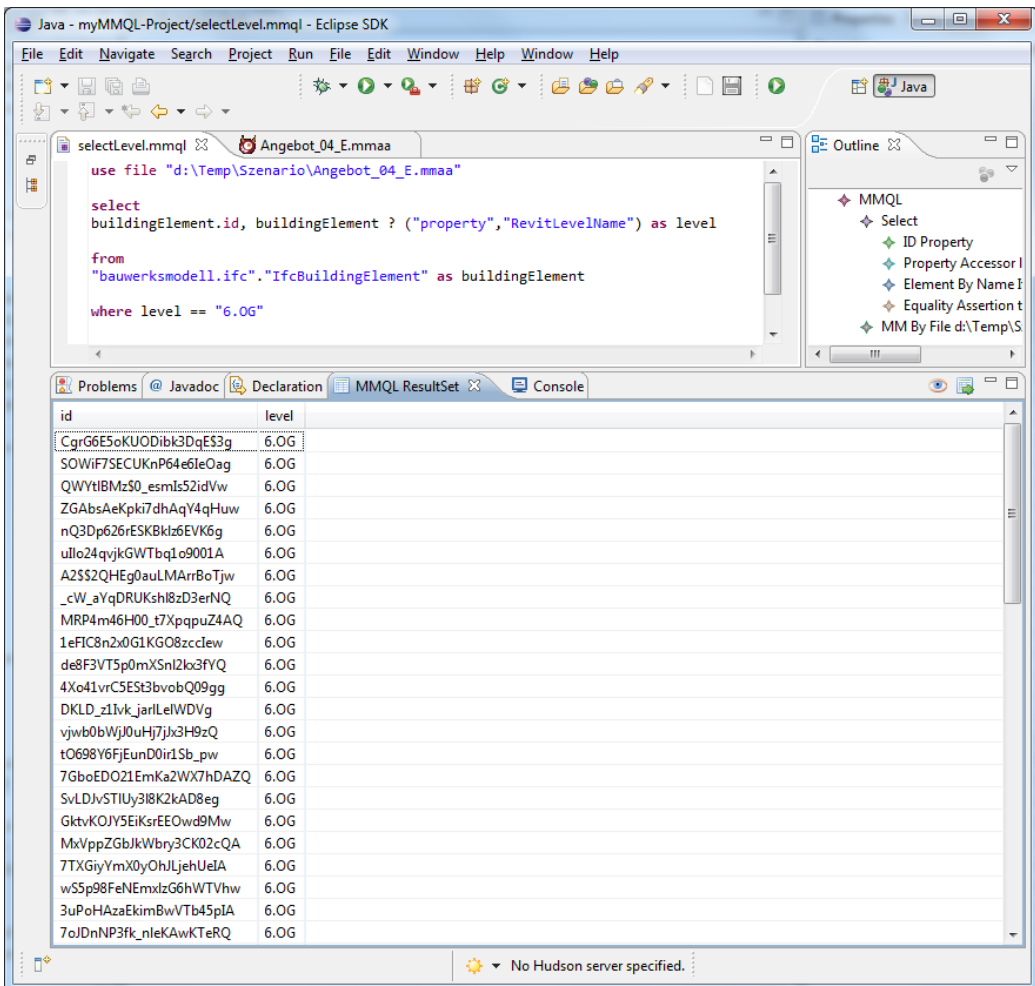


Abbildung 111: MMQL-Auswertung des Multimodells

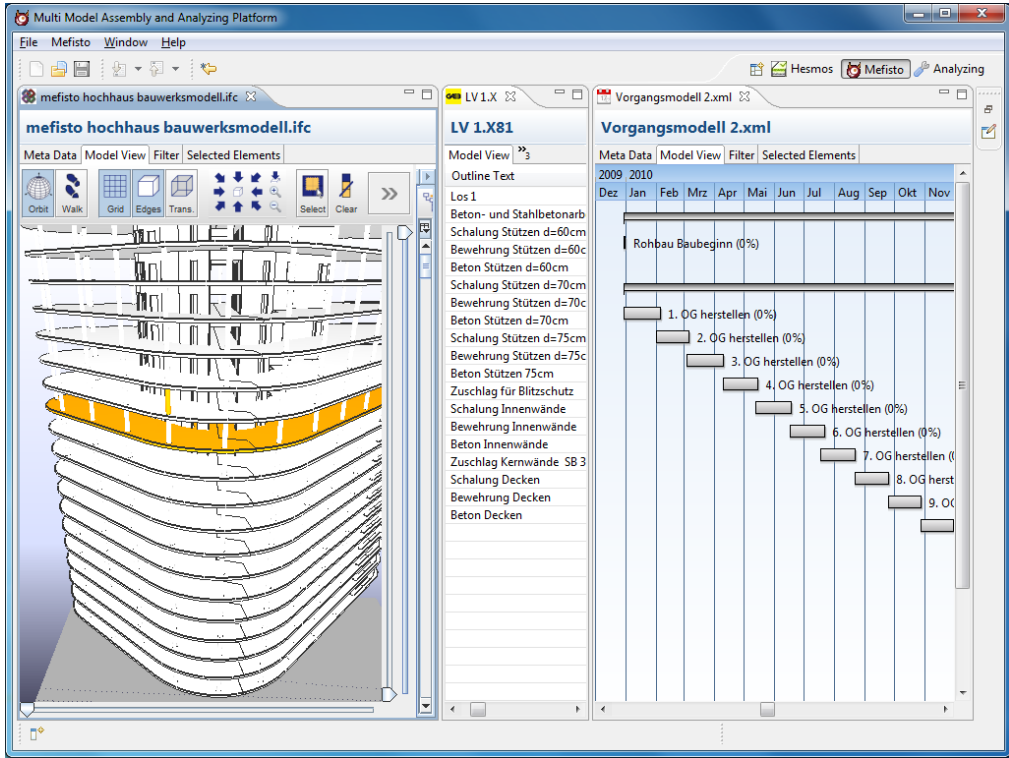


Abbildung 112: kontextinvarianter Multimodellcontainer (M2A2 Plattform)

5.3.4 Zusammenfassung

Anhand des gewählten Anwendungsszenarios aus der Ausschreibungsphase eines Bauprojektes wurde die Verwendung der vorgestellten Konzepte evaluiert. Unter Verwendung der entwickelten Pilotimplementierungen wurde demonstriert, wie die vorgeschlagenen Ansätze zu einem Gesamtprozess verknüpft und damit die Dynamik und Komplexität einer kontextgerechten Informationsversorgung beherrscht werden kann. Mit der Verwendung des Kontextwirk-Editors CATED wurde die Erstellung kontextadaptiver Multimodellvorlagen gezeigt. Anschließend wurde anhand der implementierten Plattformdienste der Kollaborationsplattform CP³ die entsprechende situative Auswertung zu einer kontextgerechten Multimodellvorlage beispielhaft gezeigt und die abschließende Erzeugung kontextadaptiver Multimodellcontainer skizziert. Das Ergebnis des Pilotszenarios belegt, dass multimodellbasierte Informationsräume durch die Berücksichtigung der Kontextinformationen an eine Bearbeitungssituation angepasst werden können und für eine effiziente Informationsversorgung von Bauinformationsprozessen prinzipiell anwendbar sind. Es zeigte sich, dass eine Verwendung kontextgerechter Informationsräume auf der Basis von situativen Informationsbedarfen wesentliche Vorteile gegenüber herkömmlichen kontextinvarianten Ansätzen bietet. Durch die Anpassung der Qualitäten, der Ausschnitte und der Verknüpfungstiefe der Fachmodelle kann die Größe und Komplexität der erzeugten Informationsräume signifikant reduziert werden. Als Ergebnis können für den jeweiligen Informationsprozess spezifisch komplexitätsreduzierte Informationen aufbereitet werden und für den Akteur entfällt daher eine zeitaufwendige Suche oder gar eine Informationsüberflutung.

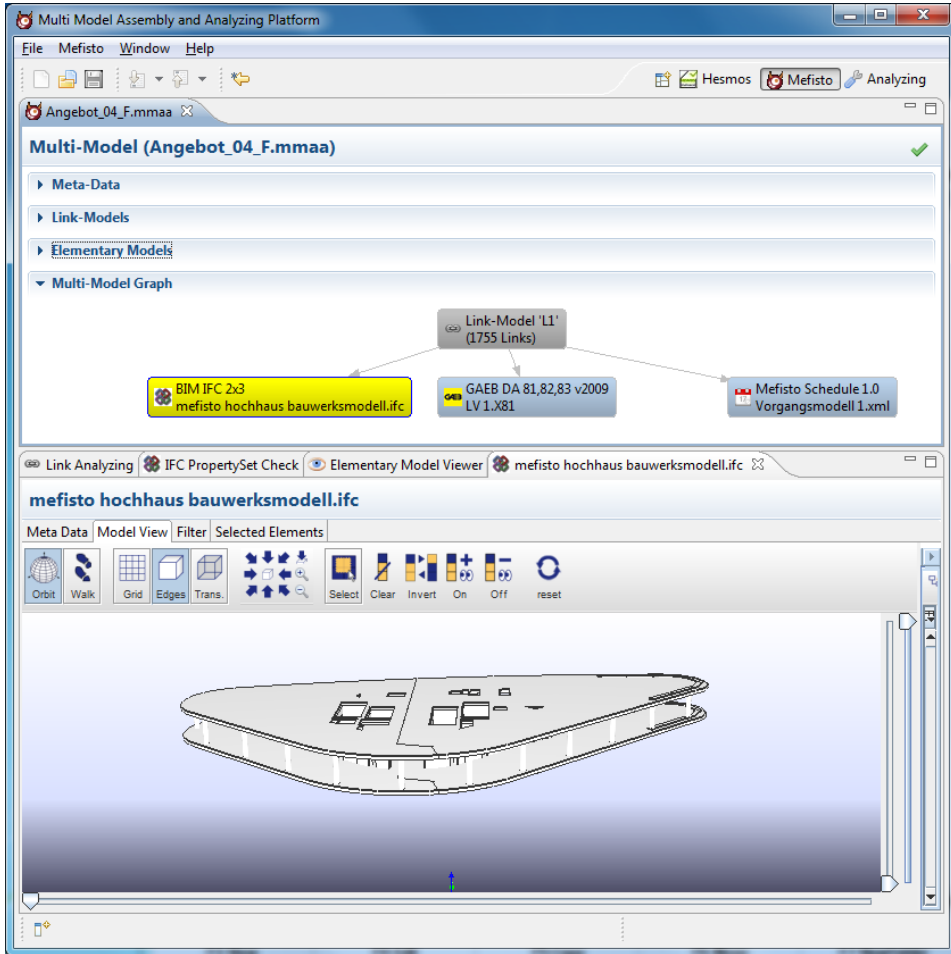


Abbildung 113: kontextgerechter Multimodellcontainer (M2A2 Plattform)

*„So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig,
man muß sie für fertig erklären,
wenn man nach Zeit und Umständen
das Mögliche getan hat.“*

(Johann Wolfgang von Goethe, 1749-1832)

Kapitel 6 **Schlussbetrachtung**

Eine kontextgerechte Informationsbereitstellung ist ein zentrales Anliegen für ein nutzerfreundliches Systemverhalten. Ausgehend von der dokumentenbasierten Informationslogistik der Vergangenheit wird in dieser Arbeit der Wandel hin zu einer kontextintegrierten Informationslogistik vorgeschlagen. Unter Betonung der Kontextabhängigkeit des situativen Informationsbedarfes kollaborativer Informationsprozesse wurde ein ganzheitlicher Ansatz entwickelt, der den Schwerpunkt der Informationsversorgung von allumfassend-effektiv hin zu kontextgerecht-effizient verlagert. Eine kontextgerechte Informationsversorgung kollaborativer Bauinformationsprozesse bildet allerdings eine Herausforderung, die nur unter Verwendung moderner IKT-Methoden erfüllt werden kann. Um die hohe Komplexität der Bearbeitungssituationen und der Informationsräume in Bauprojekten gleichermaßen als Gesamtsystem beherrschbar abzubilden, ist ein Lösungskonzept nötig, mit dem ein situativer Informationsbedarf ermittelt und ein bedarfsgerechter Informationsraum erstellt werden kann. Um ein solches Konzept zu erarbeiten, wurde in den vorangegangenen Abschnitten die aktuelle Situation der Informationslogistik in Bauprojekten analysiert und unter Beachtung aktueller Forschungsarbeiten sowie existierender Softwaresysteme schrittweise ein Lösungsansatz für eine kontextbewusste Informationslogistik erarbeitet. Dessen prototypische Umsetzung konnte anschließend anhand eines Anwendungsszenarios evaluiert werden. Dieser abschließende Abschnitt zieht ein Resümee, indem er die wichtigsten Punkte der Arbeit in Kurzform wiederholt und die erreichten Ergebnisse herauskristallisiert und bewertet. Abschließend werden Ansatzpunkte für mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

6.1 Zusammenfassung

Die Struktur der Bauwirtschaft ist geprägt von einer starken Fragmentierung und einer hohen fachlichen Spezialisierung. Die einzelnen Unternehmen konzentrieren sich auf spezifische Teilbereiche der Wertschöpfungskette und bündeln ihre Kernkompetenzen für die gemeinsame Planung und Realisierung von Bauvorhaben. Die kollaborative Zusammenarbeit der Wertschöpfungspartner ist durch modell-, format-, domänen- und organisationsübergreifende Bauinformationsprozesse mit dezentralem Austausch von Baufachmodellen gekennzeichnet, wobei sich die Fragmentierung der Branche auch in der verwendeten Informationstechnologie widerspiegelt. Eine große Anzahl heterogener Fachanwendungen bildet

domänenspezifische Informationen durch unterschiedliche Baufachmodelle ab. Dabei erfordert die Bearbeitung vieler Problemstellungen in Bauprojekten die Kombination verschiedener Fachmodelle, da für fachmodellübergreifende Auswertungen und Visualisierungen verschiedene Modellelemente miteinander in Bezug gesetzt werden müssen. Dabei lässt sich eine Kontextabhängigkeit des Informationsbedarfes feststellen, in der verschiedene Kontextaspekte der Bearbeitungssituation sowohl die Menge, die Qualitäten und die Ausschnitte als auch die Verknüpfungstiefe der benötigten Fachmodelle bestimmen. Zusätzlich ist bei der Betrachtung der insgesamt für ein Bauprojekt benötigten Informationen neben dem quantitativen Anwachsen auch ein deutliches Anschwellen des Umfangs und der Komplexität der einzelnen Baufachmodelle zu verzeichnen. Grund dafür sind wachsende Anforderungen an die Planung und Ausführung der Bauwerke, eine steigende Bauwerkskomplexität, langfristige Verwendungsziele der Fachmodelle, eine wachsende Digitalisierung sowie zunehmende gesetzliche Restriktionen. Als Resultat dieses Trends lässt sich perspektivisch eine weitere Zunahme der zu verarbeitenden Informationsmenge prognostizieren. In umfangreichen komplexen Fachmodellsammlungen werden jedoch die Orientierung und das Auffinden benötigter Einzelinformationen, die Verfolgung von Fachmodellinterdependenzen sowie die Relevanzbewertung des vorhandenen Informationsbestandes immer schwieriger. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Entwicklung einer Methodik zur Erzeugung kontextgerechter Informationsräume einen besonderen Stellenwert.

Aufgrund der strukturellen und inhaltlichen Diversität im Bauwesen existiert für die informationslogistische Unterstützung der Informationsprozesse keine branchenweite Softwarelösung. Für die Informationsversorgung kommen in Bauprojekten meist Dokumentenmanagementsysteme und Kollaborationsplattformen zur Anwendung, die vorwiegend dokumentenbasiert den Austausch und die Verwaltung der Baufachmodelle organisieren. Die Informationslogistik dieser traditionellen Systeme benutzt dabei weder die Semantik oder Syntax der verwalteten Fachmodelle noch Situationsinformationen. Somit kann kein situativer Informationsbedarf ermittelt und berücksichtigt werden. Dieser Mangel führt zu Problemen bei der Informationsversorgung der Bauinformationsprozesse, da der Austausch und die Nutzung umfangreicher Baufachinformationen durch deren Umfang und Komplexität stark behindert werden. Eine effiziente und bedarfsgerechte Kooperationsunterstützung auf der Grundlage aktueller Softwarelösungen ist somit nicht möglich.

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit war daher die Frage, wie die Informationslogistik in Bauprojekten effizienter gestaltet werden kann. Aus der Diskussion der Fragestellungen heraus entstand die zentrale wissenschaftliche Zielsetzung dieser Dissertation, eine umfassende Konzeption einer bedarfsgerechten Informationsversorgung von Bauinformationsprozessen zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund wurde die Strategie verfolgt, durch die Integration des Bearbeitungskontextes einen situativen Informationsbedarf zu antizipieren und kontextgerechte Informationsräume bedarfsgerecht anzupassen. Als Formalisierungsform der Informationsräume mit verknüpften Baufachmodellen werden Multimodelle verwendet. Als Lösungsansatz wurde daher ein Konzept für eine kontextgerechte Informationsversorgung

erarbeitet, mit dem Kontextabhängigkeiten des Informationsbedarfs formalisiert, situative Informationsbedarfe antizipiert und kontextgerechte Multimodelle erzeugt werden können.

Die Erarbeitung dieses Konzeptes erfolgte dabei aus einer informationslogistischen Perspektive heraus. Die Grundlage einer kontextgerechten Informationsversorgung ist der situative Informationsbedarf, wobei sich ein Bedarf an multimodellbasierten Informationsräumen durch Multimodellvorlagen spezifizieren lässt. Das Bestreben, Akteure bedarfsgerecht mit Informationen zu versorgen, wird allerdings dadurch behindert, dass eine vollständige Antizipation des Informationsbedarfs für eine spezielle Bearbeitungssituation als Voraussetzung für die A-priori-Erzeugung kontextgerechter Informationsräume nicht möglich ist. Um dieses Problem zu lösen, wurde die Informationslogistik um das Konzept der kontextadaptiven Informationsraumvorlagen erweitert, die Abhängigkeiten zwischen Kontextaspekten und Informationsraumelementen als Kontextwirkrelationen formalisieren. Für eine allgemeingültige, übertragbare und offene Formalisierung von Kontextwirkrelationen wurde die Regelsprache ContextScript entwickelt. Mit diesen Regeln annotierte Multimodellvorlagen können einen kontextabhängigen Informationsbedarf als *kontextadaptive* Informationsraumvorlage beschreiben. Durch die vorliegende Grammatik der Sprache kann automatisch ein Interpreter erzeugt werden, der Kontextwirkrelationen anhand vorliegender Kontextinformationen interpretiert und so eine *situative* Informationsraumvorlage erstellt. Auf der Basis dieser Vorlage kann aus den projektweit verfügbaren Informationsbeständen ein *kontextgerechter* Informationsraum generiert werden.

Vorgehensweise

Der erste Abschnitt leitet die Arbeit durch eine Beschreibung der Problemstellung und der Zielsetzung ein. Insbesondere wird die grundlegende Strategie des vorgeschlagenen Ansatzes vorgestellt. Der zweite Abschnitt arbeitet die Rahmenbedingungen für die Realisierung einer kontextgerechten Informationsversorgung heraus, die für Projekte im Bauwesen prägend sind. Dazu wurde die Heterogenität und Standardisierung der operativen Fachmodelle in den verschiedenen Fachdomänen untersucht. Aus den Rahmenbedingungen wurden Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung herausgearbeitet, die wesentlichen Eckpunkte für die Entwicklung des Ansatzes zur kontextgerechten Informationslogistik bilden. Abgeschlossen wird dieser Abschnitt mit einem Überblick über den Stand der Forschung und Technik auf dem Gebiet der Kollaborationsunterstützung sowie der Abgrenzung vorhandener Ansätze. Der dritte Abschnitt führt zunächst die grundlegenden Konzepte der multimodellbasierten Informationsräume und der Kontextmodellierung ein. Beide Ansätze werden schließlich zu dem Lösungskonzept der kontextgerechten Multimodelle kombiniert und es werden deren Kontextabhängigkeiten erörtert. Der vierte Abschnitt entwickelt das Konzept der kontextbewussten Informationslogistik. Hierfür werden durch ein Ontologie-Framework die wesentlichen Konzepte der Projektkollaboration wissensbasiert abgebildet. Für die Formalisierung von Kontextwirkrelationen wurde anschließend die Regelsprache ContextScript eingeführt und als Grundlage einer prototypisch technischen Realisierung einer kontextbewussten Informationslogistik wurde eine entsprechende Plattformarchitektur erarbeitet. Der fünfte Abschnitt beschäftigte sich mit den Pilotimplementierungen und der

Evaluation des vorgestellten Konzeptes. Für die Unterstützung der Definition adaptiver Informationsräume wird die Implementierung eines informationslogistischen Kontexteditors vorgestellt. Dieser Editor spielt eine besondere Rolle bei der Überprüfung des erarbeiteten Problemlösungsansatzes, da erst durch die Definition adaptiver Informationsräume eine kontextbewusste Informationslogistik evaluiert werden kann. Anschließend wurde ein Teilausschnitt einer kontextbewussten Kollaborationsplattform prototypisch implementiert. Durch verschiedene informationslogistische Plattformservices konnte gezeigt werden, wie die entwickelten Methoden zu einem Gesamtsystem verknüpft werden können und eine kontextgerechte Informationsversorgung realisiert werden kann. Zur Verifikation der Lösungskonzepte wurde abschließend exemplarisch das Zusammenwirken der einzelnen Systemkomponenten anhand eines Anwendungsszenariums gezeigt.

6.2 Ergebnisse der Arbeit

Das zentrale Ergebnis dieser Arbeit ist ein Konzept für die kontextgerechte Informationsversorgung durch multimodellbasierte Informationsräume. Im Rahmen der Konzeptentwicklung entstanden verschiedene Methoden, mit denen Kontextabhängigkeiten des Informationsbedarfs formalisiert, situative Informationsbedarfe antizipiert und kontextgerechte Informationsräume erzeugt werden können. Die einzelnen Ergebnisse der Arbeit werden in den nachfolgenden Punkten formuliert und anhand der Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung bewertet (vgl. Abschnitt 2.2.3, S. 45).

Ontologiebasiertes Kontextmodell

Die Grundlage für eine kontextgerechte Informationsversorgung besteht in der Erfassung und Modellierung der situationsbeschreibenden Kontextinformationen. Unter Betrachtung der an einem Informationsprozess beteiligten Entitäten wurde ein umfassendes Kontextmodell entwickelt, das die informationslogistischen Kontextaspekte einer Bearbeitungssituation formal abbildet. Durch die entitätsbasierte Struktur des Kontextmodells können kollaborationsbedingte Abhängigkeiten zwischen den Kontextinformationen dargestellt werden. Mit der Verwendung von Ontologien als Wissensmodell lässt sich dabei nicht nur vorhandenes explizites Wissen repräsentieren, sondern es lassen sich durch logikbasiertes Schließen neue implizite Informationen ableiten (vgl. Anforderung A11: Verknüpfungsstrukturen). Die Formalisierung in der etablierten Modellierungssprache OWL ermöglicht zudem die Wiederverwendbarkeit in anderen Systemen sowie die Validierbarkeit des Modells und impliziert eine gute Werkzeugunterstützung (vgl. Anforderung A12: Validierbarkeit, sowie Anforderung A14: Werkzeugunterstützung).

Semantische Beschreibung multimodellbasierter Informationsräume

Als Umsetzungsmethode für Informationsräume wird der Multimodellansatz verfolgt. Die Verwendung multimodellbasierter Informationsräume ermöglicht sowohl eine Abbildung der Interdependenzen zwischen den Fachmodellen als auch weiterhin die Einzelverwendung der Fachmodelle trotz ihrer Verknüpfung mit anderen Informationsressourcen (vgl. Anforderung A7: Lose Kopplung, sowie Anforderung A6: Verknüpfungsabbildung). Für eine se-

mentische Beschreibung kontextgerechter Informationsräume wurde ein Annotationskonzept entwickelt, das durch eine Beschreibung der Qualitäten und Ausschnitte der verknüpften Fach- und Linkmodelle die Ausgestaltung multimodellbasierter Informationsräume definiert. Durch dieses Konzept lassen sich sowohl vorhandene als auch benötigte Informationsräume umfassend beschreiben (vgl. Anforderung A8: Semantische Beschreibung). Durch die kontexttragenden Metadaten der Informationsräume werden Informationen zum Entstehungskontext sowie Angaben zur Aktualität und Verbindlichkeit übertragen. Diese sind wichtige Voraussetzungen für eine Bewertung der bereitgestellten Informationen (vgl. Anforderung A3: Bewertbarkeit der Informationen).

ContextScript-Regeln

Für die informationslogistische Integration der Kontextinformationen wurde ein Verfahren entwickelt, das durch die Formalisierung von Kontextwirkrelationen einen vereinheitlichten Zusammenhang zwischen den Kontextinformationen und den Informationsraumelementen herstellt. Durch die Regelsprache ContextScript kann die Kontextabhängigkeit eines Informationsraumelements abstrakt dargestellt werden. Dabei können die verschiedenen Einflüsse einzelner Kontextaspekte auf die Informationsraumgestaltung mit der dafür notwendigen Detaillierung modelliert werden (vgl. Anforderung A9: Granularität).

Kontextadaptive Multimodellvorlagen

Für die Beschreibung des Informationsbedarfes kommen Multimodellvorlagen zum Einsatz, die die Anforderungen an die Fachmodelle sehr generisch abbilden. Da diese Multimodellvorlagen jedoch keine geeigneten Mechanismen zur Kontextintegration bieten, wurden sie zu kontextadaptiven Multimodellvorlagen erweitert, in denen aufbauend auf der ContextScript-Regelsprache entsprechende Kontextwirkrelationen annotiert werden können. Durch die Anreicherung vorhandener kontextinvarianter Multimodellvorlagen durch ContextScript-Regeln wird eine Kontextadaptivität erreicht. Durch kontextadaptive Informationsraumvorlagen können ContextScript-Regeln persistiert und sukzessive verfeinert werden (vgl. Anforderung A13: Erweiterbarkeit).

Situative Multimodellvorlagen

Durch eine Auswertung der Kontextwirkrelationen anhand aktueller Kontextinformationen zum Anwendungszeitpunkt lässt sich eine situative Multimodellvorlage erzeugen, die dem situativen Informationsbedarf entspricht und eine Anpassung eines Multimodells an die gerade vorherrschende Bearbeitungssituation beschreibt. Durch die kontextgerechte Informationsraumvorlage werden die unterschiedlichen Qualitäten, Ausschnitte und Verknüpfungsgrade der Fachmodelle umfassend semantisch beschrieben, die für eine bedarfsgerechte Informationsversorgung durch situationsangepasste Informationsräume benötigt werden (vgl. Anforderung A2: Adaptivität der Informationen, sowie Anforderung A8: Semantische Beschreibung). Zudem eröffnet sich aufgrund der Einbeziehung von nutzerbezogenen Kontextinformationen erstmals die Möglichkeit, zur Unterstützung einer effektiven Aufgabenbearbeitung anwenderspezifische Zusatzinformationen in die Informationsversorgung einfließen zu lassen (vgl. Anforderung A1: Vollständigkeit der Informationen).

Die Projektkollaborationsontologie

Um wesentliche Konzepte der Informationsprozesse wissensbasiert abzubilden, wurde ein Ontologie-Framework entwickelt. Diese Projektkollaborationsontologie (PKO) repräsentiert neben einer formalen Beschreibung der Bearbeitungssituation das Wissen über Struktur und Adaptionmöglichkeiten der verwendeten Fachmodelltypen sowie Wissen über die Organisationsinformationen der Projektorganisation. Damit stellt die PKO ein Werkzeug dar, das den Inhalt der Fachmodelle interpretieren und auswerten kann, sowie eine deduktive Ermittlung von Adaptionmöglichkeiten ermöglicht, die für die Erfüllung ermittelter Informationsbedürfnisse anwendbar sind. Zusätzlich garantiert eine formale Beschreibung der Bearbeitungssituation auf der Basis einer Ontologie die Nachvollziehbarkeit, Übertragbarkeit und Offenheit des Lösungsansatzes (vgl. Anforderung A12: Validierbarkeit).

Der Kontextwirkeditor

Die prototypische Implementierung eines Kontextwirkeditors ist eine wichtige Grundlage für die Gesamtkonzeption einer erfolgreichen multimodellbasierten Kontextintegration. Der entwickelte Editor unterstützt den Akteur bei der Erstellung von kontextadaptiven Multimodellvorlagen. Durch die Verwendung eines vorher vereinbarten Kontextmodells und der Informationsraumelemente auf Multimodellbasis sind Kontextwirkrelationen sehr einfach und generisch über wenige ContextScript-Regeln beschreibbar.

Die kontextbewusste Kollaborationsplattform

In Abschnitt 4.3 wurde eine Plattformarchitektur zur Erzeugung multimodellbasierter kontextgerechter Informationsräume erarbeitet. Die prototypische Implementierung wesentlicher informationslogistischer Plattformdienste dieser Architektur demonstriert wichtige Schritte für eine erfolgreiche Kontextintegration in existierende Kollaborationsplattformen. Dabei unterstützen die Plattformdienste wesentliche Anforderungen an eine kontextgerechte Informationsversorgung. So kann durch den Ontologie-Plattformdienst neben dem Kontextmodell auch ein projektweit einheitliches Annotationsvokabular für die semantische Beschreibung der interdisziplinär verwendeten Informationsräume zentral verwaltet werden (vgl. Anforderung A5: Einheitliche Begrifflichkeiten). Die Plattformdienste der Kontextwertschöpfung bilden sowohl die Dynamik als auch die Verknüpfungsstrukturen der Kontextaspekte ab und ermöglichen das Zusammenführen der verteilt anfallenden Kontextinformationen. (vgl. Anforderung A10: Dynamik, sowie Anforderung A11: Verknüpfungsstrukturen). Die Plattformdienste der Multimodellerzeugung ermöglichen letztendlich die proaktive Informationsbereitstellung (vgl. Anforderung A4: Proaktive Informationsversorgung). Durch die SOA-basierte und über Webservices implementierte Architektur der Kollaborationsplattformen wird ein barrierefreier Zugriff für die Akteure und Fachanwendungen ermöglicht.

Der erweiterte Projektinformationsraum

Durch die Verwendung von wissensbasierten Schlussfolgerungen wird die semantische Beschreibung vorhandener Informationsbestände dazu genutzt, durch Überdeckungsauflösung und Transitivitätsauswertung zusätzlich zu explizit beschriebenen Ressourcen implizit erreichbare Ressourcen in Form einer impliziten Hülle zu bestimmen. Durch den dadurch erzeugten erweiterten Projektinformationsraum ist jederzeit eine Aussage dazu möglich, ob in der gegenwärtigen Projektsituation die Fachmodelle eines geforderten Informationsraumes vorhanden oder generierbar sind. Somit ist es durch Verwendung der PKO möglich, die Auswahl angemessener Templates sowohl quantitativ, durch Modellauswahl, als auch qualitativ, durch die Erzeugung der impliziten Hülle, zu verbessern und damit die Informationssuche nach kontextspezifischen Informationsmodellen gezielt zu unterstützen (vgl. Anforderung A1: Vollständigkeit der Informationen).

Auswertung der Evaluation

Die Verwendung des vorgestellten Konzeptes wurde abschließend anhand eines Anwendungsszenarios aus der Ausschreibungsphase eines Bauprojektes mit den entwickelten Pilotimplementierungen evaluiert. Die Ergebnisse belegen, dass multimodellbasierte Informationsräume unter Berücksichtigung der Kontextinformationen einer Bearbeitungssituation angepasst werden können und für die Informationsversorgung in Bauinformationsprozessen prinzipiell anwendbar sind. Es wurde sowohl die Erzeugung kontextadaptiver Multimodellvorlagen als auch die Auswertung zu kontextgerechten Multimodellvorlagen beispielhaft gezeigt. Dabei stellte sich heraus, dass die Verwendung kontextgerechter Informationsräume auf der Basis von situativen Informationsbedarfen wesentliche Vorteile gegenüber herkömmlichen kontextinvarianten Ansätzen bietet. Durch die Anpassung der Qualitäten, der Ausschnitte und der Verknüpfungstiefe der Fachmodelle kann die Größe und Komplexität der erzeugten Informationsräume signifikant reduziert werden. Zusätzlich lassen sich Sicherheitskonzepte auf der Basis feingranularer Rollenberechtigungen effizient umsetzen.

Fachgebietsübergreifender Einsatz

Der Einsatz des entwickelten Konzeptes beschränkt sich nicht auf das Bauwesen. Insbesondere die ContextScript-Regeln sind applikationsneutral und durch eine domäneninvariante Grammatik unabhängig von den verwendeten Umsetzungstechnologien. Somit können sie unter Verwendung beliebiger domänenspezifischer Vokabulare und Kontextmodelle ebenso für die Beschreibung von Multimodellvorlagen in anderen Fachdomänen angepasst werden.

Diskussion Aufwand und Nutzen

Für eine grundsätzliche Bewertung der Zweckmäßigkeit des vorgestellten Lösungsansatzes muss ein Vergleich zwischen dem Nutzen und dem Aufwand, die sich aus der Umsetzung ergeben, durchgeführt werden. Der Einsatz des entwickelten Konzeptes erfordert eine informationslogistische Infrastruktur zur semantischen Beschreibung aller in Projekten zur Verfügung stehenden Ressourcen. Der Aufwand für eine komplette Systemimplementierung ist dabei als sehr hoch einzustufen. Allerdings bieten viele traditionelle Kommunikations- und Kollaborationssysteme bereits für das Managen von verteilten digitalen Ressourcen entspre-

chende Metadaten. Somit lässt sich mit dem Konzept eine Aufwertung und Erweiterung vorhandener Kollaborationsplattformen hinsichtlich ihrer Kontextsensitivität relativ einfach erreichen. Für eine Abschätzung des Nutzens gilt es abzuwägen, welche möglichen Folgen eine Informationsüberflutung oder ein Informationsdefizit verursachen. Der Effektivitätsgewinn, der bei Verwendung des Konzeptes entsteht, besteht darin, dass für den jeweiligen Projektteilnehmer aufgabenspezifisch komplexitätsreduzierte Informationen aufbereitet werden können und eine zeitaufwendige Suche oder eine Informationsüberflutung entfällt. Hier muss für das Anwendungsumfeld eingeschätzt werden, als wie wichtig und dringlich der Bedarf an einer gezielten Informationsversorgung wahrgenommen wird. Dabei sind die Dynamik des Umfeldes, die Anzahl der beteiligten Projektpartner und der Umfang der ausgetauschten Informationsmodelle zu beachten. Eine umfassende Beurteilung des Nutzens lässt sich nur durch weitere empirische Untersuchungen anhand von verschiedenen Anwendungsfällen vornehmen.

Gesamtsystem

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorliegende Arbeit ein Konzept vorstellt, mit dem durch eine Integration des Bearbeitungskontextes und der Formalisierung von Kontextabhängigkeiten ein situativer Informationsbedarf ermittelt und durch einen darauf basierenden kontextgerechten Informationsraum erfüllt werden kann. Es wird aufgezeigt, dass eine bedarfsgerechte Versorgung kollaborativer Informationsprozesse von situationsbeschreibenden Kontextinformationen sowie der Formalisierung von Kontextwirkrelationen abhängig ist. Mit der vorgeschlagenen Methodik können erforderliche Informationsobjekte für einen Informationsprozess situativ ermittelt werden. Die Verwendung von Standardtechnologien aus den Fachbereichen des Wissens- und Informationsmanagements für die softwaretechnische Umsetzung der Pilotimplementierungen sowie die Evaluation aus dem Bereich Ausschreibung lassen auf eine Einsatzfähigkeit des vorgestellten Ansatzes schließen. Insbesondere wurde durch die Entwicklung der ContextScript-Regeln eine methodische Grundlage geschaffen, mit der erstmals Kontextwirkrelationen für Informationsraumbeschreibungen, zunächst beschränkt auf Multimodelle des Bauwesens, formalisiert werden können. Somit stellt die Verwendung von ContextScript-Regeln eine Methode dar, um den im Rahmen der Bearbeitung kollaborativer Bauinformationsprozesse entstehenden situativen Informationsbedarf in angemessener Weise darzustellen. Dabei können die entwickelten ContextScript-Regeln nicht nur von einer Interpreter-Software, sondern auch von Menschen interpretiert werden, wodurch Fachplaner relativ einfach Kontextabhängigkeiten modellieren und automatisiert auswerten lassen können.

6.3 Ausblick

In der Zukunft ist auch weiterhin mit einem stetigen Anwachsen des Informationsvolumens zu rechnen. Aufgrund dieser Tendenz wird der Bedarf an einer bedarfsgerechten Informationsversorgung zunehmen, denn nur so kann dafür gesorgt werden, dass Akteur kaum Aufmerksamkeit für unnötige Informationen verschwenden müssen. Der Lösungsansatz, der in dieser Arbeit vorgestellt wurde, ist ein erster Schritt in diese Richtung. Bis sich allerdings kontextverarbeitende Methoden als integrale Bestandteile künftiger Anwendungssysteme etablieren können, müssen noch einige Hürden beseitigt und Details optimiert werden. Dies sollten Themen weiterführender Forschungsarbeiten sein, für die nachfolgend einige Anknüpfungspunkte exemplarisch benannt werden.

Nutzer-Feedback: Durch eine manuelle subjektive Bewertung der generierten Informationsräume (explizites Nutzer-Feedback) oder eine automatische Auswertung evtl. Informationsnachforderungen (implizites Nutzer-Feedback) kann eine Ergebnisbewertung des erzeugten Informationsraumes ermittelt werden. Über dieses Feedback lassen sich die kontextadaptiven Informationsraumvorlagen iterativ verbessern. Ein Beispiel für ein sog. *Relevance-Feedback*-Verfahren für kontextbasierte Informationssammlungen gibt Härtwig (2009, S. 23).

Automatische Modellverknüpfungen: Für die Anpassung der Verknüpfungstiefe der kontextgerechten Multimodelle wurde in der Arbeit von einem bereits ausreichend verknüpften Multimodell ausgegangen, dessen Verknüpfungstiefe entsprechend reduziert wurde. Ein manuelles Verknüpfen interdependenter Modellelemente ist jedoch sehr aufwendig. Hier sollten Methoden für eine automatische Linkerstellung gefunden werden (z. B. anhand von Referenz-Linkmodellen). Erste Ansätze für eine automatische Linkgenerierung durch Multimodellabfragesprachen präsentieren Mazairac und Beetz (2012) und Fuchs (2014).

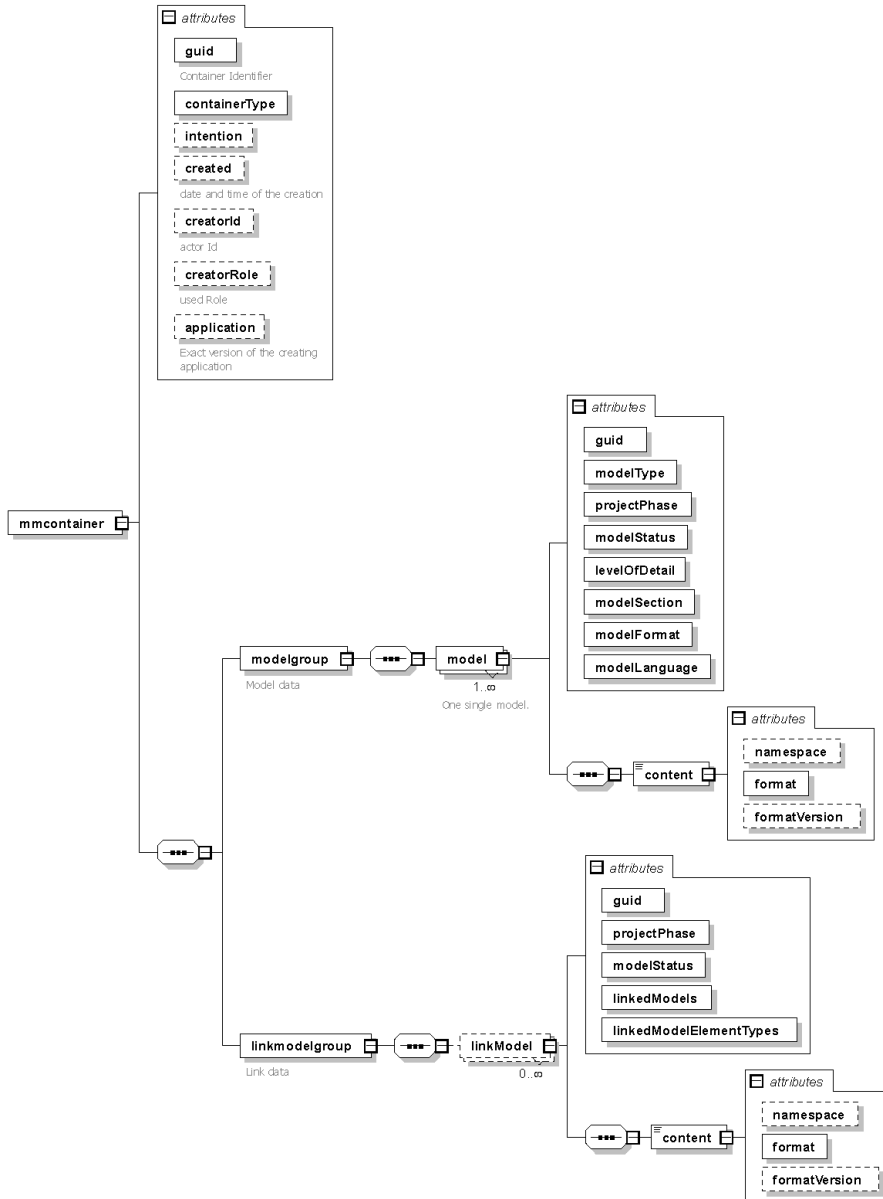
Adaptionsmethoden für Fachmodelle: Die kontextgerechte Adaption der Fachmodelle wurde nur sehr abstrakt über externe Plattformdienste beschrieben. Für eine praktikable Anwendung des beschriebenen Konzeptes sind unbedingt entsprechende Modellfilter für die Adaption der Fachmodelle nötig. Erste Arbeiten in diese Richtung stellt WINDISCH ET AL. (2012) und Wülfing et al. (2012) mit dem *BimFit*-Filterframework vor.

Sicherheitskonzepte: Eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz kontextadaptiver Anwendungen sind ausgereifte Sicherheitskonzepte, die den verschiedenen Sicherheitsinteressen der Anbieter und Anwender Rechnung tragen. Der Zugang sowohl zu personenbezogenen Informationen als auch zu Prozessinformationen und Diensten muss geeignet realisiert werden. Um die natürlichen Interessenambivalenz der Beteiligten zu begegnen ist unter Umständen die Verwendung modifizierter, z. B. anonymisierter oder verrauschter personenbezogener Informationen (Schlott, 2008) oder eine feingranular Zugriffskontrolle nötig (Hilbert et al., 2010). ■

Anhang

A1 XML-Schema der Containerbeschreibung

Die folgende Abbildung zeigt das Schema der Containerbeschreibung gefolgt von der XML-Notation.



```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Mit XMLSpy v2012 sp1 (x64) (http://www.altova.com) von Raimar Scherer (Institut für Bauinformatik)
bearbeitet -->
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified" at-
tributeFormDefault="unqualified">
  <xs:include schemaLocation="Info.xsd"/>
  <xs:include schemaLocation="mmmmeta.xsd"/>
  <xs:element name="mmcontainer">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="modelgroup" minOccurs="1" maxOccurs="1">
          <xs:annotation>
            <xs:documentation>Model data</xs:documentation>
          </xs:annotation>
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element name="model" maxOccurs="unbounded">
                <xs:annotation>
                  <xs:documentation>One single model.</xs:documentation>
                </xs:annotation>
                <xs:complexType>
                  <xs:sequence>
                    <xs:element name="content" minOccurs="1" maxOccurs="1">
                      <xs:complexType>
                        <xs:simpleContent>
                          <xs:extension base="xs:anyURI">
                            <xs:attribute name="namespace" type="xs:string">
                              <xs:annotation>
                                <xs:documentation>
                                  Namespace for the IDs in the file.
                                </xs:documentation>
                              </xs:annotation>
                            </xs:attribute>
                            <xs:attribute name="format" type="xs:string" use="required">
                              <xs:annotation>
                                <xs:documentation>
                                  Format of the content(E.g. ifc, gaebxm,...)
                                </xs:documentation>
                              </xs:annotation>
                            </xs:attribute>
                            <xs:attribute name="formatVersion" type="xs:string">
                              <xs:annotation>
                                <xs:documentation>
                                  Version of the content format
                                </xs:documentation>
                              </xs:annotation>
                            </xs:attribute>
                          </xs:extension>
                        </xs:simpleContent>
                      </xs:complexType>
                    </xs:element>
                  </xs:sequence>
                </xs:element>
              </xs:sequence>
            </xs:complexType>
          </xs:sequence>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>

```

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite

```

<xs:attribute name="guid" use="required"/>
<xs:attribute name="modelType" use="required">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="Object"/>
      <xs:enumeration value="BoQ"/>
      <xs:enumeration value="QTO"/>
      <xs:enumeration value="Activity"/>
      <xs:enumeration value="Plant"/>
      <xs:enumeration value="Estimate"/>
      <xs:enumeration value="Other"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="projectPhase" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="modelStatus" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="levelOfDetail" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="modelSection" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="modelFormat" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="modelLanguage" type="xs:string" use="required"/>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="linkmodelgroup" minOccurs="1" maxOccurs="1">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>Link data</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="linkModel" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
        <xs:complexType>
          <xs:sequence>
            <xs:element name="content" minOccurs="1" maxOccurs="1">
              <xs:complexType>
                <xs:simpleContent>
                  <xs:extension base="xs:anyURI">
                    <xs:attribute name="namespace" type="xs:string">
                      <xs:annotation>
                        <xs:documentation>
                          Namespace for the IDs in the file.
                        </xs:documentation>
                      </xs:annotation>
                    </xs:attribute>
                    <xs:attribute name="format" type="xs:string" use="re-
quired">
                      <xs:annotation>
                        <xs:documentation>
                          Format of the content(E.g. ifc, gaebxm,...)
                        </xs:documentation>
                      </xs:documentation>
                    </xs:annotation>
                  </xs:simpleContent>
                </xs:complexType>
              </xs:element>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>

```

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite

```

        </xs:annotation>
      </xs:attribute>
      <xs:attribute name="formatVersion"
type="xs:string">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>
            Version of the content format
          </xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:attribute>
    </xs:extension>
  </xs:simpleContent>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
<xs:attribute name="guid" use="required"/>
<xs:attribute name="projectPhase" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="modelStatus" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="linkedModels" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="linkedModelElementTypes" type="xs:string" use="required"/>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
<xs:attribute name="guid" use="required">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>Container Identifier</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="containerType" type="xs:string" use="required"/>
<xs:attribute name="intention">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="Project"/>
      <xs:enumeration value="Alternative"/>
      <xs:enumeration value="Package"/>
      <xs:enumeration value="Other"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="created" type="xs:dateTime">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>date and time of the creation</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="creatorId" type="xs:string">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>actor Id</xs:documentation>
  </xs:annotation>

```

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite

```

</xs:attribute>
<xs:attribute name="creatorRole" type="xs:string">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>used Role</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:attribute>
<xs:attribute name="application" type="xs:string">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>Exact version of the creating application</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>

```

A2 Bauspezifische Multimodellvorlagen²⁴¹

Im Folgenden sind die unterschiedlichen Multimodelle der verschiedenen Projektphasen dargestellt. Diese wurden im Projekt Mefisto erarbeitet und sind unter www.mefisto-bau.de abrufbar.

Ausschreibung Baukonstruktion	
Bauwerk	d: BIM.Bauko, f: ifc 2x3, m: n.a., l: 4 p: xx.x...x Vergabeunterlagen erstellen, s: ap/ao
Leistungsverzeichnis	SPM.QTO f: gaeb x8x, l: 5, p: Vergabeunterlagen erstellen
Leistungsmengen	SPM.BoQ f: qtoXML, l: 5, p: Vergabeunterlagen erstellen
Rahmentermine	TSM f: ifcProzessXML, l: 3, p: Vergabeunterlagen erstellen
Baubeschreibung & Vertragsbedingungen	d: Other, f: PDF, p: Vergabeunterlagen erstellen, s: ap
LM	

Ausschreibung Baukonstruktion	
Bauwerk	d: BIM.Bauko, f: ifc 2x3 m: n.a., l: 4, p: 1.1, s: ap
Leistungsverzeichnis	d: SPM.BoQ, f: gaeb x83 m: n.a., l: 5, p: 1.1, s: ap
Leistungsmengen	d: SPM.QTO, f: qtoXML m: n.a., l: 5, p: 1.1, s: ap
Rahmentermine	d: TSM, f: ifcProzessXML m: n.a., l: 3, p: 1.1, s: ap
Baubeschreibung & Vertragsbedingungen	d: Other, f: PDF, m: n.a., l: 4, p: 1.1, s: ap
LM	

²⁴¹ Die Multimodellvorlagen wurden im Forschungsprojekt Mefisto erarbeitet (Scherer und Schapke, 2014).

Angebot

<u>ausgefülltes LV</u>	d: COM.EP, f: gaeb x84 m: n.a., l: 4, p: 2.5, s: ap
<u>Urkalkulation</u>	d: COM.EKT, f: gaeb x84 m: n.a., l: 5, p: 2.5, s: ap
<u>Nebenangebote</u>	d: SPM.ALT, f: gaeb x85 m: n.a., l: 5, p: 2.5, s: ap
<u>Erläuterungen zum Angebot</u>	d: Other, f: PDF m: n.a., l: 3, p: 2.5, s: ap
<u>Eignungsnachweise</u>	d: Other, f: PDF m: n.a., l: 4, p: 2.5, s: ap
<u>Eigenerklärungen</u>	d: Other, f: PDF m: n.a., l: 4, p: 2.5, s: ap

LM**Werkvertrag**

<u>Bauwerk</u>	d: BIM.Bauko, f: ifc 2) m: n.a., l: 4, p: 3.3, s: a)
<u>Leistungsverzeichnis</u>	d: SPM.BoQ, f: gaeb x8 m: n.a., l: 5, p: 3.3, s: a)
<u>Leistungsmengen</u>	d: SPM.QTO, f: qtoXM m: n.a., l: 5, p: 3.3, s: a)
<u>Vertragstermine</u>	d: TSM, f: ifcProzessXM m: n.a., l: 3, p: 3.3, s: a)
<u>Baubeschreibung & Vertragsbedingungen</u>	d: Other, f: PDF, m: n.a., l: 4, p: 3.3, s: a)









LM**MMT – Werkvertrag**

<u>Bauwerk</u>	BIM f: ifc, l: 4, p: Vertrag
<u>ausgeschriebene Leistungen</u>	SPM.QTO f: gaeb, l: 5, p: Vertrag
<u>ausgeschriebene Mengen</u>	SPM.BoQ f: gaeb, l: 4, p: Vertrag
<u>Baubeschreibung</u>	SPM.DSC f: pdf, l: 4, p: Vertrag
<u>Vertragstermine</u>	TSM f: ifcxml, l: 3, p: Vertrag
<u>allgemeine Vertragsbedingungen</u>	ORG.AVB f: txt, l: 5, p: Vertrag
<u>zusätzliche technische Vertragsbedingungen</u>	ORG.ZTV f: txt, l: 5, p: Vertrag
<u>besondere Vertragsbedingungen</u>	ORG.BVB f: txt, l: 5, p: Vertrag




























LM**A3 Vokabulare**

Im Folgenden sind die Metadatenvokabulare aufgelistet. Es wird jeweils die Hierarchie als Abbildung dargestellt, die zugrundeliegenden XML-Dateien sind unter <http://www.mefistobau.de> erhältlich






A3.1 Construction Level of Details

- ▲  file:/d:/temp_models/mefisto.constructionlevelofdetails
 - ▲  Level Group
 - ▲  Level Of Detail Type [0] Landschaft
 - ▲  Level Of Detail Type [1] Stadt, Region
 - ▲  Level Of Detail Type [2] Stadtteil, Liegenschaften
 - ▲  Level Of Detail Type [3] Bauwerk, Bauwerksabschnitte
 - ▲  Level Of Detail Type [4] Bauwerkselemente, Objektplanung
 -  Level Of Detail Type [5] Bauwerkselemente, Komponenten & Arbeitsplanung

A3.2 Construction Domains

-  Domain Type
 - ▲  Domain Type BIM
 - ▷  Domain Type BIM.BSM
 - ▷  Domain Type BIM.BEM
 -  Domain Type BIM.OTH
 - ▲  Domain Type CSM
 - ▷  Domain Type CSM.SLM
 -  Domain Type CSM.CEQ
 -  Domain Type CSM.CMA
 - ▷  Domain Type CSM.OTH
 - ▲  Domain Type ORM
 -  Domain Type ORM.PRO
 -  Domain Type ORM.COO
 - ▷  Domain Type ORM.OTH
 - ▲  Domain Type SPM
 -  Domain Type SPM.PRG
 - ▷  Domain Type SPM.BOQ
 -  Domain Type SPM.QTO
 -  Domain Type SPM.OTH
 - ▲  Domain Type TSM
 -  Domain Type TSM.MSP
 -  Domain Type TSM.TSC
 -  Domain Type TSM.ATM
 -  Domain Type TSM.OTH
 - ▷  Domain Type COM
 - ▷  Domain Type RIM
 - ▷  Domain Type LKM

A3.3 Construction ModelStatus

- ▲  file:/D:/aBuild/Vokabulare/mefisto.constructionstatus
 - ▲  Status Type alpha
 - ▲  Status Type beta
 - ▲  Status Type gamma
 -  Status Type epsilon

A3.4 Construction Phases

- Phase Type Projekt
 - ▲ ■ Phase Type CCPT>Konzept/Conception
 - Phase Type CCPT>NEED>Grundlagenermittlung / Needs Identification
 - Phase Type CCPT>PRPL>Vorplanung/Pre-Planning
 - ▲ ■ Phase Type PLNG>Planung/Planning
 - Phase Type PLNG>DSGN>Entwurf/Conceptual Design
 - Phase Type PLNG>DDEV>Genehmigungsplanung/Design Development
 - Phase Type PLNG>CDCM>Ausführungsplanung/Construction Documents
 - ▲ ■ Phase Type PRCR>Vergabe und Vertrag/Procurement
 - Phase Type PRCR>SLCT>Ausschreibung/Solicitation
 - Phase Type PRCR>BDDG>Angebotserstellung/Bidding
 - Phase Type PRCR>SELC>Bieterauswahl/Contractor Selection
 - Phase Type PRCR>CNTR>Vertrag/Contracting
 - ▲ ■ Phase Type EXEC>Erstellung/Execution Stage
 - ▲ ■ Phase Type PRCR>SPLM>Vertragsergänzungen/Contract Supplements
 - Phase Type PRCR>SPLM>RFCS>Änderungsanfrage/Request for Change
 - Phase Type PRCR>SPLM>AMNP>Nachtragsangebot/Amendment Proposal
 - Phase Type PRCR>SPLM>AMND>Nachtragsvereinbarung/Amendments
 - Phase Type EXEC>CPRP>Arbeitsvorbereitung/Construction Preparation
 - Phase Type EXEC>CSTR>Bauausführung/Construction
 - Phase Type EXEC>CMMS>Abnahme/Commissioning
 - ▲ ■ Phase Type OPRT>Nutzung/Operation
 - Phase Type OPRT>DCMT>Dokumentation/Documentation
 - Phase Type OPRT>FMGT>Facility Management/Facility Management

A4 ContextScript-Syntax in EBNF-Notation

Hier wird die EBNF-Notation der entwickelten ContextScript-Regelsprache dargestellt.

```
ContextScript ::= 'if' ContextEvaluation 'thenPrint' '(' ValueAssignment ')'
('elsePrint' '(' ValueAssignment ')')?

ContextEvaluation ::=
    (('not')? (('less'|'greater'|'equal') '(' attributeName ',' (attributeValue
    STRING|('ValueOf' '(' attributeName STRING ')') )'| ('exist') '(' attributeName ')')
    (('and'|'or') (('not')? (('less'|'greater'|'equal') '(' attributeName ',' (attributeValue STRING|('ValueOf' '(' attribu-
    teName STRING ')') ) )'| ('exist') '(' attributeName ')') )*)

ValueAssignment ::= (attributeValue|('ValueOf' '(' attributeName ')'))
```

A5 WSDL-Schnittstellendefinitionen ausgewählter Plattformdienste

Die SOAP-Schnittstelle des PlatformManager-Services wird im Folgenden aufgelistet.

A5.1 PlatformManager-Service

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<wsdl:definitions targetNamespace="http://cp3.cib.de" xmlns:apachesoap="http://xml.apache.org/xml-soap"
xmlns:impl="http://cp3.cib.de" xmlns:intf="http://cp3.cib.de" xmlns:wSDL="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
<wsdl:types>
<schema elementFormDefault="qualified" targetNamespace="http://cp3.cib.de"
xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
(...)
<element name="publishMMT">
<complexType>
<sequence>
<element name="PRID" type="xsd:string"/>
<element name="containerString" type="xsd:string"/>
</sequence>
</complexType>
</element>
<element name="publishMMTResponse">
<complexType>
<sequence>
<element name="publishMMTReturn" type="xsd:string"/>
</sequence>
</complexType>
</element>
(...)
<element name="assignMmtToRefProc">
<complexType>
<sequence>
<element name="PRID" type="xsd:string"/>
<element name="MMTID" type="xsd:string"/>
<element name="PROCID" type="xsd:string"/>
</sequence>
</complexType>
</element>
<element name="assignMmtToRefProcResponse">
<complexType>
<sequence>
<element name="assignMmtToRefProcReturn" type="xsd:string"/>
</sequence>
</complexType>
</element>
</schema>
</wsdl:types>

```

A6 Multimodellvorlagen des Szenarios

Die folgende Auflistung zeigt kontextadaptive Multimodellvorlage des verwendeten Szenarios. Darauf folgt die ausgewertete situative Multimodellvorlage.

A6.1 Kontextadaptive Multimodellvorlage

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<container xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www.bauvogrid.de/mefisto/xsd/container.xsd" formatVersion="1.0" guid="MMT_Angebot_Abgabe.mmt">
  <meta>
    <info>
      <i k="ContainerName" v="{MMC_Beschreibung}"/>
      <i k="ContainerDescription" v="MMC-Datenaustausch zur Angebotsabgabe"/>
      <i k="ContainerType" v="MMC Angebotsabgabe"/>
      <i k="ContainerFromTemplate" v="MMT_Angebot_Abgabe.xml"/>
      <i k="TemplateName" v="MMT Angebotsabgabe"/>
    </info>
  </meta>
  <models>
    <model id="FM1" type="Object">
      <meta>
        <language languageName="@context" languageDesc="
if exist(&quot;_context_actor.language&quot;) thenPrint valueOf(&quot;_context_actor.language&quot;)/>
        <info>
          <i k="ModelName" v="Gebäudemodell"/>
        </info>
        <phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>
        <levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
      </meta>
      <content format="ifc" formatVersion="2x3" id="c1"/>
      <content format="cpixml" formatVersion="1.0" id="c2"/>
    </model>
    <model id="FM2" type="BoQ">
      <meta>
        <info>
          <i k="ModelName" v="Leistungsverzeichnis "/>
        </info>
        <phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>
        <levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
      </meta>
      <content format="gaebxml" formatVersion="3.1" id="1">
        <contentOptions>
          <i k="extension" v="DA84"/>
          <i k="description" t="xs:boolean" v="0"/>
          <i k="unitrate" t="xs:boolean" v="1"/>
          <i k="unitrate_breakdown" t="xs:boolean" v="1"/>
        </contentOptions>
      </content>
    </model>
    <model id="FM3" type="Activity">
      <meta>
        <info>
          <i k="ModelName" v="Grobterminplan"/>
        </info>
        <phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>

```

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite

```

<levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
</meta>
<content format="xml" formatVersion="1.0" id="1"/>
</model>
</models>
<linkModels>
<linkModel id="L1" type="QuantitySplit">
<meta>
<info>
<i k="ModelName" v="Linkmodell"/>
</info>
<domain domainCode="LKM.QSP" domainDesc="Link Model"/>
</meta>
<models>
<model id="FM1"/>
<model id="FM2"/>
<model id="FM3"/>
</models>
</linkModel>
</linkModels>
</container>

```

A6.2 situative Multimodellvorlage

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<container xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www.bauvogrid.de/mefisto/xsd/container.xsd" formatVersion="1.0" guid="MMT_Angebot_Abgabe.mmt">
<meta>
<info>
<i k="ContainerName" v="{MMC_Beschreibung}"/>
<i k="ContainerDescription" v="MMC-Datenaustausch zur Angebotsabgabe"/>
<i k="ContainerType" v="MMC Angebotsabgabe"/>
<i k="ContainerFromTemplate" v="MMT_Angebot_Abgabe.xml"/>
<i k="TemplateName" v="MMT Angebotsabgabe"/>
</info>
</meta>
<models>
<model id="FM1" type="Object">
<meta>
<info>
<i k="ModelName" v="Gebäudemodell"/>
</info>
<language languageName="@context" languageDesc="deutsch,englisch"/>
<modelformat formatExtension="@context" formatDesc="xml,ifc,cpixml"/>
<phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>
<part partDesc="@context" partCode="BIM.Level:04fb13a6-b5ba-44ed-bfb2-6e92ad768e18-000e9454"/>
<levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
</meta>
<content format="ifc" formatVersion="2x3" id="c1"/>
<content format="cpixml" formatVersion="1.0" id="c2"/>

```

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

... Fortsetzung von der vorherigen Seite

```
</model>
<model id="FM2" type="BoQ">
  <meta>
    <info>
      <i k="ModelName" v="Leistungsverzeichnis " />
    </info>
    <language languageName="@context" languageDesc="deutsch,englisch"/>
    <modelformat formatExtension="@context" formatDesc="xml,ifc,cpixml"/>
    <phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>
    <part partDesc="@context" partCode="BIM.Level:04fb13a6-b5ba-44ed-bfb2-6e92ad768e18-000e9454"/>
    <levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
  </meta>
  <content format="gaebxml" formatVersion="3.1" id="1">
    <contentOptions>
      <i k="extension" v="DA84"/>
      <i k="description" t="xs:boolean" v="0"/>
      <i k="unitrate" t="xs:boolean" v="1"/>
      <i k="unitrate_breakdown" t="xs:boolean" v="1"/>
    </contentOptions>
  </content>
</model>
<model id="FM3" type="Activity">
  <meta>
    <info>
      <i k="ModelName" v="Grobterminplan"/>
    </info>
    <language languageName="@context" languageDesc="deutsch,englisch"/>
    <modelformat formatExtension="@context" formatDesc="xml,ifc,cpixml"/>
    <phase phaseDesc="Angebotserstellung" phaseCode=">PRCR>BDDG"/>
    <part partDesc="@context" partCode="BIM.Level:04fb13a6-b5ba-44ed-bfb2-6e92ad768e18-000e9454"/>
    <levelOfDetail levelOfDetailCode="[4]" levelOfDetailDesc="Bauwerkselemente, Objektplanung"/>
  </meta>
  <content format="xml" formatVersion="1.0" id="1"/>
</model>
</models>
<linkModels>
  <linkModel id="L1" type="QuantitySplit">
    <meta>
      <info>
        <i k="ModelName" v="Linkmodell"/>
      </info>
    </meta>
    <models>
      <model id="FM1"/>
      <model id="FM2"/>
      <model id="FM3"/>
    </models>
  </linkModel>
</linkModels>
</container>
```

A7 Dublin-Core-Metadaten

contributor (Beitragende):	Person(en) oder Organisation(en), die bei der Erstellung der Ressource (Content) mitgewirkt haben.
coverage (Ort und Zeit):	Informationen zum Ort und zeitlichen Gültigkeitsbereich.
creator (Ersteller):	Autor einer Ressource (Personen und Organisationen).
date (Datum):	Informationen bezüglich Erstellungsdatum, Änderungsdatum, Sperrfrist und Löschmodatum.
description (Beschreibung):	Informationen, die die Ressource noch näher beschreiben. Hierzu zählen z.B. eine Kurzfassung oder ein Inhaltsverzeichnis.
format (Format):	Angaben zum MIME-Typ der Ressource wie Pixelgröße, Dateiformat, Bearbeitungsdauer, usw.
identifier (Identifizierer):	eindeutigen Bezeichner für die Ressource z. B. eine URL oder UID.
language (Sprache):	Sprachcode. Sprachcode nach ISO 639 oder RFC 3066.
publisher (Verlag/Herausgeber):	Informationen über den Verleger, Person(en) oder Organisation(en)
relation (Beziehungen):	Informationen über Beziehungen zu anderen Ressourcen.
rights (Rechte):	Informationen bezüglich den Rechten an Ressourcen. Zum Beispiel über Urheber oder Lizenzart (GPL, LGPL, ZPL usw.).
source (Quelle):	Angaben zu den Quellen.
subject (Stichwörter):	Stichwörter oder identifizierende Phrasen zu einer Ressource.
title (Titel):	Ressourcentitels (z.B. Dokumenttitel).
type (Typ):	Über den Typ wird einer Ressource eine Medienkategorie wie Bild, Artikel, Ordner usw. zugeordnet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kontexteinfluss auf die Informationslogistik.....	5
Abbildung 2: Struktureller Aufbau der Arbeit	10
Abbildung 3: Strukturentwicklung des deutschen Bauhauptgewerbes.....	12
Abbildung 4: Güterherstellung im Vergleich	14
Abbildung 5: Objekt- und Projektphasen.....	15
Abbildung 6: Begriffshierarchie der Semiotik und deren Rückkopplungen.....	18
Abbildung 7: Homomorphe Abbildung.....	21
Abbildung 8: Zunahme der Komplexität von Bauwerksmodellen.....	25
Abbildung 9: Verschiedene Interdependenzen zwischen Fachmodellen	27
Abbildung 10: Ebenen der Interoperabilität	30
Abbildung 11: Typologie semantische Unbestimmtheit.....	32
Abbildung 12: Einordnung der Interaktionsmechanismen.....	37
Abbildung 13: Informationsaustausch bei Kooperation und Kollaboration	38
Abbildung 14: Entitäten des 3E-Kollaborationsmodells	39
Abbildung 15: Konzepte des Informationsbedarfes.....	42
Abbildung 16: Teilbereiche des Informationsbedarfes.....	43
Abbildung 17: Informationsumfeld eines Prozesstemplates.....	45
Abbildung 18: Kontexteinfluss auf Informationsbedarf und -Angebot.....	46
Abbildung 19: Ansätze zur Unterstützung der Informationslogistik.....	50
Abbildung 20: Entwicklung der Kontextverwendung	57
Abbildung 21: Grundkonzepte informationsraumbasierter Informationslogistik..	65
Abbildung 22: Struktur eines Multimodells.....	67
Abbildung 23: Spezialisierungsebenen des Multimodellkonzeptes.....	69
Abbildung 24: Multimodellcontainer für eine Ausschreibung.....	69
Abbildung 25: Kennzeichnungssystem der Fachmodelle.....	71
Abbildung 26: Metadaten eines Multimodells für die Ausschreibung von Bauleistungen	72

Abbildung 27: Informationsrauminterne Attributabhängigkeiten.....	73
Abbildung 28: Beschreibungsattribute für Linkmodelle.....	74
Abbildung 29: Phasenmodell (nach HOAI)	75
Abbildung 30: Metadatenschema eines Multimodells	76
Abbildung 31: Multimodellvorlage und zugehörige Multimodellinstanz	77
Abbildung 32: Referenzprozess mit Multimodellvorlagen	78
Abbildung 33: Multimodellnutzung in den Projektphasen	79
Abbildung 34: Basisprozesse der Planungsphase.....	81
Abbildung 35: Basisprozesse der AVA-Phase	82
Abbildung 36: Verschiedene Kontextaspekte in der Literatur	89
Abbildung 37: Konzepte der Kontextmodellierung	93
Abbildung 38: Repräsentationsformen für Kontextmodell.....	95
Abbildung 39: Verwendungsfelder der Kontextsensitivität	100
Abbildung 40: Entitäten einer Bearbeitungssituation	107
Abbildung 41: Ressourcen- Prozess- und Nutzerkontext.....	108
Abbildung 42: Entitäten eines Informationsprozesses und ihre Kontexte.....	111
Abbildung 43: Beispielstruktur einer virtuellen Organisation.....	113
Abbildung 44: Instanziierung und Ausführung eines Referenzprozesses	114
Abbildung 45: Grundkonzept kontextgerechter Informationsräume	116
Abbildung 46: Erstellung kontextgerechter Multimodelle.....	117
Abbildung 47: Stufen der Informationsraumadaptivität	119
Abbildung 48: Informationsbedarf.....	122
Abbildung 49: Kontextabhängigkeit von Bedarf und Angebot	124
Abbildung 51: modellinterne Kontextrelationen	126
Abbildung 52: modellübergreifende Kontextwirkrelationen	127
Abbildung 53: Übersicht ausgewählter Repräsentationssprachen	131
Abbildung 54: Semantic Web Stack.....	132
Abbildung 55: OWL-Vokabular-Erweiterung	133
Abbildung 55: Struktur der Projektkollaborationsontologie	135
Abbildung 57: Einordnung der IEEE-SUMO-Oberontologie	136

Abbildung 57: Ausgewählte Konzepte der ProcessCoreOntology	137
Abbildung 58: Struktur der ProductCoreOntology	137
Abbildung 59: Ausgewählte Konzepte der OrganisationCoreOntology	138
Abbildung 60: Ausgewählte Klassen der Ressourcen-Kernontologie.....	139
Abbildung 61: Basiskonzepte der CONON-Ontologie	140
Abbildung 63: Basiskonzepte der SOUPA-Ontologie.....	141
Abbildung 63: Basiskonzepte der Kontextkernontologie	142
Abbildung 64: Konzepte der ProjectProcessOntologie und InformationSpaceOntology	143
Abbildung 66: wesentliche Klassen der Informationsraumontologie	145
Abbildung 67: wesentliche Kontextaspekte der ProjectCollaborationOntology	147
Abbildung 68: Bautypische Projektphasen und Modellierungsdomänen	151
Abbildung 69: Zuordnung typischer Nutzerrollen	151
Abbildung 69: Fachmodelltypbasierte Berechtigungen über Rollendefinitionen .	152
Abbildung 71: Beschreibung einer Multimodellvorlage durch Fachmodelltypen.	153
Abbildung 72: Ontologieausprägung eines Multimodells zur Angebotserstellung	154
Abbildung 73: Event-Condition-Action-Paradigma	156
Abbildung 74: Struktur einer ContextScript-Regel.....	157
Abbildung 75: Struktur der Regelprämisse.....	158
Abbildung 75: Wertzuweisung der Regelkonsequenz.....	158
Abbildung 77: Aufbau des Kontextpfades.....	160
Abbildung 78: Auswertung einer ContextScript-Regel zu einem Attributwert	161
Abbildung 79: Teilgebiete der Kontextintegration	163
Abbildung 80: Systemarchitektur	164
Abbildung 81: Einordnung der Kontextquellen	166
Abbildung 82: Plattformkomponenten für die Kontextwertschöpfung	169
Abbildung 83: Metadatenannotation	170
Abbildung 84: Annotationsrelevante Plattformkomponenten	171
Abbildung 85: Analyserelevante Plattformkomponenten	172
Abbildung 86: Auswertung der Kontextwirkrelationen	173

Abbildung 87: Erweitertes Informationsangebot für konkretisierten Informationsbedarf.....	175
Abbildung 88: Treffvarianten der Zuordnungsfunktion	176
Abbildung 89: Adaptionsrelevante Plattformkomponenten	177
Abbildung 90: Definition kontextadaptiver Multimodellvorlagen.....	181
Abbildung 91: Komponenten des Kontextwirkeditors CATED	182
Abbildung 92: Aufbau des Kontextwirkeditors als Eclipse-RCP-Anwendung.....	184
Abbildung 93: Grafische Benutzungsoberfläche des Kontexteditors	185
Abbildung 94: ContextScript-Regel als Fachmodellattribut	186
Abbildung 95: Code-First- und Contract-First-Unterstützung durch Axis	191
Abbildung 95: Plattform für kontextgerechte Informationslogistik	194
Abbildung 97: Methodenverwaltung mit dem Platform Developer Framework...	195
Abbildung 97: Sequenzdiagramm kontextgerechter Informationsversorgung	196
Abbildung 99: High-Level-Architektur des Ontologie-Plattformdienstes	199
Abbildung 100: Syntaxbaum für ContextScript-Regeln.....	204
Abbildung 101: Arbeitsschritte der Multimodellerzeugung.....	205
Abbildung 101: Propagieren von Multimodellausschnitten.....	207
Abbildung 103: Beispielprozess der AVA-Phase	210
Abbildung 104: Kontextabhängigkeit der Multimodellvorlage.....	211
Abbildung 105: Multimodellvorlage im CATED-Editor	211
Abbildung 105: Upload und Verknüpfung der cdMMT	212
Abbildung 106: SOAP-Kommunikation	214
Abbildung 108: Ermittlung des situativen Informationsbedarfes	215
Abbildung 109: situative Multimodellvorlage	216
Abbildung 110: Vorgehensweise der Multimodellerzeugung.....	217
Abbildung 111: MMQL zur Ermittlung des Leistungsverzeichnis-Ausschnittes....	217
Abbildung 112: MMQL-Auswertung des Multimodells.....	218
Abbildung 113: kontextinvarianter Multimodellcontainer (M2A2 Plattform).....	219
Abbildung 114: kontextgerechter Multimodellcontainer (M2A2 Plattform)	220

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Baufachanwendungen verschiedener Domänen	23
Tabelle 2: Fachmodelle und Dateiformate.....	24
Tabelle 3: Domänen verschiedener Fachmodellschemata	26
Tabelle 4: Unterstützungsfunktion der Modelldomänen	28
Tabelle 5: Informationsraumexterne Abhängigkeiten	73
Tabelle 6: Attributierung mit ordinalen und nominalen Skalen	75
Tabelle 7: Referenzprozesse der Planungsphase.....	82
Tabelle 8: Referenzprozesse in der AVA-Phase.....	83
Tabelle 9: Multimodellvorlage für die Ausschreibung.....	83
Tabelle 10: Multimodellvorlage für das Angebot.....	83
Tabelle 11: Multimodellvorlage für Bauvertrag.....	83
Tabelle 12: Referenzprozesse in der Ausführungsphase	84
Tabelle 13: Multimodellvorlage für Ablaufplanung.....	84
Tabelle 14: Multimodellvorlage für Leistungsmeldung	84
Tabelle 15: Beispiele für Kontextaspekte.....	90
Tabelle 16: Beispiele für High- und Low-Level-Kontextattribute.....	92
Tabelle 17: Gegenüberstellung der vorgestellten Kontextmodelle.....	98
Tabelle 18: Adaptionismethoden für Informationsräume	121
Tabelle 19: Attribute des Ressourcenkontextes.....	147
Tabelle 20: Attribute des Produktkontextes.....	148
Tabelle 21: Attribute des Akteurkontextes	148
Tabelle 22: Attribute des Prozesskontextes	148
Tabelle 23: Attribute des Projektkontextes	149
Tabelle 24: Attribute des Organisationskontextes.....	149
Tabelle 25: Strukturierungselemente verschiedener Produkttypen.....	152
Tabelle 26: Vergleich verschiedener Schlussfolgerungstools.....	198
Tabelle 27: Schnittstellenmethoden des Ontologie-Plattformdienstes.....	200
Tabelle 28: Schnittstellenmethoden der Kontextdienste	202

Tabelle 29: Schnittstellenmethoden der Bedarfsevaluation	203
Tabelle 30: Gegenüberstellung beider Multimodellcontainer	218

Definitionsverzeichnis

Definitionen 1 (Modell) <i>Ein Modell ist ein (meist homomorphes) Abbild der Realität, das durch Beschränkung der betrachteten Merkmale die Komplexität verringert.</i>	20
Definitionen 2 (Datenmodell) <i>Ein Datenmodell beschreibt den Sachverhalt eines abgegrenzten Anwendungsbereiches durch konkrete Datenwerte.</i>	20
Definitionen 3 (Fachmodell) <i>Ein Fachmodell ist ein Datenmodell, das Daten und ihre Beziehungen für einen speziellen Fachbereich beschreibt.</i>	21
Definitionen 4 (Baufachanwendung) <i>Eine Baufachanwendung ist eine Softwareanwendung, die eine Bearbeitung fachspezifischer Aufgabenstellungen im Bauwesen unterstützt.</i>	21
Definitionen 5 (Baufachmodell) <i>Ein Baufachmodell ist die Ausprägung eines Datenmodells einer oder mehrerer Baufachanwendungen.</i>	24
Definitionen 6 (Annotationsvokabular) <i>Ein kontrolliertes Annotationsvokabular für Fachmodelle besteht aus Attributnamen, zugehörigen Attributwerten und der Beschreibung des Anwendungsbereiches.</i>	31
Definitionen 7 (Informationsprozesse) <i>Informationsprozesse bezeichnen Geschäftsprozesse, in denen Daten und Informationen gewonnen, bearbeitet und übermittelt werden.</i>	39
Definitionen 8 (Kollaborative Informationsprozesse) <i>Kollaborative Informationsprozesse bezeichnen organisationsübergreifende Prozesse, in denen mehrere, ggf. verteilte Akteure Informationsobjekte gemeinsam bearbeiten.</i>	39
Definitionen 9 (Informationslogistik) <i>Die Informationslogistik befasst sich mit der rechtzeitigen Bereitstellung der richtigen Information in der notwendigen Qualität am richtigen Ort.</i>	41
Definitionen 10 (Informationsbedarf) <i>Der Informationsbedarf spezifiziert die Art, Menge und Qualität der von einem Akteur bei seiner Aufgabe benötigten Informationen.</i>	42
Definitionen 11 (Primärinformationen) <i>Primärinformationen bezeichnen diejenigen Informationen, die zur Erfüllung einer Aufgabe in einer Bearbeitungssituation direkt</i>	

<i>benötigt werden. Primärinformationen können durch Bearbeitung verändert werden.</i>	43
<i>Definitionen 12 (Sekundärinformationen) Sekundärinformationen bezeichnen die Informationen, die eine Aufgabenbearbeitung beeinflussen (z. B. steuern, gestalten oder erleichtern). Sekundärinformationen liegen nach der Bearbeitung unverändert vor.</i>	43
<i>Definitionen 13 (Informationsraum) Ein Informationsraum besteht aus einer semantisch beschriebenen Menge instanzierter oder referenzierter Informationsressourcen sowie zugehöriger semantischer Verknüpfungsinformationen.</i>	63
<i>Definitionen 14 (Projektinformationsraum) Ein Projektinformationsraum ist ein Informationsraum, der alle in einem Projekt verwendeten Informationsressourcen und deren Verknüpfung enthält.</i>	63
<i>Definitionen 15 (kontextspezifischer Informationsraum) Ein kontextspezifischer Informationsraum ist eine Teilmenge des Projektinformationsraumes, die gezielt auf eine Bearbeitungssituation zugeschnitten ist.</i>	64
<i>Definitionen 16 (Multimodell) Ein Multimodell ist eine übertragbare Zusammenstellung von Informationsmodellen und Linkmodellen sowie deren semantische Beschreibung. Informationsmodellelemente können durch Linkmodellelemente verknüpft werden.</i>	67
<i>Definitionen 17 (Multimodellvorlage) Eine Multimodellvorlage beschreibt einen multimodellbasierten Informationsraum durch Angabe von Inhalten, Qualitäten und Verknüpfungstiefe geforderter Fach- und Linkmodelle.</i>	77
<i>Definitionen 18 (Kontext) Der Kontext umfasst alle messbaren Informationen, die eine Situation einer Entität zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreiben und für eine spezifische Betrachtung relevant sind.</i>	87
<i>Definitionen 19 (Kontextaspekt) Ein thematisch abgrenzbarer Teilbereich des Kontextes wird als Kontextaspekt bezeichnet.</i>	88
<i>Definitionen 20 (Primärer Kontextaspekt) Ein primärer Kontextaspekt ist ein Teilbereich, der einer betrachteten Entität direkt zugeordnet ist.</i>	90

Definitionen 21 (Sekundärer Kontextaspekt) <i>Ein sekundärer Kontextaspekt ist ein Teilbereich, der über eine Referenzierung zu primären Kontextattributen anderer Entitäten definiert wird.</i>	90
Definitionen 22 (Kontextattribut) <i>Ein Kontextattribut ist ein Element eines Kontextaspektes, das ein konkretes Merkmal des Kontextes zu einem Zeitpunkt repräsentiert.</i>	91
Definitionen 23 (Low-Level-Kontextattribute) <i>Ein Low-Level-Kontextattribut ist ein Kontextattribut, das direkt mess- und beobachtbare Merkmale des Kontextes repräsentiert.</i>	92
Definitionen 24 (High-Level-Kontextattribute) <i>Ein High-Level-Kontextattribut ist ein Kontextattribut, das sich durch die Kombination von Low-Level-Kontextattributen ermitteln lässt.</i>	92
Definitionen 25 (Kontextmodell) <i>Ein Kontextmodell beschreibt einen Kontextausschnitt durch die Formalisierung eines oder mehrerer Kontextaspekte und ihrer Kontextattribute.</i>	93
Definitionen 26 (Kontextsensitivität) <i>Eine Anwendung wird als kontextsensitiv bezeichnet, wenn sie Kontextinformationen verwendet, um ihr Verhalten automatisch anzupassen, oder anderweitig Kontextinformationen erhebt, verwaltet oder verarbeitet.</i>	100

Abkürzungsverzeichnis

3E	3-Entitätenmodell der Kollaboration
3K	Interaktionsmechanismen (Kommunikation, Koordination, Kooperation)
5D.....	Darstellung dreidimensionaler Gebäudemodelle mit Zeitverlauf und Prozessen
ABAC	Attribute Based Access Control
AEC.....	Architecture, Engineering, Construction
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
API.....	Application Programming Interface
ASCII.....	American Standard Code for Information Interchange
AVA	Phase der Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung
BIM.....	Building Information Modelling
BOQ.....	Bill Of Quantities
BPEL	Business Process Execution Language
BPMN	Business Process Model and Notation
CAD	Computer Aided Design
CAE.....	Computer Aided Engineering
CityGML.....	City Geography Markup Language
COM.....	Cost Model
CSM	Construction Side Model
DMS.....	Dokumenten-Management-Systeme
DSL	Domain Specific Language
EBNF.....	Erweiterte Backus-Naur-Form
EMF.....	Eclipse Modeling Framework
ER.....	Entity-Relationship
ERP.....	Enterprise Resource Planning
FM.....	Fachmodell
GAEB.....	Gemeinsame Ausschuss Elektronik im Bauwesen
GUI.....	Graphical User Interface
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HTTP.....	Hypertext Transfer Protocol

ID	Identifikator
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IT	Informationstechnik
JVM	Java Virtual Machine
KMU	Kleinere und mittlere Unternehmen
LoD	Level of Detail
LV	Leistungsverzeichnis
MDSM	Model Driven Software Development
MMC	Multimodellcontainer
MMT	Multimodellvorlage
MMQL	Multi-Model Query Language
MOF	Meta Object Facility
MVD	Model View Definitions
OMG	Object Management Group
ORM	Organisation Model
OSGi	Open Services Gateway initiative
OWL	Web Ontology Language
PCM	Project Cycle Management
PHP	Hypertext Preprocessor
PDM	Produktdatenmanagementsysteme
PKO	Projektkollaborationsontologie
PKS	Projektkommunikationssysteme
PPM	Project Portfolio Management
QTO	Quantity Take off
RBAC	Role Based Access Control
RCP	Rich Client Platform
RDF	Resource Description Framework
RPC	Remote Procedure Calls
SPARQL	SPARQL Protocol And RDF Query Language
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
SOA(P)	Serviceorientierte Architektur(Protokoll)

TSM	Time Schedule Model
UML	Unified Modeling Language
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
XML	Extensible Markup Language
XSD	XML Schema Definition

Literaturverzeichnis

A

- Abecker, A., Hinkelmann, K., Maus, H. und Müller, H. J. (2002). Integrationspotenziale für Geschäftsprozesse und Wissensmanagement. In Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement. Springer Berlin Heidelberg. S. 1-22.
- Abowd, G. D., Atkeson, CG, Hong, J., Long, S., Kooper, R. und Pinkerton, M. (1997): Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide. ACM Wireless Networks (3): S. 421-433.
- Abowd, G. D., Ebling, M., Hung, G., Lei, H. und Gellersen, H.-W. (2002): Context-aware computing [Guest Editors' Intro.]. Pervasive Computing, IEEE, 1 (3). S. 22-23.
- Aggteleky B. und Bajna N. (1992): Projektplanung, Hanser, München, Wien.
- AHO, Ausschuss der Ingenieurverbände, and Ingenieurkammern für die Honorarordnung e.V. (2004): Untersuchungen zum Leistungsbild, zur Honorierung und zur Beauftragung von Projektmanagementleistungen in der Bau-und Immobilienwirtschaft. Schriftenreihe des AHO 9.
- Allweyer T. (2009): BPMN 2.0-Business Process Model and Notation: Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung, BoD-Books on Demand.
- Amberg M., Hirschmeier M. und Wehrmann J. (2004): The compass acceptance model for the analysis and evaluation of mobile services. International Journal of Mobile Communications, 2 (3). S. 248-259.

B

- Baer D. (2000): Duden, das grosse Fremdwörterbuch: Herkunft und Bedeutung der Fremdwörter, Dudenverlag.
- Bagci, F., Petzold, J., Trumler, W., und Ungerer, T. (2003): Einsatz von XML zur Kontextspeicherung in einem agentenbasierten ubiquitären System, In: XMIDX. 2003. S. 89-94.
- Baldauf M., Dustdar S. und Rosenberg F. (2007): A survey on context-aware systems. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2 (4). S. 263-277.
- Barrios, V. M. G., Mödrischer, F., und Gütl, C. (2005). Personalization versus adaptation? A user-centred model approach and its application. Proceedings of I-KNOW'05, 120-127.
- Baumgärtel, T., Borrmann, A., Günthner, W. A., Willberg, U., Klaubert, C., Juli, R. und Mack, J. (2011). Bauen heute und morgen. In Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen. Springer Berlin Heidelberg. S. 1-21.
- Baun, C., Kunze, M., Nimis, J. und Tai, S. (2009): Cloud-Computing, Web-basierte dynamische IT-Services, Springer-Verlag, Berlin.
- Beaton W. und Rivieres, J. D. (2006): Eclipse platform technical overview. Whitepaper, IBM/Eclipse Foundation, April.

- Becker, C., und Nicklas, D. (2004): Where do spatial context-models end and where do ontologies start? A proposal of a combined approach. In Proceedings of the First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management, in conjunction with UbiComp.
- Beetz, J. (2009). Facilitating distributed collaboration in the AEC/FM sector using Semantic Web Technologies, PhD Thesis, Eindhoven University of Technology.
- Berkhahn, V., Klinger, A., Hofmann, F. und König, M. (2007). Relationale Prozessmodellierung in kooperativer Gebäudeplanung. In Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau. Springer Berlin Heidelberg. S. 31-51.
- Berners-Lee T. (2005): Semantic Web-XML2000. W3C Talk. <http://www.w3.org/2000/Talk>.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., und Lassila, O. (2001). The semantic web. Scientific american, 284(5), S. 28-37.
- Bettini, C., Brdiczka, O., Henricksen, K., Indulska, J., Nicklas, D., Ranganathan, A., und Riboni, D. (2010). A survey of context modelling and reasoning techniques. Pervasive and Mobile Computing, 6(2), S. 161-180.
- Biethahn, J., Mucksch, H., und Ruf, W. (2004). Ganzheitliches Informationsmanagement: Grundlagen (Vol. 1). Oldenbourg Verlag.
- Binding G., Annas G. und Jost B. (1993): Baubetrieb im Mittelalter, Wiss. Buchges. Darmstadt.
- Blewitt A. (2013): Eclipse 4 Plug-in Development by Example Beginner's Guide, Packt Publishing Ltd.
- Blochmann G. (2002): Bauen in Netzwerken. Frankfurter Bautag 2001 des RKW, Rationalisierungsgemeinschaft "Bauwesen" mit VHV.
- BMBF (2013): Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Kompetenzzentren für den intelligenten Umgang mit großen Datenmengen (Big Data) im Rahmen des Förderprogramms IKT 2020 - Forschung für Innovationen, online: <http://www.bmbf.de/foerderungen/21340.php>
- Booch, G., Maksimchuk, R. A., Engel, M. W., Young, B. J., Conallen, J., und Houston, K. A. (2008). Object-oriented analysis and design with applications (Vol. 3). Addison-Wesley.
- Boos H. (2011): Geschichte der Freimaurerei: ein Beitrag zur Kultur-und Literaturgeschichte des 18. Jahrhunderts, Severus Verlag.
- Borrmann A. (2011): Die Digitale Baustelle und ihre Herausforderungen, In: Günthner, W. A. und Borrmann A. (Hrsg.) Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen., Springer, Dordrecht, New York. S. 2-7.

- Borrmann, A., Schorr, M., Obergriesser, M., Ji, Y., Wu, I. C., Günthner, W. und Rank, E. (2009). Using product data management systems for civil engineering projects-potentials and obstacles. In Proc. of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering. Austin, TX, USA.
- Both P. v. (2006): Ein systemisches Projektmodell für eine kooperative Planung komplexer Unikate. (Dissertation) Karlsruhe.
- BSI (1984): BS6100: British Standard Glossary of Building and Civil Engineering Terms. London: British Standard Institution.
- Brocco, M., Eigner, R. und Wörndl, W. (2008). Ein hybrides, kontextsensitives Recommender System für mobile Anwendungen in vernetzten Fahrzeugen. In Multikonferenz Wirtschaftsinformatik.
- Brockhaus R. (1992): Informationsmanagement als ganzheitliche, informationsorientierte Gestaltung von Unternehmen-organisatorische, personelle und technologische Aspekte: Gesellschaft, Steuerrecht, Unitext-Verlag.
- Brown P.J. (1996): The stick-e document: a framework for creating context-aware applications. Electronic Publishing-Chichester, 8. Jg., S. 259-272.
- Brown P.J. (1998): Triggering information by context. Personal Technologies, 2 (1). S. 18-27.
- Brusilovsky, P. und Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. In The adaptive web (S. 3-53). Springer-Verlag.
- Burke R. (2002): Hybrid recommender systems: Survey and experiments. User modeling and user-adapted interaction, 12 (4). S. 331-370.
- Burnard, L., Miller, E., Quin, L., und Sperberg-McQueen, C. M. (1996): A syntax for Dublin core metadata: Recommendations from the second metadata workshop. Warwick University.
- C**
- Camarinha-Matos, L. M., Afsarmanesh, H., und Ollus, M. (Hrsg.) (2008): Methods and tools for collaborative networked organizations. New York: Springer.
- Chahrour R. (2007): Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau, kassel university press GmbH.
- Chen, G., und Kotz, D. (2000): A survey of context-aware mobile computing research (Vol. 1, No. 2.1, pp. 2-1). Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.
- Chen H., Finin T. und Joshi A. (2004): A context broker for building smart meeting rooms, Defense Technical Information Center.

- Chen, H., Perich, F., Finin, T., und Joshi, A. (2004b): Soupa: Standard ontology for ubiquitous and pervasive applications. In: *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. MOBIQUITOUS 2004. The First Annual International Conference on*. IEEE, S. 258-267.
- Cheverst K.; Mitchell K. und Davies N. (2002): The role of adaptive hypermedia in a context-aware tourist GUIDE. *Communications of the ACM*, 45 (5). S. 47-51.
- Chipman T., Liebich T. und Weise M. (2013): mvdXML - Specification of a standardized format to define and exchange model view definitions with exchange requirements and validation rules. buildingSMART International.
- Chtcherbina E. und Franz M. (2003): Peer-to-peer coordination framework (p2pc): Enabler of mobile ad-hoc networking for medicine, business, and entertainment, In: *Chtcherbina, Franz 2003 – Peer-to-peer coordination framework p2pc*. S. 883-891.
- Cimino J.J. (2006): Use, usability, usefulness, and impact of an infobutton manager, In: *Cimino 2006 – Use, usability*. S. 151.
- Cimino, J. J., Aguirre, A., Johnson, S. B. und Peng, P. (1993): Generic queries for meeting clinical information needs. *Bulletin of the Medical Library Association*, 81(2), S. 195.
- Collins A.M. und Loftus E.F. (1975): A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological review*, 82 (6). S. 407.
- Cüppers A. (2006): *Wissensmanagement in einem Baukonzern*, VDI-Verlag.
- D**
- Dahlem, D., Bychkov, Y., Kawasme, L. und Jahnke, J. H. (2003). Towards context oriented web services for smart personal object technologies (COWSPOTS). In *OOPSLA Workshop on Reference Architectures and Patterns for Pervasive Computing*, Anaheim.
- Darwin, C., Montagu, A., und Kredel, F. (1979). *The descent of man*. Arden Library.
- Davenport T.H. und Prusak L. (1998): *Working knowledge: How organizations manage what they know*, Harvard Business Press.
- Davidson, J. (2005): *The Complete Idiot's Guide to Getting Things Done*, Penguin.
- Davies J., van Harmelen F. und Fensel D. (2002): *Towards the semantic web: ontology-driven knowledge management*, John Wiley und Sons, Inc.
- Decker, G. und Schreiter, T. (2008): OMG releases BPMN 1.1-What's changed?. In *EMISA Forum Vol. 28, No. 2*, S. 12-20.
- Dey A. K. und G. Abowd (2000): "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: *Proceedings of CHI workshop on the What, Who, Where, When and How of Context-Awareness*, as part of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000). The Hague, The Netherlands.

- Dey A.K., Abowd G.D. und Salber D. (2001): A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human-computer interaction*, 16 (2). S. 97-166.
- DIN (1987). Deutsches Institut für Normung: DIN 69901-Projektwirtschaft. Projektmanagement, Begriffe.
- DIN (2011). Deutsches Institut für Normung: DIN6779-Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation: Teil 10: Kraftwerke-Kommentare und Erläuterungen.
- Dippold, R., Meier, A., Ringgenberg, A., Schnider, W. und Schwinn, K. (2005). Unternehmensweites Datenmanagement. Von der Datenbankadministration bis zum Informationsmanagement. Braunschweig, Wiesbaden.
- Dolenc M., Katranuschkov P., Gehre A., Kurowski K. und Turk Z. (2007): The InteliGrid Platform for VirtualOrganisations Interoperability. *ITcon – The Electronic Journal of Information technology in Construction*, Vol 12 (2007), S. 459-477.
- Dorn B. (1994): Managementsysteme: Von der Information zur Unterstützung, In: *Das informierte Management*, Springer, S. 11-20.
- Duden (1997): Duden, Die deutsche Rechtschreibung, 21, Bibliograph. Inst. und Brockhaus, Mannheim.
- Dürr, F., Palauro, J., Geiger, L., Lange, R. und Rothermel, K. (2008): Ein kontextbezogener Instant-Messaging-Dienst auf Basis des XMPP-Protokolls. 5. GI/ITG KuVS Fachgespräch Ortsbezogene Anwendungen und Dienste, Nürnberg, S. 23.
- E**
- Eastman C.M. (1999): *Building product models: computer environments, supporting design and construction*, CRC Press.
- Eco U. (2002): *Einführung in die Semiotik*. UTB, Stuttgart.
- Eichhorn J. (2007): *Analyse logisch-basierter Reasoner für Ableitung von Kontextinformationen in mobilen Szenarien. (Großer Beleg)* Technische Universität Dresden: Institut für Systemarchitektur.
- Eigner, R. (2010): *KOMODE-Ein semantisches Kontextmodell für kollaborative Anwendungen in automobilen Ad-hoc-Netzwerken (Dissertation)*, München, Techn. Univ..
- Engelbach W. und Delp M. (2003): *Kontextbezogene Informationsversorgung: Anwenderanforderungen und Granularität der Modellierung*. Leipziger Beiträge zur Informatik, Bd, 1. S. 16-25.
- Englert, K., Fries, D., Goodwin, B., Martin-Glenn, M. und Michael, S. (2004): *Understanding How Principals Use Data in a New Environment of Accountability*. US Department of Education.

F

- Fahrmaier, M. R. (2005): Kalibrierbare kontextadaption für ubiquitous computing (Dissertation) Technische Universität München, Universitätsbibliothek.
- Faschingbauer G. (2011): Simulationsbasierte Systemidentifikation im Rahmen der baubegleitenden geotechnischen Überwachung, (Dissertation) Technische Universität Dresden, Institut für Bauinformatik.
- Ferraiolo D.; Cugini J. und Kuhn D.R. (1995): Role-based access control (RBAC): Features and motivations, In: Ferraiolo, Cugini et al. 1995 – Role-based access control RBAC. S. 241-248.
- Fettke P. (2009): Kontaktstudium-Ansätze der Informationsmodellierung und ihre betriebswirtschaftliche Bedeutung: Eine Untersuchung der Modellierungspraxis in Deutschland. ZFBF: Schmalenbachs Zeitschrift für Betriebswirtschaftliche Forschung, 61. S. 550.
- Finkelstein A., Savigni A., Kappel G., Retschitzegger W., Pöll B., Kimmerstorfer E., Schwinger W., Hofer T. und Feichtner C. (2002): Ubiquitous Web Application Development — A Framework for Understanding, in Proc. of 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, US. S. 431-438.
- Fink, A., Schneiderei, G. und Voß, S. (2005): Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. Heidelberg: Physica-Verlag. S. 91-152.
- Foster, I. und Kesselman, C. (2004): The Grid 2 blueprint for a new computing infrastructure, Morgan Kaufmann, San Francisco, USA.
- Fowler, M. (2010): Domain-specific languages, Pearson Education.
- Franke, U. J. (2002): The Competence-based View on the Management of Virtual Web Organizations, In Kisielnicki J. (Hrsg.) Modern Organizations in Virtual Communities, IRM Press, Hershey, PA, S. 19-48.
- Friedman-Hill, E. (2003). Jess in action: rule-based systems in Java. Manning Publications Co. Greenwich.
- Fritsch, D. und Volz, S. (2003). Nexus-the mobile GIS-environment. In: Mobile Future and Symposium on Trends in Communications, 2003. SympoTIC'03. Joint First Workshop on. IEEE. S. 1-4.
- Frotscher, T., Teufel, M. und Wang, D. (2010): Java Web Services mit Apache Axis2. Entwickler. press. Paderborn.
- Fuchs, F., Hegering, H.-G. und Linnhoff-Popien, C. (2002): Kontextsensitive Dienste. Technische Universität München, Fakultät für Informatik.
- Fuchs S. (2014): Erschließung domänenübergreifender Informationsräume mit Multimodellen, Dissertation, Technische Universität Dresden, Institut für Bauinformatik.

- Fuchs, S., Kadolsky, M. und Scherer, R. J. (2011): Formal description of a generic multi-model. In: *Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, 2011 20th IEEE International Workshops on. IEEE. S. 205-210.
- Fuchs T. (2006): Empfehlungssysteme in E-Business und E-Commerce. Methoden und Anwendungen. in: Henrich, A. und Morgenroth, K. (Hrsg.) *Kontextbasiertes Information Retrieval zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen*. 8. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik-Band 2, S. 145.
- G**
- Gabler(1993): *Wirtschaftslexikon*, Gabler Verlag, 13. Auflage, Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.
- GAEB (1979): *STLB Bau*, Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen, Beuth.
- Gehre, A., Katranuschkov, P. und Scherer, R. J. (2006): Management and integration of virtual enterprise information on grid spaces through semantic web ontologies. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, Taylor und Francis Group, London, UK. S. 255-266.
- Geiger, L. und Dürr, F. (2007): Kontextbezogene Kommunikation. In Roth, J., Küpper, A. und Linnhoff-Popien, C. (Hrsg.), 4. GI/ITG KuVS Fachgespräch Ortsbezogene Anwendungen und Dienste. München: Verlag Dr. Hut, September 2007, S. 22–26.
- Geraci, A., Katki, F., McMonegal, L., Meyer, B., Lane, J., Wilson, P. und Springsteel, F. (1991): *IEEE standard computer dictionary: Compilation of IEEE standard computer glossaries*. IEEE Press.
- Girmscheid, G. (2006): *Strategisches Bauunternehmensmanagement: prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft*, Springer.
- Goesmann, T. (2002): *Ein Ansatz zur Unterstützung wissensintensiver Prozesse durch Workflow-Management-Systeme*. (unveröffentlichte Dissertation), TU Berlin, Berlin.
- Gómez-Pérez, A., Corcho, O., & Fernandez-Lopez, M. (2004). *Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-Commerce and the Semantic Web*. (advanced information and knowledge processing).
- Greiner, P.; Mayer P.E. und Stark K. (2005): *Baubetriebslehre-Projektmanagement*, Springer DE.
- Greiner, P. (2014): Multimodelle im Bauprojektmanagement und Risikomanagement. In: Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): *Informationssysteme im Baumanagement*, Band 2: Anwendungen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 151-166.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C. und Häfele, K. H. (2012): Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version, 2 (0). S. 12-019.

- Gronau, N. und Lindemann, M. (2010): Einführung in das Informationsmanagement, GITO mbH Verlag.
- Gronau, N. (2001): Kollaborative Engineering Communities. Arbeitsbericht WI, 1.
- Gronback, R. C. (2009): Eclipse modeling project: a domain-specific language (DSL) toolkit, Pearson Education.
- Gross, T. und Koch, M. (2007): Computer-supported cooperative work. München: Oldenbourg.
- Gross, T. und Specht, M. (2001): Awareness in context-aware information systems, In: Mensch und Computer 2001, Springer. S. 173-182.
- Grüninger, M. und Lee, J. (2002): Ontology Applications and Design-Introduction. Commun. ACM, 45 (2). S. 39-41.
- Guesgen, H. W. und Marsland, S. (2010): Spatio-temporal reasoning and context awareness, In: Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments., Springer., S. 609-634.
- Günthner, W. A. und Borrmann, A. (2011): Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen. Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, VDI-Buch, ISBN 978-3-642-16485-9. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, 1.
- Gu, T., Pung, H. K. und Zhang, D.Q. (2004): A bayesian approach for dealing with uncertain contexts. Advances in Pervasive Computing. S. 136.
- Gu, T., Pung, H.K. und Zhang, D.Q. (2005): A service-oriented middleware for building context-aware services. Journal of Network and computer applications, 28 (1). S. 1-18.
- Gu, T., Wang, X. H., Pung, H. K. und Zhang, D. Q. (2004): An ontology-based context model in intelligent environments. In Proceedings of communication networks and distributed systems modeling and simulation conference (Vol. 2004, pp. 270-275).
- H**
- Haarslev, V. und Möller, R. (2001): RACER – ein Beschreibungslogiksystem für Wissensmanagement-Anwendungen. In Professionelles Wissensmanagement: Erfahrungen und Visionen. Shaker-Verlag.
- Halpin, T. (1996): Conceptual schema and relational database design, Prentice-Hall, Inc.
- Halpin, T. (2006): Object-Role Modeling (ORM/NIAM), In: Handbook on Architectures of Information Systems., Springer Berlin Heidelberg. S. 81-103.
- Hannus, M., Penttilä, H., & Silén, P. (1996). Islands of automation in construction. in Turk, Z. (Hrsg.) Construction on the Information Highway, Proc. CIB-W78 Workshop
- Härtwig, J. (2009): Konzept, Realisierung und Evaluation des semantischen Informationsraums, Leipziger Informatik-Verbund (LIV), Leipzig.

- Härtwig, J. und Fähnrich, K.-P. (2003): Grundkonzepte des Wissensmanagement im Informationsraum. Leipziger Beiträge zur Informatik, 1. S. 35-42.
- Hauschild, T. (2003): Computer Supported Cooperative Work-Applikationen in der Bauwerksplanung auf Basis einer integrierten Bauwerksmodellverwaltung. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar.
- Hebel, J. P. (2013): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure-HOAI 2013: Textausgabe mit Einführung und Anmerkungen zu den wichtigsten Neuerungen/bearb. von Johann Peter Hebel, Bundesanzeiger-Verlag.
- Hegering, H. G., Küpper, A., Linnhoff-Popien, C. und Reiser, H. (2003): Management challenges of context-aware services in ubiquitous environments, in: Self-Managing Distributed Systems. Springer Berlin Heidelberg. S. 246-259.
- Heidenreich, F., Johannes, J., Karol, S., Seifert, M. und Wende, C. (2009): EMFText and JaMoPP-Tool Presentation. In: Fifth European Conference on Model-Driven Architecture Foundations and Applications. S. 73.
- Heil, A. (2012): Anwendungsentwicklung für Intelligente Umgebungen im Web Engineering, Springer.
- Held, A., Buchholz, S. und Schill, A. (2002): Modeling of context information for pervasive computing applications. In Proceeding of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Springer.
- Hellfeld, S. (2012): Hybride Simulation mobiler Geschäftsprozesse. KIT Scientific Publishing.
- Henrich, A. und Morgenroth, K. (2006): Kontextbasiertes Information Retrieval: Methoden und Anwendungen; Beiträge des Seminars im Sommersemester 2004 an der Universität Bamberg, Univ.-Bibliothek.
- Henricksen, K., Indulska, J. und Rakotonirainy, A. (2002): Context modeling concepts for pervasive computing systems, University of Queensland, School of Information Technology und Electrical Engineering, Brisbane, Qld., Australia.
- Henricksen, K., Indulska, J., & Rakotonirainy, A. (2003). Generating context management infrastructure from high-level context models. In 4th International Conference on Mobile Data Management (MDM)-Industrial Track.
- Henricksen, K. und Indulska, J. (2006): Developing context-aware pervasive computing applications: Models and approach. Pervasive and mobile computing, 2 (1). S. 37-64.
- Hepp, M. (2006): Products and services ontologies: a methodology for deriving OWL ontologies from industrial categorization standards. International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), 2 (1). S. 72-99.
- Hepp, M. (2008): Goodrelations: An ontology for describing products and services offers on the web, In: Knowledge Engineering: Practice and Patterns., Springer., S. 329-346.

- Herman, I. und Hendler, J. (2004): Web ontology language (OWL). W3C Semantic Web Activity, revision 1.28 of 2006/10, 27.
- Herrmann, C. (2010): Ganzheitliches Life Cycle Management. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Hilbert, F., Katranuschkov, P. und Scherer, R. J. (2010): Dynamic context-aware information access in virtual organizations. In Proceedings of 13th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE), Nottingham, UK.
- Hilbert, F., Katranuschkov, P. und Scherer, R. J. (2010): Fine-grained information access in Virtual Organisations. In: eChallenges, 2010. IEEE, S. 1-9.
- Hilbert, F., Araujo, L., Scherer, R.J. (2011): Multi-model-based Access Control in Construction Projects. In: Bryans, J.W., Fitzgerald, J.S. (eds.) Proc. Formal Aspects of Virtual Organisations (FAVO 2011), Sao Paulo, Brazil.
- Hilbert, F. und Scherer, R.J. (2012): Context-specific Multi-model-template Retrieval. In: Proceedings of the Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2012, Bournemouth, GB.
- Hinkelmann, K., Karagiannis, D. und Telesko, R. (2002): PROMOTE-Methodologie und Werkzeug für geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement, In: Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement, Springer, S. 65-90.
- Hofer, A., Adam, O., Zang, S. und Vanderhaeghen, D. (2007): Modellierung und Management kollaborativer Geschäftsprozesse, In: Loos, P. und Vanderhaeghen D. (Hrsg.). Kollaboratives Prozessmanagement - Unterstützung kooperations- und koordinationsintensiver Geschäftsprozesse am Beispiel des Bauwesens. Wirtschaftsinformatik- Theorie und Anwendung. Logos Verlag. S. 61-82.
- Hollingsworth, D. und Hampshire, U. K. (1993): Workflow management coalition the workflow reference model. Workflow Management Coalition, 68.
- Holsapple, C. W. und Joshi, K. D. (2002): A collaborative approach to ontology design. Communications of the ACM, 45 (2). S. 42-47.
- Hörger, M. (2003): Wissensmanagement in Baubetrieben. Baumarkt + Bauwirtschaft (30-32).
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B. und Dean, M. (2004): SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. W3C Member submission, 21, 79.
- Huhnt, W. (2003): Informationsverarbeitung in Bauunternehmen: Struktur der Informationen zur Bearbeitung betriebswirtschaftlicher und baubetrieblicher Aufgaben, Springer DE.

I

- Ingenerf, J. (2007): Die Bedeutung kontrollierter Vokabulare für Fachabteilungslösungen, In: 12. Fachtagung "Praxis der Informationsverarbeitung in Krankenhaus und Versorgungsnetzen" (KIS2007).
- Ingwersen, P. und Belkin, N. (2004): Information retrieval in context-IRiX: workshop at SIGIR 2004-Sheffield. In ACM SIGIR Forum, Vol. 38, No. 2, ACM. S. 50-52.
- Ismail A. (2011): Wissensretrieval im Bauwesen, expert-Verl, Renningen.
- ISO (1988): ISO 3166: Codes for the representation of names of countries - The International Organization for Standardization, 3rd edition. International Organization for Standardization, Geneve.
- ISO (1988b): ISO 639: Code for the representation of names of languages - The International Organization for Standardization, 1st edition, Prepared by ISO/TC 37 - Terminology (principles and coordination). International Organization for Standardization, Geneve.
- ISO (2003): ISO 15836: information and documentation-the Dublin Core metadata element set. International Organization for Standardization, Geneve.
- ISO (2004): ISO 10303-11: Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual. 2, International Organization for Standardization, Geneve.
- ISO (2008): ISO 2709: Information and documentation-Format for information exchange. International Organization for Standardization, Geneve.
- Ivanova, E. (2011): Kontextverarbeitung und-reasoning, (Seminararbeit), In: Trends in mobilen und verteilten Systemen, Sommersemester 2011, Lehrstuhl für Mobile und Verteilte Systeme, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München, online: http://www.mobile.ifi.uni-muenchen.de/studium_lehre/verg_semester/ss11/hs/tims6.pdf

J

- Jelliffe, R. (2001): The Schematron: An XML structure validation language using patterns in trees. URL: <http://xml.ascc.net/resource/schematron/schematron.html>.
- Jiang, Y. (2006): Governing corporations across institutional contexts (Dissertation), Ohio State University.
- Jordan, D., Evdemon, J., Alves, A., Arkin, A., Askary, S., Barreto, C. und Yiu, A. (2007): Web services business process execution language version 2.0. OASIS standard, 11, 11.

K

- Kam, C. und Fischer, M. (2004): Capitalizing on early project decision-making opportunities to improve facility design, construction, and life-cycle performance-POP, PM4D, and decision dashboard approaches. *Automation in construction*, 13 (1). S. 53-65.
- Kamphusmann, T. (2001): Anwendungen für Wissensarbeiter-Inhaltsbezogene Recherche und Informationsangebote. Report Informationslogistik. Informationen just-in-time, Düsseldorf. S. 83-93.
- Kang, K. C., Cohen, S. G., Hess, J. A., Novak, W. E. und Peterson, A. S. (1990): Feature-oriented domain analysis (FODA) feasibility study (No. CMU/SEI-90-TR-21). CarnegieE-Mellon Univ. Pittsburgh, Software Engineering Inst.
- Karimi, H. A. und Akinci, B. (2009): CAD and GIS integration. CRC Press.
- Katranuschkov, P., Scherer, R. und Turk, Z. (2001): Intelligent services and tools for concurrent engineering? An approach towards the next generation of collaboration platforms, Vol. 6, ITcon. S. 111-128.
- Katranuschkov, P. und Scherer, R. J. (2008): BauVOGrid: a grid-based platform for the virtual organisation in construction. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2008*, S. 339.
- Keller, M. (2007): Informationstechnisch unterstützte Kooperation bei Bauprojekten. (Dissertation) Technische Universität Dresden, Institut für Bauinformatik.
- Kemper, H.-G. und Finger, R. (2010): Datentransformation im Data Warehouse, In: *Analytische Informationssysteme*. Springer Berlin Heidelberg. S. 77-94.
- Kindt, W. und Rittgeroth Y. (2009): Strategien der Verständigungssicherung: zur Lösung einer universellen Aufgabe von Kommunikation, Springer.
- Kiviniemi, A. und Adviser-Fischer, M. (2005): Requirements management interface to building product models, Stanford University.
- Klauer, T. (2005): Eine prozessorientierte Kooperationsplattform für Bauprojekte auf Basis eines internetbasierten Workflow-Managements, Shaker.
- Koch, C. (2008): Bauwerksmodellierung im kooperativen Planungsprozess: mit der Objektorientierung zur Verarbeitungsorientierung, Verlag der Bauhaus-Univ.
- Koch, O. (2010): Kontextorientierte Informationsversorgung in medizinischen Behandlungsprozessen, 1, Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- Kochendörfer, B., Liebchen, J. H. und Viering, M. G. (2007): Bau-Projekt-Management: Grundlagen und Vorgehensweisen. 3., aktualisierte Aufl. Wiesbaden, Teubner.
- König, M., Scherer R.J., Baling, M., Shapir, K. und Hartmann, V. (2014): Wissensbasierte Modellierung von Bauprozessen auf Basis von Referenzmodulen. In: Scherer, R. J. und

- Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): Informationssysteme im Baumanagement, Band 1: Modelle, Methoden und Prozesse, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 257-272.
- Korn, M. (2004): Ein Controlling-Konzept für den effizienten Einsatz von Projektkommunikationssystemen in Bauprojekten, Technische Univ. Berlin, Fakultät 6 - Bauingenieurwesen und Angewandte Geowissenschaften.
- Korpipää, P. (2005): Blackboard-based software framework and tool for mobile device context awareness, VTT, Finland.
- Krappe, H. (2009): Erweiterte virtuelle Umgebungen zur interaktiven, immersiven Verwendung von Funktionsmodellen. Univ.-Verlag Karlsruhe.
- Krause, M. (2007): Kontextbereitstellung in offenen ubiquitären Systemen. (Dissertation) Ludwigs-Maximilians-Universität, München.
- Krcmar, H. (2005): Informationsmanagement (Vol. 5). Berlin, Springer.
- Krüger, N. (2006): Entwurf und Umsetzung einer Architektur zur kontextbasierten Dienstevermittlung. http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/124510,
- Kuhlen, R., Seeger, T. und Strauch, D. (2004): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation: Band 1: Handbuch zur Einführung in die Informationswissenschaft und-praxis-Band 2: Glossar, Walter de Gruyter.
- Kuiper, P. und van Dijk, B. (2009): Adaptive municipal electronic forms. Handbook of Research on E-Transformation and Human Resources Management Technologies: Organizational Outcomes and Challenges6. S. 116-133.
- Kunze, C. P. (2008): Kontextbasierte Kooperation: Unterstützung verteilter Prozesse im Mobile Computing,
- Kunze, C. P. (2008): Kontextbasierte Kooperation: Unterstützung verteilter Prozesse im Mobile Computing, (Dissertation), Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Verteilte Systeme und Informationssysteme.
- Kühn, Eileen (2008): Konzeption und Implementierung eines Prototypen für positions-und situationsabhängige Informationsdienste am Beispiel eines pervasiven Adventurespiels, (Diplomarbeit), Studiengang Angewandte Informatik, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.
- L**
- Lanzer, W. (2012): Kontextsensitive Services für mobile Endgeräte: Spezifizierung und Evaluation eines Steuerungsmodells im Mobile Marketing (Mobile Computing).
- Lehner, F. (2012): Wissensmanagement, 4, Hanser Verlag, München.
- Leukel, J., Schuele, M., Scheuermann, A., Ressel, D. und Kessler, W. (2011): Cooperative Semantic Document Management In: Business Information Systems. Springer Berlin Heidelberg. S. 254-265.

- Leutner, D. (2002): Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In Issing, L. J. und Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Verlagsgruppe Beltz, Psychologische Verlags Union, Weinheim.
- Liao, M., Abecker, A., Bernardi, A., Hinkelmann, K. und Sintek, M. (1999): Ontologies for knowledge retrieval in organizational memories. In Proceedings of the Learning Software Organizations (LSO'99) workshop, Kaiserslauten, Germany, S. 19-26.
- Lieberman H. und Selker T. (2000): Out of context: Computer systems that adapt to, and learn from, context. IBM systems journal, 39 (3.4). S. 617-632.
- Liebich, T., Adachi, Y., Forester, J., Hyvarinen, J., Karstila, K., Reed, K. und Wix, J. (2012): Industry foundation classes IFC2x edition 3 technical corrigendum 1. International Alliance for Interoperability (Model Support Group).
- Loeser, C., Trunko, R., Steckel, T., Podratz, K., Georgiew, E. und Swoboda, F. (2009): Kontext-sensitive Konfiguration und Ausführung verteilter Geschäftsprozesse. Electronic Communications of the EASST, 17.
- Loos, P. und Vanderhaeghen, D. (2007): Kollaboratives Prozessmanagement: Unterstützung kooperations- und koordinationsintensiver Geschäftsprozesse am Beispiel des Bauwesens, Logos-Verlag.
- Löwenstein, B. und Kraeft, O. (2011): Entwickeln von Webservices mit JAX-WS und JAX-RS, in iX Magazin für professionelle Informationstechnik, Vol. 8, S. 38-52

M

- Mack, J. und Baumgärtel, T. (2011): Kostendruck versus Innovation – Die Sicht der Bauausführung, In: Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen., Springer, Dordrecht, New York. S. 14-18.
- Maier, R. und Lehner, F. (1995): Daten, Informationen, Wissen. Wirtschaftsinformatik: Theoretische Grundlagen. Hrsg.: F. Lehner, R. Maier, K. Hildebrand. München, Wien. S. 165-272.
- Mandl, P. (2012): Ist SOA obsolet?-Eine kritische Betrachtung. PIK-Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 35 (2). S. 119-123.
- Maus, H.(2001): Workflow context as a means for intelligent information support. In Proc. of 3rd Intl. Conf. on Modeling and Using Context (CONTEXT'01), S. 261–274.
- Maviglia, S. M., Yoon, C. S., Bates, D. W. und Kuperman, G. (2006): KnowledgeLink: impact of context-sensitive information retrieval on clinicians' information needs, Journal of the American Medical Informatics Association, 13. Jg., Nr. 1, S. 67-73.
- Mayer, R. (2007): Ubiquitäre Web-Anwendungen – Entwicklung endgeräteunabhängiger Lösungsansätze, (Diplomarbeit), Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme. Technische Universität Wien.

- Mazairac, W. und Beetz, J.(2012): Towards a Framework for a Domain Specific Open Query Language for Building Information Models. In: Borrmann, A., Geyer, P., de Wilde, P. und Rafiq, Y. (Hrsg.) Proceedings of the 2012 eg-ice Workshop.
- McCarthy, J. und Sasa, B. (1997): Formalizing context (expanded notes). In: Aliseda, A., van Glabbeek, R.J. und Westerståhl, D. (Hrsg.), Computing Natural Language, CSLI Lecture Notes, Vol. 81, Center for the Study of Language and Information, Stanford University, CA, S. 13–50.
- Meinel, C. und Sack, H. (2004): WWW: Kommunikation. Internetworking, Web-Technologien, Springer Verlag.
- Melzer, I. (2010): Service-orientierte Architektur, In: Service-orientierte Architekturen mit Web Services. Spektrum Akademischer Verlag. S. 9-31.
- Mikalsen, M. und Kofod-Petersen, A. (2004): Representing and reasoning about context in a mobile environment. In: Proceedings of the First International Workshop on Modeling and Retrieval of Context. CEUR Workshop Proceedings. 2004. S. 25-35.
- Miller, E. (2003): Weaving Meaning: Semantic Web Applications. Presentation at INTAP, Tokyo, Japan, <http://www.w3.org/2003/Talks/1117-semweb-intap/>
- Miller, J. und Mukerji, J. (2001): Model driven architecture (mda). Object Management Group, Draft Specification ormsc/2001-07-01.
- Morgenroth, K. (2006): Kontextbasiertes Information Retrieval, Logos-Verl, Berlin,
- Motik, B., Grau, B. C., Horrocks, I., Wu, Z., Fokoue, A. und Lutz, C. (2009): Owl 2 web ontology language: Profiles. W3C recommendation, 27, 61.
- Münter, D. (2013): Fahrer-und situationsgerechte Navigationsunterstützung im Fahrzeug. Verlag Dr. Hut.
- N**
- Naedele, M. (2003): Standards for XML and Web services security. Computer, 36 (4). S. 96-98.
- NIST (1993): Integration Definition for Function Modeling (IDEFO). National Institute of Standards and Technology, <http://www.idef.com/>.
- Neundorf, D. und Raps, M. (2004): Integration von kontextbasiertem Information Retrieval in Workflow-Managementsysteme. Methoden und Anwendungen. S. 165.
- Newby, G. B. (1996): Metric Multidimensional Information Space. In Harman, D. (Hrsg.). Proceedings of TREC-5. Gaithersburg.
- Nicholas, D. (2000): Assessing information needs: tools, techniques and concepts for the internet age. Europa Publications Ltd, Routledge.

Niles, I., & Pease, A. (2001): Towards a standard upper ontology In: Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems-Volume 2001. ACM, 2001. S. 2-9.

Nityantoro, E. und Scherer, R. J. (2013): Ontology Supported Recombination of Multi-Models, In: Collaborative Systems for Reindustrialization. Springer, S. 257-264.

North, K. und Guldenberg, S. (2008): Produktive Wissensarbeit(er): Antworten Auf Die Management-Herausforderung Des 21. Jahrhunderts, Springer.

Nutt, G. J. (1996): The evolution towards flexible workflow systems. Distributed Systems Engineering Journal, Vol. 3, No. 4, S. 276-294.

O

OCCS Development Committee (2006): The Omniclass Construction Classification System. <http://www.occsnet.org/>.

OMG (2003): Metadata Interchange (XMI) Specification. Object Management Group, online: <http://www.omg.org/docs/formal/05-05-01.pdf>

OMG (2002): Meta Object Facility (MOF) Specification, Object Management Group, online: www.omg.org/cgi-bin/apps/doc?formal/02-04-03.pdf

Open Mobile Alliance (2001): User Agent Profile (UAPProf). <http://www.openmobilealliance.org/tech/affiliates/wap/wap-248-uaprof-20011020-a.pdf>,

Oppermann, R., Specht, M. und Jaceniak, I. (1999): Hippie: A nomadic information system. In: Handheld and Ubiquitous Computing. Springer Berlin Heidelberg. S. 330-333.

Öztürk, P. und Aamodt, A. (1997): Towards a model of context for case-based diagnostic problem solving. In: Context-97; Proceedings of the interdisciplinary conference on modeling and using context. S. 198-208.

P

Partsch, S. (1999). Wie die Häuser in den Himmel wuchsen. Die Geschichte des Bauens. Hanser, München.

Paulheim, H. und Meyer, L. (2011): Developing Efficient Ontology-based Systems Using A-box Data from Running Applications. In: 7th International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE 2011). 2011.

Pellegrini, T. und Blumauer, A. (2006): Semantic Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg.

Peters, I. und Weller, K. (2008): Paradigmatic and syntagmatic relations in knowledge organization systems. Information Wissenschaft und Praxis, 59 (2). S. 100-107.

- Petit, M., Ray, C. und Claramunt, C. (2006): A contextual approach for the development of GIS: Application to maritime navigation, In: Web and Wireless Geographical Information Systems., Springer. S. 158-169.
- Petri, C. A. (1962): Kommunikation mit Automaten. Bonn, Institut für Instrumentelle Mathematik, Schriften des IIM Nr. 2.
- Pflug, C., Schütz, M., Demharter, J. und Scherer, R. J. (2014): Multimodellbasierte Abwicklung einer Leistungsänderung, In: Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): Informationssysteme im Baumanagement, Band 2: Anwendungen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 213-227.
- Picot, A. und Maier, M. (1994): Ansätze der Informationsmodellierung und ihre betriebswirtschaftliche Bedeutung. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, (2), 107-126.
- Pinkal, M. (1985): Logik und Lexikon: Die Semantik des Unbestimmten, De Gruyter, Berlin.
- Pöppelmann, C. (2010): Architektur, Compact Verlag.
- Priebe, T.; Pernul, G. und Krause, P. (2003): Ein integrativer Ansatz für unternehmensweite Wissensportale, In: Wirtschaftsinformatik 2003/Band II., Springer. S. 277-291.
- Probst, G., Raub, S. und Romhardt, K. (1999): Wissen managen, Springer.
- Probst, G., Raub, S. und Romhardt, K. (2006): Bausteine des Wissensmanagements, Springer.
- R**
- Ranganathan, A., & Campbell, R. H. (2003, January). A middleware for context-aware agents in ubiquitous computing environments. In: Middleware. Springer Berlin Heidelberg, S. 143-161.
- Rath, H. (2003): The topic maps handbook. Empolis, Gütersloh.
- Rauscher, B. und Hess, T. (2005): Kontextsensitive Inhaltebereitstellung: Begriffsklärung und Analysegrundlagen. Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, WIM-Arbeitsbericht.
- Ray-Jones, A. und Clegg, D. (1976): CI/SfB construction indexing manual, Riba Publications, London.
- Rebolj, D., Cus-babic, N., Tibaut, A. und Magdic, A. (2002): Evolution of a Road Product Model. In: CIB Proc. of W78 Conference.
- Rehäuser, J. und Krcmar, H. (1996): Wissensmanagement in Unternehmen, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Univ. Hohenheim.
- Reichwald, R., Picot, A. und Wigand, R. T. (2003): Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. Gabler Verlag, Wiesbaden.

- Reuter C. (2004): Empfehlungen für lokale Dokumente. Methoden und Anwendungen. In Henrich, A. und Morgenroth, K (Hrsg.) Kontextbasiertes Information Retrieval, Universität Bamberg
- Reynolds, D. (2006). Jena rules tutorial. In Jena User Conference. online: <http://jena.hpl.hp.com/juc2006/proceedings/reynolds/rules-slides.ppt> (22.7.2014)
- Richardson, L. und Ruby, S. (2008): RESTful web services, O'Reilly Media, Inc.
- Risku, H. (2004): Translationsmanagement, Narr, Tübingen.
- Rivard, H., Froese, T., Waugh, L. M., El-Diraby, T., Mora, R., Torres, H. und O'Reilly, T. (2004): Case studies on the use of information technology in the Canadian construction industry , ITcon 9, S.19–34
- Rommelspacher, J. (2011): Automatisierung von Führungsentscheidungen: Framework, Modellierung und Prototyp, Springer.
- Rothermel, K. (2008): Kontextbezogene Systeme-die Welt im Computer modelliert, In: Digitale Visionen, Springer,. S. 31-42.
- Rothermel, K., Ertl, T., Fritsch, D., Kühn, P. J., Mitschang, B., Westkämper, E. und Wieland, M. (2006): SFB 627–Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme. Informatik-Forschung und Entwicklung, 21(1-2), S. 105-113.
- Roumois-Hasler, U. (2007). Studienbuch Wissensmanagement. Grundlagen der Wissensarbeit in Wirtschafts-, Non-Profit-und Public-Organisationen. Zürich: Orell Füssli/UTB, 2954.
- Royal Inst. of British Architects (1997): Uniclass: Unified classification for the construction industry. RIBA Publications, London.
- Rüppel, U. (2007): Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Rüppel, U. (2007): Grundlegende Betrachtungen zur vernetzten Kooperation, In: Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. S. 3-17.
- Ruppel, P. (2011): Umgebungsmodelle und Navigationsdaten für ortsbezogene Dienste in Gebäuden (Dissertation), Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Rupp, C. (2001): Requirements-Engineering und-Management: professionelle, iterative Anforderungsanalyse für IT-Systeme. Hanser.
- Rupp, C. (2007): Requirements-Engineering und-Management: professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis. Hanser Verlag.
- Ryan, N. (1999): ConteXtML: Exchanging contextual information between a Mobile Client and the FieldNote Server. Computing Laboratory, University of Kent at Canterbury, online: <http://www.cs.kent.ac.uk/projects/mobicomp/fnc/ConteXtML.html> (22.7.2014)

S

- Saidani, O. und Nurcan, S. (2007): Towards context aware business process modelling. In: 8th Workshop on Business Process Modeling, Development, and Support (BPMDs'07), online: http://lamswww.epfl.ch/conference/bpmds07/program/Saidani_33.pdf (22.07.2014).
- Samulowitz, M. (2002): Kontextadaptive Dienstnutzung in Ubiquitous Computing Umgebungen (Dissertation) Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Schilit, B. N. und Theimer, M. M. (1994): Disseminating active map information to mobile hosts. *Network, IEEE*, 8(5), S. 22-32.
- Schach, R. (2007): Grundlagen der Baubetriebslehre 2: Baubetriebsplanung, Springer.
- Schapke, S.-E. und Fuchs, S. (2011): Mefisto–Eine multimodellbasierte Plattform für das Bauprojektmanagement. In: Scherer, R. J., Tauscher, H. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) Mefisto: eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen, Heft 4 in Veranstaltungen des Instituts für Bauinformatik, Dresden, Institut für Bauinformatik, S. 11-42.
- Schapke, S.-E. (2013): Modellbasierte Kollaboration: Neue Strategien zur Integration verteilter Projektinformationen, In: Scherer, R. J., Kreil, R. und Opitz F. (Hrsg.) Tagungsband 4. Fachkonferenz Bauinformatik – Baupraxis, Institut für Bauinformatik Technische Universität Dresden. S. 13-26.
- Schapke, S.-E., Fuchs, S. und Scherer, R. J. (2014): Methoden für den prozessorientierten Einsatz verteilter Multimodelle, In: Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): Informationssysteme im Baumanagement, Band 1: Modelle, Methoden und Prozesse, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 239-255.
- Schapke, S.-E., Keller, M. und Scherer, R. J. (2007): Kollaborationsformen im Bauwesen, In: Kollaboratives Prozessmanagement: Unterstützung kooperations- und koordinationsintensiver Geschäftsprozesse am Beispiel des Bauwesens., Logos-Verlag. S. 35-60.
- Scheer, A. W. (1997): Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse (siebte Auflage). Springer Verlag.
- Scheer, A. W., Adam, O., Hofer, A. und Zang, S. (2006): ArKoS-Architektur Kollaborativer Szenarien. Forschungsoffensive "Software Engineering. 2006", Berlin, online: http://www.bitkom.org/files/documents/06_Beitrag_ARKOS.pdf (22.7.2014)
- Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): Informationssysteme im Bauwesen, Band 1: Modelle, Methoden und Prozesse, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg .
- Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): Informationssysteme im Bauwesen, Band 2: Anwendungen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Scherer, R. J. (2006): Integrierte dynamische Produkt- und Prozessmodellierung mit dem Ziel der Risikobewertung von Bauprojekten. In S. Wenzel (Hrsg.), *Simulation in Produktion und Logistik 2006*, 12. ASIM Fachtagung. Kassel: SCS Publishing House e.V., San Diego - Erlangen. S. 25-27.
- Scherer, R. J., Katranuschkov, P. und Rybenko, K. (2008): Description Logic Based Collaborative Process Management. In Y. Rafiq, P. de Wilde, & M. Borthwick (Hrsg.), *ICE08 – Proc. 15th workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE)*. Plymouth, UK. S. 291-302.
- Scherer, R. J., Schapke, S.-E. und Katranuschkov, P. (2010): Concept of an information framework for management, simulation and decision making in construction projects. In K. Menzel, & R. J. Scherer (Hrsg.), *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the*. Cork, Ireland: Taylor & Francis Group. S. 97-104.
- Scherer, R. J. (2011): Mefisto – Ziele der 2. Phase, In: *Tagungsband des 2. Mefisto-Kongresses*, Institut für Bauinformatik, Technische Universität Dresden. S. 3-10.
- Scherer, R. J. und Schapke, S. E. (2011): A distributed multi-model-based Management Information System for simulation and decision-making on construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), S. 582-599.
- Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (2014): Multimodellbasierte Zusammenarbeit in Bauprojekten, In: Scherer, R. J. und Schapke, S.-E. (Hrsg.) (2014): *Informationssysteme im Baumanagement*, Band 1: Modelle, Methoden und Prozesse, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 3 ff.
- Schilit, B., Adams, N. und Want, R. (1994): Context-aware computing applications, In: *Mobile Computing Systems and Applications*, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on. IEEE, 1994. S. 85-90.
- Schilit, B. N., & Theimer, M. M. (1994): Disseminating active map information to mobile hosts. *Network, IEEE*, 8(5), S. 22-32.
- Schill, A. und Springer, T. (2012). *Verteilte Systeme*. Springer Berlin Heidelberg.
- Schimpf, C.-A. und Ullfors, C.-M. (1994): *Bertelsmann-Lexikon Informatik, EDV, Computertechnik*, Bertelsmann-Lexikon-Verlag.
- Schlesinger, M. (2000): *ALFRED: Konzepte und Prototypen einer aktiven Schicht zur Automatisierung von Geschäftsregeln*. (Dissertation), Universität Bern
- Schlott, S. (2008): *Privacy- und Sicherheitsaspekte in Ubiquitaeren Umgebungen*. (Dissertation), Universität Ulm.
- Schmidt, A., Strohbach, M., Van Laerhoven, K., Friday, A. und Gellersen, H. W. (2002): Context acquisition based on load sensing. In: *UbiComp 2002: Ubiquitous Computing*. Springer Berlin Heidelberg, S. 333-350.

- Schmidt-Belz, B., Laamanen, H., Poslad, S. und Zipf, A. (2003): Location-based mobile tourist services: first user experiences. ENTER 2003: 10th International Conference on Information Technology in Travel & Tourism. S. 115-123.
- Schreyer, M. (2002): Met@BiM-ein semantisches Datenmodell für Baustoff-Informationen im World Wide Web, Anwendungen für Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung. (Dissertation), Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Stuttgart.
- Schulte, R. W. und Natis, Y. (1996): Service Oriented Architectures, Part 1. Tech. Rep. Gartner Research ID Number SPA-401-068, Gartner Group.
- Schulze, M. und Förster, M. (2011): AFFIX-Ein ressourcenbewusstes Framework für Kontextinformationen in eingebetteten verteilten Systemen Electronic Communications of the EASST, 37. Jg.
- Schütte, R. (1998): Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle, Gabler.
- Schwaiger, R. (2008): Sprachen und Standards für IST- und SOLL-Prozessbeschreibungen im betrieblichen Umfeld, BoD-Books on Demand.
- Schwinn, M., Kuhn, N. und Richter, S. (2011): Ontology-based Knowledge Management for SMEs, In: The 2nd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics. S. 151.
- Sieber, S. und Wächtler, N. (2004): Kontextbasiertes Information Retrieval Softwareentwicklung. Methoden und Anwendungen. S. 51.
- Sitou, W. O. (2009): Requirements-Engineering kontextsensitiver Anwendungen (Dissertation), Technische Universität München.
- Staab, S. und Studer, R. (2010): Handbook on Ontologies, Springer.
- Staab, S. (2002): Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten. Informatik-Spektrum, 25 (3). S. 194-209.
- Stachowiak, H. (1983): Modelle-Konstruktion der Wirklichkeit, Bd. 101, Fink, München.
- Stangeland, B. K. (2011): BIM Collaboration Format (BCF), buildingSmart, 2011. online: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases/bcf-intro> (9.7.2014)
- Stark, K. (2006): Baubetriebslehre: Grundlagen: Projektbeteiligte, Projektplanung, Projekt- ablauf, Springer.
- Stegelmeier, S., Wendt, P. und Luck, K.v. (2009): iFlat-Eine dienstorientierte Architektur für intelligente Räume. Ambient Assisted Living-AAL, Berlin.
- Stiefel, P. (2011): Dezentrale und Kollaborative Produktentwicklung, In: Eine dezentrale Informations- und Kollaborationsarchitektur für die unternehmensübergreifende Produktentwicklung. Vieweg+ Teubner, 2011. S. 95-111.

- Strang, T. und Linnhoff-Popien, C. (2003): Service interoperability on context level in ubiquitous computing environments, In: Intl. Conf. on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Education, Science, Medicine, and Mobile Technologies on the Internet (SSGRR2003w).
- Strang, T. und Linnhoff-Popien, C. (2004): A Context Modelling Survey. Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management as part of UbiComp 2004, Nottingham.
- Strebinger, A. und Treiblmaier, H. (2004): E-Adequate Branding: Building Offline and Online Brand Structure within a Polygon of Interdependent Forces. *Electronic Markets*, 14 (2). S. 153-164.
- Studer, R., Benjamins, V. R. und Fensel, D. (1998): Knowledge engineering: principles and methods. *Data und knowledge engineering*, 25 (1). S. 161-197.
- Sturm, E. (2007): Virtuelle Projektträume-Teamarbeit im Netz. *Deutsches Architektenblatt*, DAB 12/07 (12).
- Szyperski, N. (1980): Informationsbedarf. *Handwörterbuch der Organisation*, 2. S. 904-913.
- T**
- Taschner, A. (2012): *Management Reporting: Erfolgsfaktor internes Berichtswesen*, Springer DE.
- Tauscher, E. (2011): *Vom Bauwerksinformationsmodell zur Terminplanung – Ein Modell zur Generierung von Bauablaufplänen*, (Dissertation), Bauhaus-Universität Weimar.
- Teubner, R. A. (1999): *Informationssysteme und Unternehmensorganisation*, In: *Organisations- und Informationssystemgestaltung*, Springer, S. 45-70.
- Teufel, S. (1995): *Computerunterstützung für die Gruppenarbeit*, Addison-Wesley.
- Theling, T. und Loos, P. (2004): *Determinanten und Formen von Unternehmenskooperationen*, Johannes Gutenberg Universität.
- Thomas, O. (2005): *Das Modellverständnis in der Wirtschaftsinformatik: Historie, Literaturanalyse und Begriffsexplikation*, Inst. für Wirtschaftsinformatik.
- Topcu, F. (2011): *Context Modeling and Reasoning Techniques*, In: SNET Seminar in the ST. online: http://www.snet.tu-berlin.de/fileadmin/fg220/courses/SS11/snet-project/context-modeling-and-reasoning_topcu.pdf. (9.7.2014)
- Trunko, R. (2011): *Kontextsensitive Ausnahmebehandlung in Geschäftsprozessen*, (Dissertation), Dr. Hut, München.
- Tulke, J. (2010): *Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen*. (Dissertation), Bauhaus-Universität Weimar..

Turjalei, M. (2006): Integration von Context-Awareness in eine Middleware für mobile Systeme. (Dissertation), Universität Hamburg.

Turk, Ž. und Scherer, R. J. (2001): Towards the next generation of civil engineering collaboration platforms. In: Proceedings of the eBusiness and eWork 2001 Conference, Venice, Italy.

U

Uschold, M. und Gruninger, M. (1996): Ontologies: Principles, methods and applications. The knowledge engineering review, 11 (02). S. 93-136.

V

Vanderhaeghen, D. (2007): Anforderungen an das Management kollaborativer Geschäftsprozesse, In: Kollaboratives Prozessmanagement: Unterstützung kooperations- und koordinationsintensiver Geschäftsprozesse am Beispiel des Bauwesens., Logos-Verlag. S. 17-31.

van Hoof, A., Fillies, C., und Härtwig, J. (2003): Aufgaben- und rollengerechte Informationsversorgung durch vorgebaute Informationsräume. in: Fähnrich, K.-P. und Herre, H. (Hrsg.) Content- und Wissensmanagement, Beiträge auf den LIT'03 Content- und Wissensmanagement. Leipzig, S. 1-10.

VOB (2006). Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen. Teil A, B und C, Fassung 2006/hrsg. vom DIN Berlin; Wien.

Vogel L. (2012): Eclipse RCP Tutorial. online: <http://www.vogella.com/articles/EclipseRCP/article.html> (9.7.2014)

Volz, R. (2001): Eine kleine Einführung in Ontologien. In: Vortragsfolien zum Workshop: Begriffliche Formalisierung von Prozessen und Systemen an der TU Dresden.

Vom Brocke, J. (2006). Serviceorientiertes Prozesscontrolling. Gestaltung von Organisations- und Informationssystemen bei Serviceorientierten Architekturen. Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster.

Voß, S. und Gutenschwager, K. (2001): Informationsmanagement: mit 25 Tabellen. Springer.

W

Wang, X. H., Zhang, D. Q., Gu, T., & Pung, H. K. (2004). Ontology based context modeling and reasoning using OWL. In: Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on. Ieee, 2004. S. 18-22.

Wastian, M., Braumandl, I. und Rosenstiel, L. (2009): Angewandte Psychologie für das Projektmanagement, Springer Science & Business.

Weck, R.J. (2003): Informationsmanagement im globalen Wettbewerb: Voraussetzungen und Potentiale einer erfolgreichen Positionierung, Oldenbourg Verlag.

- Weise, M. (2006): Ein Ansatz zur Abbildung von Änderungen in der modell-basierten Objektplanung, (Dissertation), Institut für Bauinformatik, Technische Universität Dresden.
- Weissensteiner, A. (2006): Ubiquitäre Web-Anwendungen-Modellierung und Implementierung von Kontext Information, (Diplomarbeit), Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme, Technische Universität Wien.
- Weiser, M.; Gold R. und Brown J.S. (1999): The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s. IBM systems journal, 38 (4). S. 693-696.
- Weller, K. (2010): Knowledge representation in the social semantic web, Walter de Gruyter.
- Weller, K. (2013): Ontologien. Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation: Handbuch zur Einführung in die Informationswissenschaft und-praxis. S. 207.
- Wender, K. (2009): Das virtuelle Bauwerk als Informationsumgebung für die Planung im Bestand. (Dissertation), Weimar.
- Werth, D. (2006): Kollaborative Geschäftsprozesse: integrative Methoden zur modellbasierten Deskription und Konstruktion, Logos-Verlag.
- White, S.A. (2004): Introduction to BPMN. IBM Cooperation, 2 (0). online: [http://www.bpmn.org/Documents/Introduction to BPMN.pdf](http://www.bpmn.org/Documents/Introduction%20to%20BPMN.pdf) (9.7.2014).
- Wiebrock, I. (2011): Zur kontextbasierten Visualisierung von Geodaten auf Basis von standardisierten Webdiensten, Universität der Bundeswehr, Neubiberg.
- Willenbacher, H. (2002): Interaktive verknüpfungsbasierte Bauwerksmodellierung als Integrationsplattform für den Bauwerkslebenszyklus. (Dissertation), Weimar.
- Willenbacher, H. und Hübler, R. (2004): Intelligent link-management for the support of integration in building life cycle. In Proc. of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering 2004, Weimar.
- Wilson, T.D. (1997): Information behaviour: an interdisciplinary perspective. Information processing und management, 33 (4). S. 551-572.
- Windisch, R., Katranuschkov, P. und Scherer, R. J.(2012):A Generic Filter Framework for Consistent Generation of BIM-based Model Views. In: Borrmann, A., Geyer, P., de Wilde, P. und Rafiq, Y. (Hrsg.) Proceedings of the 2012 eg-ice Workshop.
- Winograd, T. (2001): Architectures for context. Human-computer interaction, 16 (2). S. 401-419.
- Wittig, F. (2002): Maschinelles Lernen Bayesscher Netze in benutzeradaptiven Systemen. (Dissertation), Saarbrücken.
- Woestenenk, K. (2002): The LexiCon: structuring semantics, In: Proceedings of CIB W78 conference on Distributing Knowledge in Building. 2002. S. 241-247.

- Wolf, S. (2001): Wissenschaftstheoretische und fachmethodische Grundlagen der Konstruktion von generischen Referenzmodellen betrieblicher Systeme, Shaker.
- Wrightson, A. (2001): Topic Maps and Knowledge Representation. White Paper, Ontopia AS, Oslo, Norwegenay, online: <http://www.ontopia.net/topicmaps/materials/kr-tm.html>
- Wülfing, A., Windisch, R. und Baumgärtel, K. (2012): BIMfit-Ein modulares Softwarewerkzeug zur Abfrage und Filterung von Gebäudeinformationsmodellen. In: Kropp, F., Rahm, C. und Hegemann, S. K. (Hrsg.) Forum Bauinformatik. 2012, Europäischer und Bochumer Universitätsverlag.
- Wünsche, V. (1997): Visualisierung strukturierter Informationen mit VRML (Dissertation), Institut für Computergrafik, Fachbereich Informatik, Universität Rostock.
- Wyssusek, B. und Ahrens, D. (2004): Wissensmanagement komplex: Perspektiven und soziale Praxis, Erich Schmidt Verlag GmbH und.

Z

- Ziegler, J., Lohmann, S. und Kaltz, J. W. (2005): Kontextmodellierung für adaptive webbasierte Systeme. Mensch und Computer 2005: Kunst und Wissenschaft-Grenzüberschreitung der interaktiven Art.
- Zimmer, T. H. (2007): Verbesserung der Kontexterkenennung in ubiquitären Informationsumgebungen. (Dissertation), Braunschweig.
- Zimmermann, A., Lorenz, A. und Oppermann, R. (2007): An operational definition of context, In: Modeling and using context., Springer., S. 558-571.
- Zipf, A. und Jöst, M. (2006): Implementing adaptive mobile GI services based on ontologies: Examples from pedestrian navigation support. Computers, Environment and Urban Systems, 30 (6). S. 784-798.

**Bisher erschienene Dissertationen, Habilitationen und
Hefte des Instituts für Bauinformatik²⁴²**

Christoph Meinecke	Ein objektorientiertes Konstruktions-expertensystem mit Regelmethoden	Selbstverlag Karlsruhe, 07/1995
Markus Hauser	Eine kognitive Architektur für die wissensbasierte Unterstützung der frühen Phasen des Entwurfs von Tragwerken	logos Verlag Berlin, 06/1998
Martin Zsohar	Stochastische Größen der Resonanzfrequenzen und der Verstärkung seismischer Wellen im horizontal geschichteten zufälligen Medium	Shaker Verlag Aachen, 07/1998
Christian Steurer	Modellierung und Berechnung des Ermüdungsrißfortschritts mit stochastischen Differentialgleichungen	Selbstverlag, 02/1999
Peter Katranuschkov	A Mapping Language for Concurrent Engineering Processes	Heft 1, 02/2001
Karsten Menzel	Methodik zur nachhaltigen, rechnergestützten Ressourcenverwaltung im Bauwesen	Heft 2, 11/2003
Michael Eisfeld	Assistance in Conceptual Design of Concrete Structures by a Description Logic Planner	Heft 3, 11/2004
Matthias Weise	Ein Ansatz zur Abbildung von Änderungen in der modellbasierten Objektplanung	Heft 4, 11/2006
Jörg Bretschneider	Ein wellenbasiertes stochastisches Modell zur Vorhersage der Erdbebenlast	Heft 5, 12/2006
Martin Keller	Informationstechnisch unterstützte Kooperation bei Bauprojekten	Heft 6, 06/2007
Kamil Umut Gökce	IT Supported Construction Management	Heft 7, 06/2008

²⁴² Bis September 2003 Lehrstuhl für Computeranwendung im Bauwesen

Gerald Faschingbauer	Simulationsbasierte Systemidentifikation im Rahmen der baubegleitenden geotechnischen Überwachung	Heft 8, 12/2010
Wael Shar-mak	Dynamic Network Planning in Construction Projects using Configurable Reference Process Models	Heft 9, 05/2011
Amin Zahedi Khameneh	Wave-type based Real-Time Prediction of Strong Ground Motion	Heft 10, 08/2012
Sebastian Fuchs	Erschließung domänenübergreifender Informationsräume mit Multimodellen	Heft 11, 08/2015
Alexander Benevo-lenskiy	Ontology-based modeling and configuration of construction processes using process patterns	Heft 12, 03/2016