

Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger

**Lebenszyklusbegleitendes
Management von digitalen
Bauwerksinformationen**

**Konzept zur Implementierung einer
technisch-organisatorischen Lösung
für die öffentliche Bauverwaltung
(Verbundprojekt)**

F 3061

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0200-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Lebenszyklusbegleitendes Management von digitalen
Bauwerksinformationen
Konzept zur Implementierung einer technisch-organisatorischen
Lösung für die öffentliche Bauverwaltung (Verbundprojekt)

Endbericht

Dezember 2017



Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Vertragskennzeichen: SWD 10.08.18.7 – 15.36).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

**Lebenszyklusbegleitendes Management von digitalen Bauwerksinformationen
Konzept zur Implementierung einer technisch-organisatorischen Lösung für die
öffentliche Bauverwaltung (Verbundprojekt)**

Kurzbezeichnung: Digitale Langzeitnutzbarkeit
Forschungsinitiative Zukunft Bau – Vertragskennzeichen: SWD 10.08.18.7 – 15.36

Auftragnehmer

Universität der Bundeswehr München (UniBwM)
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe M. Borghoff
Fakultät für Informatik
Institut für Softwaretechnologie
Professur für Informationsmanagement
uwe.borghoff@unibw.de
Tel.: 089 / 6004 2274, Fax 089 / 6004 4447
www.unibw.de/uwe.borghoff

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gebbeken
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
Institut für Mechanik und Statik
Professur für Baustatik + Labor für Ingenieurinformatik
norbert.gebbeken@unibw.de
Tel.: 089 / 6004 3414, Fax: 089 / 6004 4549
www.unibw.de/baustatik

Koordination und Projektleitung
AkDir Eberhard Pfeiffer
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
Institut für Mechanik und Statik + Labor für Ingenieurinformatik
Tel.: 089 / 6004 3417, Fax: 089 / 6004 4549

Autoren

Eberhard Pfeiffer
eberhard.pfeiffer@unibw.de

Peter Rödiger
www.unibw.de/peter.roedig
peter.roedig@unibw.de

Projektpartner

CAD-Stelle Bayern
Landesbaudirektion
Sophienstraße 6
80333 München
Dipl.-Ing. August Pries
Leiter der CAD-Stelle Bayern
August.Pries@lbd.bayern.de
Tel. 089 / 4400-77968

novaCapta Software & Consulting GmbH (vormals Smarter Business Solutions Germany GmbH)
Ridlerstraße 33
80339 München
Udo Schwenker (Executive Manager)
u.schwenker@novacapta.de
Tel. 089 / 3090527-710

Danksagung

Das Studienteam der UniBwM bedankt sich bei allen Unterstützern dieser Studie. Besonderer Dank gilt dem Leiter der CAD-Stelle Bayern, Herrn August Pries und seinem Team, den Vertretern der Bauverwaltungen des Bundes und der Länder, die für einen Informationsaustausch zum langfristigen Management von digitalen Bauwerksdaten den weiten Weg nach München auf sich genommen haben oder uns schriftliche Beiträge zur Verfügung stellten, sowie dem BBSR für die finanzielle Unterstützung durch das Programm Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMUB.

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir auch unserem Partner aus der Industrie, Herrn Udo Schwenker und seinen Mitarbeitern von der Firma novaCapta für die Bereitstellung eines virtuellen Projektraums und für die vertieften Einblicke in die Funktionsweise und den Praxisbetrieb eines virtuellen Projektraums.

Wir danken ebenfalls Herrn Sven-Eric Schapke, der für eine Diskussion zum Projekt Mefisto und zum Thema Multimodelle bereitstand. Herr Schapke ist Business Development Manager BIM bei der Firma think project! und engagiert sich bei der Standardisierung im Bereich BIM.

Herrn Fabian Brodbeck vom Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB danken wir für sein Interesse an dem Forschungsthema und für seine aufgeschlossene Studienbegleitung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Kurzreferat.....	9
1.2	Inhalt der Studie	10
1.3	Vorbemerkungen zur Studie.....	10
1.4	Studienverlauf	10
1.5	Motivation für eine digitale Langzeitnutzung	12
1.6	Allgemeine Herausforderungen bei der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	13
1.7	Bauspezifische Herausforderungen für einen lebenszyklusbegleitenden Informationserhalt	14
2	Begriffsklärung zur digitalen Langzeitnutzbarkeit	15
2.1	Langfristigkeit und Langzeitigkeit im Kontext digitaler Informationen	15
2.2	Aufbewahrung, Langzeitspeicherung, Archivierung, Langzeitnutzbarkeit.....	15
2.2.1	Aufbewahrung.....	15
2.2.2	Langzeitspeicherung.....	15
2.2.3	Archivierung.....	16
2.2.4	Zwischenarchivierung und Vorarchivierung	16
2.2.5	Langzeitnutzbarkeit	17
3	OAIS – Open Archival Information System (ISO 14721)	19
3.1	Einführung.....	19
3.2	Inhalt.....	19
3.3	Erhaltungsmethoden.....	23
3.3.1	Erhaltungsmethode Migration	23
3.3.2	Diskussion der Migration	24
3.3.3	Erhaltungsmethode Emulation	24
3.3.4	Diskussion der Emulation	24
4	Auswertung von Studien und Projekten	27
4.1	Preserving CAD – DPC Technology Watch Report	27
4.1.1	Historische Entwicklung	27
4.1.2	Problemstellungen	28
4.1.3	Standardisierung	30
4.1.4	Techniken und Technologien	34
4.1.5	Diskussion	37
4.1.6	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	40
4.1.7	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	41

4.2	FACADE	43
4.2.1	Überblick	43
4.2.2	Inhalt.....	43
4.2.3	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	45
4.3	Exkurs in die Archivierung von Geodaten	45
4.3.1	Leitlinien zur bundesweit einheitlichen Archivierung von Geobasisdaten	46
4.3.2	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	48
5	Ausgangssituation und Aktivitäten in den Staatlichen Bauverwaltungen	51
5.1	Pilotprojekt Langzeitarchivierung in der StBV (ABD Nordbayern).....	51
5.2	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	54
5.3	Informationsaustausch Mitarbeiter ABD Nordbayern –Studienteam UniBwM	54
5.4	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	55
5.5	Staatlicher Hochbau	56
5.5.1	Staatlicher Hochbau in Bayern.....	56
5.5.2	Maßnahmen der Bauverwaltung zur Langzeitnutzbarkeit und Archivierung	59
5.5.3	Maßnahmen zur Verbesserung der Ausgangssituation – Virtuelle Projekträume	60
5.6	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	61
6	Formale Vorgaben für die öffentliche Bauverwaltung	63
6.1	Vorgaben für alle Unterlagen	63
6.1.1	RBBau	63
6.1.2	RLBau Niedersachsen	63
6.1.3	RLBau Bayern.....	64
6.2	Spezifische Vorgaben für digitale Unterlagen	64
6.2.1	Bundesarchivgesetz	64
6.2.2	Archivgesetz Bayern	64
6.2.3	Archivgesetz NRW.....	65
6.3	Bauspezifische Vorgaben für digitale Unterlagen.....	65
6.3.1	RBBau	65
6.3.2	RLBau Bayern.....	66
6.3.3	BFR GBestand.....	67
6.3.4	BFR Verm	67
6.4	Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	68
7	Kernaspekte einer IT-Architektur zur digitalen Langzeitnutzbarkeit	69
7.1	Datenmanagement	69
7.1.1	Gemeinsame Dateiablage	70
7.1.2	Dokumentenmanagementsysteme	70
7.1.3	Managementsysteme für Produktdaten und Produktlebenszyklen.....	72
7.1.4	Modellorientierung, Produktmodellserver und Kollaborationsplattformen	74

7.1.5	Multimodelle und Multimodellcontainer	78
7.1.6	Fazit zum Datenmanagement	94
7.2	Die Formatfrage	95
7.2.1	Formatregister	95
7.2.2	Nachhaltigkeitsbewertung von Formaten.....	96
7.2.3	Neutrale Formate vs. Formatmigration	98
7.2.4	Formate im Einzelnen	99
7.2.5	Fazit zu IFC.....	106
7.2.6	Weitere Formate	108
8	Zusammenfassung und Konzept einer IT-Architektur	109
8.1.1	Vorgaben und Randbedingungen für die öffentliche Bauverwaltung.....	109
8.1.2	Methodische und technische Möglichkeiten der IT	112
8.1.3	Konzept für eine IT-Architektur zur digitalen Langzeitnutzbarkeit.....	116
9	Resümee und Ausblick.....	121
9.1	Resümee	121
9.2	Ausblick auf weiteren Untersuchungsbedarf.....	121
9.2.1	Langfristiges Datenmanagement.....	121
9.2.2	Formatfrage	122
9.2.3	Modellierung	122
9.2.4	Datenanalyse (Data Science).....	123
9.2.5	Brückenbauwerke	123
10	Literaturverzeichnis.....	125
11	Abkürzungsverzeichnis.....	129
12	Anlage 1 – Besprechungs- und Teilnahmetermine.....	135

1 Einleitung

1.1 Kurzreferat

Die Studie widmet sich dem Management von digitalen Informationen über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken. Die umfassende Verfügbarkeit digitaler Informationen bildet die Grundlage für ein nachhaltiges, wirtschaftliches und rechtskonformes Planen, Bauen, Betreiben, Umbauen, Revitalisieren und Rückbauen. Für den langfristigen Umgang mit digitalen Datenbeständen, der sich aus den langen Lebenszyklen von Bauwerken ergibt, existieren jedoch kaum Konzepte, die den spezifischen Belangen des deutschen Bauwesens gerecht werden. Es ist unklar, wie sich die schnelle Überalterung der IT, die ausgeprägte Heterogenität der Anwendungen und Formate sowie die Verteiltheit der Zuständigkeiten und Funktionen auf Anwenderebene beherrschen lassen. In einer besonderen Verantwortung stehen öffentliche Bauverwaltungen, da sie nicht nur eine Vielzahl von Bauwerken mit hohem Wert langfristig zu managen haben, sondern bereits über wertvolle digitale Datenbestände verfügen und darüber hinaus das Potenzial besitzen, dringend erforderliche IT-Standards zu setzen. Die Studie zeigt auf, mit welchen technischen und organisatorischen Maßnahmen die Praxis den genannten Herausforderungen begegnen kann. Da sich die Ausgangssituation für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement methodisch und technisch als schwierig erweist, enthält die Studie Vorschläge zur Verbesserung der Integration von Produkt- und Prozessdaten. Als Basis für eine Entwicklung von technischen und organisatorischen Lösungen klärt die Studie die für eine öffentliche Bauverwaltung spezifischen Vorgaben und Randbedingungen und durchleuchtet den aktuellen Stand der Technik, Forschung und Standardisierung aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit. Die Studie analysiert vertieft die Kernaspekte Datenmanagement und Erhaltungsmethoden einschließlich der Formatfrage. Als Ergebnis liefert die Studie eine Reihe von technischen und organisatorischen Vorschlägen sowie zusammenfassend ein Konzept für eine IT-Architektur, die die wesentlichen Komponenten für eine digitale Langzeitnutzbarkeit enthält. Die Ergebnisse bieten eine Grundlage für eine amtspezifische Ausgestaltung und eine Implementierung sowie für eine strukturierte Diskussion des Themas digitale Langzeitnutzbarkeit im Kontext von Building Information Modeling (BIM).

Zur Illustration des schnellen technischen Wandels zeigt Abb. 1 lauffähige historische Großrechner der Firmen Sun Microsystems und Control Data Corporation (CDC) mit denen alte Datenträger eingelesen und Erhaltungsmethoden validiert und verifiziert werden können. Die Universität der Bundeswehr München betreibt in Zusammenarbeit mit dem Computermuseum München¹ der Gesellschaft für historische Rechenanlagen e. V. die *datArena*² als Ausstellungs-, Begegnungs- und Forschungszentrum für die digitale Langzeitnutzung.



Abb. 1: Lauffähige historische Großrechner in der datArena der UniBwM

¹ <http://www.computermuseum-muenchen.de>

² <https://www.unibw.de/inf2/Forschung/Forschungsthemen/datArena>

1.2 Inhalt der Studie

Die Studie umfasst im Wesentlichen folgende Forschungsabschnitte:

- Verbesserung der Integration von Produkt- und Prozessdaten (Voraussetzung für ein erfolgreiches lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement)
- Anforderungen an die lebenszyklusbegleitende Nutzung digitaler Informationen (Bewertungsbasis für technische und organisatorische Lösungen)
- Konzepte zur Technik der digitalen Langzeitnutzbarkeit (IT-Architektur)
- Konzepte zur Organisation der digitalen Langzeitnutzbarkeit.

1.3 Vorbemerkungen zur Studie

Im Rahmen der BBSR-Projektetage Bauforschung zur Forschungsinitiative Zukunft Bau im November 2015 wurden folgende Anmerkungen zur Studie kommuniziert:

- Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Langzeitnutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen. Die Vertiefung des Themas Modellintegration (Daten und Prozesse) einschließlich Nebenläufigkeit (parallele Projektbearbeitung) bleibt anderen Studien und Projekten vorbehalten, vgl. z. B. Mefisto³, ForBAU Virtuelle Baustelle⁴, buildingSMART Projekt Multimodellcontainer (MMC)⁵.
- Die Langzeitnutzbarkeit von CAD-Daten und Bauwerksinformationen im Hochbau sollen den Schwerpunkt der Untersuchungen bilden.
- Die Studie soll sich nach den Rahmenbedingungen der öffentlichen Bauverwaltungen richten, d. h. es kann keine idealisierte Ausgangssituation zugrunde gelegt werden und die formalen Vorgaben sind zu berücksichtigen.
- Zur Begrifflichkeit Langzeitarchivierung (LZA) vs. Langzeitnutzbarkeit (LZN):
LZA: Digitale Objekte bleiben ab einem bestimmten Zeitpunkt inhaltlich unverändert.
LZN: Digitale Objekte können in ihrem gesamten Lebenszyklus inhaltlichen Modifikationen unterliegen.
Diese Unterscheidung berücksichtigt auch den Übergang von herkömmlichen Plänen zu Modellen, die einer kontinuierlichen Fortschreibung unterliegen. Eine genauere Erklärung der Begriffe folgt im Bericht.
- Als Leitstandard für die LZN soll das ISO-Referenzmodell OAIS dienen:
ISO 14721 – Space data and information transfer systems – Open archival information system – Reference model (OAIS). Dieser Standard ist auf dem Gebiet der digitalen LZA und LZN etabliert.

1.4 Studienverlauf

Der Studienverlauf war gekennzeichnet durch einen intensiven Informationsaustausch mit den Projektpartnern, der CAD-Stelle Bayern und der Fa. novaCapta. Die CAD-Stelle gab einen umfassenden Einblick in die Arbeit einer öffentlichen Bauverwaltung und informierte über Verwaltungsvorgänge mit Landes- und Bundesbezug und über die vorhandene IT-Landschaft in der Verwaltung und bei den externen Partnern. Außerdem konnte ein Einblick über das für die Langzeitnutzbarkeit relevante Datenmanagement und über Fragestellungen, mit denen die Verwaltung dabei konfrontiert ist, gewonnen werden. Die CAD-Stelle Bayern stellte Konzepte vor, wie man sich diesen Herausforderungen stellen möchte, wobei einerseits der Umgang mit sehr

³ <http://www.mefisto-bau.de>

⁴ <http://www.forbau.de>

⁵ <http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=351>

großen digitalen Altbeständen und andererseits mit neuen modellbasierten und integrierten Methoden (BIM) zu berücksichtigen ist.

Um einen Überblick über das Datenmanagement und den langfristigen Umgang mit digitalen Plänen in anderen öffentlichen Bauverwaltungen zu gewinnen, stellte die CAD-Stelle Bayern den Kontakt mit anderen Einrichtungen her. Im April 2016 fand eine Expertenrunde speziell zum Thema digitale Langzeitnutzbarkeit an der UniBwM statt. Vertreten waren das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), der Landesbetrieb LBB Rheinland-Pfalz, der Landesbetrieb Bau und Immobilien Hessen (LBIH) und die Landeshauptstadt München. Schriftliche Beiträge lieferten der Brandenburgische Landesbetrieb für Liegenschaften und Bauen (BLB) und das Sächsische Staatsministerium der Finanzen, Referat Bau- und Liegenschaftspolitik. Zusammenfassend ist hierzu festzustellen, dass sich zwar alle Verwaltungen um ein verbessertes Datenmanagement bemühen und sogar teilweise Prozessmodelle erstellten, aber das Problem der digitalen Langzeitnutzbarkeit noch nicht näher untersuchten. Die Besprechungsthemen betrafen eher allgemeine IT-bezogene Aspekte, sodass die Ergebnisse dieser Expertenrunde im weiteren Verlauf der Studie in das Arbeitspaket zur IT-Architektur einfließen.

Ursprünglich war der Schwerpunkt dieser Studie auf den Hochbau festgelegt. Im Verlauf der Studie wurde der Straßen- und Brückenbau mit einbezogen, erstens weil durch die OBB (Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr) ein Pilotprojekt zur digitalen Langzeitspeicherung in der Straßenbauverwaltung beauftragt war und zweitens, weil sich Überschneidungen mit dem Hochbau herausstellten, insbesondere was die Handhabung großer Planbestände und das zugehörige Datenmanagement anbelangt. Dies führte zu einem engen Informationsaustausch mit der Autobahndirektion Nordbayern, u. a. mit dem Ziel, zu erkunden, inwieweit ein langfristiges Datenmanagement innerhalb einer Verwaltung vereinheitlicht werden kann. Die Ergebnisse und ein Fazit sind nachfolgend im Bericht festgehalten.

Ein weiteres zusätzliches Thema betrifft geographische Informationen und die entsprechenden Systeme (GIS). Einerseits sind nach Aussage der CAD-Stelle Bayern die Verknüpfung von Geodaten und Bauwerksdaten bzw. GIS und CAD sowie die langfristige Handhabung immer noch unbefriedigend und andererseits beschäftigen sich die Vermessungsverwaltungen der Länder bereits mit dem Thema der Archivierung von geographischen Informationen. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten dokumentiert und bewertet der vorliegende Bericht. Zur Vertiefung des Themas aus baulicher Sicht fand eine Besprechung mit der Landesbaudirektion (Leitstelle Vermessung) an der Autobahndirektion Nordbayern im November 2016 statt.

Virtuelle Projektträume (VPR) können einen wichtigen Baustein in einer Architektur für eine digitale Langzeitnutzbarkeit bilden. Vor allem können sie die Qualität der Daten frühzeitig erhöhen und zu einer Konsolidierung der volatilen Daten aus der Bau- und Planungsphase beitragen. Mit novaCapta (vor der Fusion Smarter Business Solutions) stand ein Projektpartner zur Verfügung, der bauspezifisches Know-how besitzt und als Dienstleister für die bayerische Bauverwaltung im Brückenbau und im Hochbau fungiert. Der betreute VPR beherbergt bereits eine nennenswerte Menge an Projekten und wird auch intensiv für den Datenaustausch mit externen Projektbeteiligten eingesetzt. Somit liegen genügend Erfahrungen vor, um den VPR praxisgerecht in eine Gesamtarchitektur für eine Langzeitnutzbarkeit einzubinden.

Da eine künftige IT-Architektur alle Anforderungen an eine lebenszyklusbegleitende Nutzung digitaler Informationen in der öffentlichen Bauverwaltung erfüllen sollte, ist auch eine Klärung aller formalen Vorgaben für die Bauverwaltung im Bereich der Archivierung und Langzeitspeicherung erforderlich. Diese stellte sich als aufwendiger und komplizierter heraus als ursprüng-

lich angenommen und ließ sich bisher noch nicht vollständig erledigen, da weitere Klärungen auf rechtlicher bzw. ministerieller Ebene nötig sind. Die bisherigen Ergebnisse und ein Fazit enthält dieser Bericht. Des Weiteren waren bereits frühzeitig Unklarheiten bei der Verwendung von Begriffen im Kontext der digitalen Langzeitnutzbarkeit erkennbar, sodass der Bericht eine ausführliche Begriffsklärung liefert.

Die zweite Phase der Studie war vor allem geprägt durch die einsetzende dynamische Entwicklung auf dem Gebiet BIM. Hier werden Weichen gestellt, die für eine digitale Langzeitnutzbarkeit von elementarer Bedeutung sind. Dies betrifft vor allem den Übergang zum neuen ISO-Standard IFC4 und seine Weiterentwicklung Richtung Infrastruktur. Der Bericht berücksichtigt die neuesten Entwicklungen aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit.

Eine Übersicht der vom Studienteam der UniBwM während der Projektlaufzeit initiierten Besprechungen und Teilnahmen an Veranstaltungen zur Thematik BIM enthält Anlage 1.

1.5 Motivation für eine digitale Langzeitnutzung

Die Gründe für ein lebenszyklusbegleitendes Management von Bauwerksinformationen und der damit verbundenen Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen sind vielfältig. Die Notwendigkeit und Potenziale der digitalen Langzeitnutzbarkeit speziell in der öffentlichen Bauverwaltung (ÖBV) listet der folgende Abschnitt auf.

- Die ÖBV als Vertreter des Bauherrn trägt Verantwortung für die Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Gesetzes- und Vorschriftenkonformität und Wirtschaftlichkeit eines großen und für das Gemeinwesen wichtigen Bauwerksbestands. Hierzu zählen auch *Kritische Infrastrukturen*.
- Der Zugriff auf Daten aus dem gesamten Lebenszyklus von Bauwerken verbessert die Auskunftsbarkeit der ÖBV gegenüber Leitung und Parlament.
- Die Erfüllung gesetzlicher und formaler Auflagen erfordert ebenfalls den langfristigen Zugriff auf digitale Daten.
- Nur wenn die digitalen Daten in einer voll nachnutzbaren Form vorliegen, kann baufachliches Wissen bewahrt, für künftige Baumaßnahmen genutzt und durch Techniken auf den Gebieten Statistik, künstliche Intelligenz und Big Data neues Wissen generiert werden. Die breite Verfügbarkeit von Bauwerksinformationen dient der Erhaltung und Steigerung der Kompetenz in der ÖBV.
- Durch virtuelle Bauwerke kann das kulturelle Erbe dauerhaft und umfassend in einem Umfang erhalten werden, wie es aus wirtschaftlichen Gründen physisch nicht möglich ist. Die Archive, die Wissenschaft und die Öffentlichkeit zeigen großes Interesse an Bauwerken aber auch an geografischen Informationen.
- Nur die Verfügbarkeit digitaler Informationen erlaubt die wirtschaftliche Durchführbarkeit von Langfristanalysen zur Qualität von Bauwerken.
- Berechnungsmodelle bzw. deren Parameter, die meist im Zusammenhang mit digitalen Repräsentationen stehen, können nur abgesichert bzw. verbessert werden, sofern sie auch nach langer Zeit noch verfügbar und nachvollziehbar sind.
- Der Rückgriff auf aktuelle und vollständige digitale Bestandsdokumentationen erleichtert die Planung, Simulation und Durchführung von Rettungs- und Notfallmaßnahmen erheblich.
- Schließlich vermeidet eine Sicherstellung der digitalen Langzeitnutzbarkeit den Verlust von Informationen, insbesondere bei den langen Lebenszyklen öffentlicher Bauwerke, und erspart wiederholte und kostspielige Neuerfassungen von Daten. Die ÖBV ist bereits im Besitz umfangreicher und bewahrenswerter digitaler Datenbestände. Der erhöhte Sanierungsbedarf bei Brückenbauwerken und die zunehmende Bedeutung des Bauens im Bestand verstärken die Notwendigkeit, auf verwertbare digitale Informationen zugreifen zu können.

1.6 Allgemeine Herausforderungen bei der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Die langfristige Erhaltung digitaler Informationen ist mit zahlreichen technischen, organisatorischen und rechtlichen Fragestellungen und Herausforderungen verbunden. Die Gesellschaft für Informatik e. V. hat den Erhalt des digitalen Kulturerbes als eine von fünf *Grand Challenges* der Informatik eingestuft. Der folgende Abschnitt liefert einen kompakten Überblick über die Herausforderungen, die auch das öffentliche Bauwesen betreffen.

Technische Hürden

- physischer Verfall der Datenträger
- schnelle Obsoleszenz (Überalterung) der Ablaufumgebungen und der meisten Formate
- Varianten- und Versionsvielfalt bei Daten-, Datei- und Schemaformaten sowie Protokollen
- Wandel der Speichermedien, Kommunikationstechniken und Mensch-Maschine-Interaktion
- unzureichende Standardisierung und proprietäre Formate
- Verteiltheit von Daten und Prozessen
- zunehmende Virtualisierung der Ablaufumgebungen
- ansteigende Komplexität der Formate
- fehlerhafte oder unpräzise technische Spezifikationen
- Verfügbarkeit von Beschreibungen zu Quirks (Verlust an Funktionalität oder Änderungen im Look-and-feel durch Erhaltungsmaßnahmen).

Organisatorische Herausforderungen

- unzureichende Dokumentationen von Datenstrukturen und Prozessen
- ständige Zunahme an digitalen Objekten
- Handhabung der technischen Heterogenität
- Regelung und Institutionalisierung der langfristigen Nutzung
- Bildung von Bewusstsein bezüglich Herausforderungen der Langzeitnutzbarkeit und Wert der Daten.

Rechtliche Fragestellungen

- Softwarenutzungsrechte mit neuen Fragen durch das Cloud-Computing (SaaS – Software as a Service)
- Nachnutzungsberechtigungen bezüglich intellektueller Inhalte
- Auswirkungen von Änderungen in den Gesetzen und Rechtsauffassungen
- Rechte in internationalen (virtuellen) Projekträumen
- langfristiges Management der Rechte und Identitäten von Personen und Organisationen.

1.7 Bauspezifische Herausforderungen für einen lebenszyklusbegleitenden Informationserhalt

Die bau- und verwaltungsspezifischen Herausforderungen betreffen sowohl technische, organisatorische und rechtliche Aspekte und vergrößern die Probleme, die mit dem Erhalt digitaler Informationen verbunden sind. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die erschwerenden fachspezifischen Faktoren.

Technische Hürden

- hohe Heterogenität der Bauwerke im Vergleich zu anderen Industrieprodukten
- Komplexität der Bauwerke und der Wechselwirkungen mit der Umwelt
- Dynamik der Daten durch planungsbegleitendes Bauen, Umnutzungen, Sanierungen, Umbauten
- uneinheitliche, unvollständige oder fehlende Bauwerks- und Prozessmodelle.

Organisatorische Herausforderungen

- Trennung zwischen Planung, Ausführung und Betreiben
- Vielfalt der Gewerke mit zahlreichen Wechselbeziehungen
- projektbezogener Wechsel der Rollen, Akteure und Modelle
- temporäre Arbeitsgemeinschaften (virtuelle Organisationen)
- kleinteilige Strukturen im Bauwesen (kleinste, kleine und mittlere Unternehmen)
- ungeklärte Prozesse des Informationsmanagements über den Lebenszyklus
- arbeitsteilige Zuständigkeiten mit zeitabhängigen Verantwortlichkeiten u. a. durch die Organleihe.

Rechtliche Fragestellungen

- hohe Regulierungsdichte im Bereich Technik und Verwaltung
- ständige Änderungen der technischen Vorschriften
- regionale und organisationsbedingte Regelvarianten (Bund, Länder, Kommunen, Körperschaften)
- kompliziertes Planungs- und Baurecht, kein integriertes Umweltrecht
- Gewährleistungsproblematik
- Standes- und Honorarordnungen
- Schutz von Domänenwissen
- Vergaberecht (für Bau- und IT-Leistungen)
- Haushaltsrecht (für Bau- und IT-Leistungen).

Bezüglich der Bewältigung der genannten Herausforderungen kann als positiv gewertet werden, dass sich weltweit Gedächtnisorganisationen (wie Archive, Bibliotheken und Museen) und technikorientierte Industriezweige außerhalb des Bauwesens bereits intensiv mit der Thematik beschäftigen und erste Lösungen vorweisen können. Da sich die Erkenntnis durchgesetzt hat, dass die Probleme der digitalen Langzeitnutzbarkeit eine einzelne Organisation nicht lösen kann, haben sich sowohl bei den Gedächtnisorganisationen als auch in der Industrie Non-Profit-Organisationen, Konsortien, institutionalisierte Netzwerke u. ä. gebildet.

2 Begriffsklärung zur digitalen Langzeitnutzbarkeit

Mit der Einführung digitaler Unterlagen in den öffentlichen Verwaltungen haben sich auch neue Begriffe gebildet, denen nicht immer ein einheitliches Verständnis zugrunde liegt. Um Unklarheiten im Laufe der weiteren Ausführungen zu vermeiden, enthalten die folgenden Abschnitte Definitionen grundlegender Begriffe, die im Zusammenhang mit der langfristigen Nutzung digitaler Informationen stehen.

2.1 Langfristigkeit und Langzeitigkeit im Kontext digitaler Informationen

Entsprechend dem OAIS-Referenzmodell, das später noch ausführlich erläutert wird, bedeutet langfristig bzw. langzeitig eine Zeitspanne, die lang genug ist, um sich mit den Auswirkungen technologischer Veränderungen, einschließlich Speichermedien und Datenformaten, sowie Änderungen in der Nutzerschaft zu befassen [ISO14721:2012, Kap. 1.1]. Die Originalformulierung lautet:

"*Long term* is long enough to be concerned with the impacts of changing technologies, including support for new media and data formats, or with a changing user community."

Wegen der Besonderheiten der langfristigen Aufbewahrung digitaler Informationen und als Abgrenzung zur Archivierung im informationstechnischen Umfeld, mit der die Auslagerung wenig genutzter Daten aus aktiven IT-Systemen meist auf günstigere Speichermedien gemeint ist, hat sich im deutschsprachigen Raum der Begriff digitale Langzeitarchivierung (LZA) eingebürgert (siehe hierzu z. B. das deutsche Kompetenznetzwerk zur Langzeitarchivierung *nestor*⁶). Der Begriff ist eigentlich mit Redundanz behaftet, da die Archivierung (siehe unten) eine zeitlich unbegrenzte Aufbewahrung umfasst. Im englischen Sprachgebrauch sind die Begriffe *Long-term Archiving*, *Long-term Preservation* und *Digital Preservation* üblich.

2.2 Aufbewahrung, Langzeitspeicherung, Archivierung, Langzeitnutzbarkeit

2.2.1 Aufbewahrung

Bei der Aufbewahrung bleiben die Verantwortung und das Verfügungsrecht bezüglich der Unterlagen bei der zuständigen Verwaltung bzw. Organisation. Die Fristen der Aufbewahrung regeln im Allgemeinen Gesetze, Vorschriften und Richtlinien. Für bestimmte Unterlagen ist eine dauerhafte bzw. längerfristige Aufbewahrung festgelegt. Die Dauerhaftigkeit bezieht sich beim öffentlichen Bauen in der Regel auf die Dauer des Bestandes, des Eigentums oder der Betreuung einer Liegenschaft bzw. eines Bauwerks plus eventueller Zusatzfristen. Aufgrund der langen Lebenszyklen von Liegenschaften und Bauwerken trifft die Längerfristigkeit im Sinne des OAIS-Referenzmodells bereits auf die Aufbewahrungsphase zu.

2.2.2 Langzeitspeicherung

Der Begriff Langzeitspeicherung dient bei digitalen Unterlagen als Abgrenzung zur Archivierung bzw. (digitalen) Langzeitarchivierung. Laut dem Organisationskonzept *elektronische Ver-*

⁶ <http://www.langzeitarchivierung.de>

waltungsarbeit – E-Langzeitspeicherung⁷ beginnt die Langzeitspeicherung mit dem Abschluss der Bearbeitungsphase (zdA – zu den Akten) und endet mit Ablauf der Aufbewahrungsfrist. Langzeitgespeicherte Dokumente dürfen nicht verändert werden. Beim Aufleben eines Vorgangs sind neue Dokumente (Kopien) anzulegen. Nach der Langzeitspeicherung schließt sich eine mehrstufige Aussonderungsphase an, welche in einer Vernichtung oder einer Archivierung der Unterlagen mündet.

2.2.3 Archivierung

Charakteristisch für die Archivierung ist die dauerhafte Sicherung, Nutzbarmachung und wissenschaftliche Verwertung von Unterlagen. Der Zugang ist nach Ablauf bestimmter Fristen grundsätzlich öffentlich. Einschränkungen ergeben sich z. B. durch den Schutz von Geheimnissen oder die begründete Annahme einer Gefährdung von Interessen der Bundesrepublik Deutschland oder deren Länder. Eine weitere Eigenschaft von Archivalien ist deren unveränderbare Aufbewahrung. Die Forderung nach Unveränderbarkeit erfordert jedoch bei digitalen Informationen eine Unterscheidung nach den physischen Medien und den aus Bitsequenzen bestehenden digitalen Objekten einerseits, die beide dem technologischen Wandel unterliegen, und andererseits den durch ihnen repräsentierten Informationen, die möglichst unverändert zu erhalten sind.

Bundes- und Landesgesetze sowie kommunale Satzungen legen in Deutschland die Kernaufgaben der Archivierung fest. Nachfolgend Ausschnitte aus dem Bundesarchivgesetz und einem Landesgesetz:

"Das Archivgut des Bundes ist durch das Bundesarchiv auf Dauer zu sichern, nutzbar zu machen und wissenschaftlich zu verwerten." [BArchG2013, §1]

"Archivierung umfaßt die Aufgabe, das Archivgut zu erfassen, zu übernehmen, auf Dauer zu verwahren und zu sichern, zu erhalten, zu erschließen, nutzbar zu machen und auszuwerten." [BayArchivG1999, Art. 2 Abs. 3]

2.2.4 Zwischenarchivierung und Vorarchivierung

Da sich in bestimmten Fällen eine strikte Trennung zwischen Aufbewahrung bzw. Langzeitspeicherung einerseits und Archivierung andererseits nicht als zweckmäßig erweist, sehen die Archivgesetze und ergänzende Vorschriften Sonderregelungen vor. Als Begriffe für einen zeitlich und organisatorisch abgestuften Übergang finden sich u. a. die Zwischenarchivierung und die Vorarchivierung, die z. B. im Archivgesetz von Nordrhein-Westfalen wie folgt explizit definiert sind:

"Zwischenarchivgut sind Unterlagen, deren Verwahrungs- bzw. Aufbewahrungsfristen noch nicht abgelaufen sind, deren Archivwürdigkeit noch nicht festgestellt wurde und die vom zuständigen Archiv vorläufig übernommen wurden. Das Verfügungsrecht verbleibt bei der abliefernden Stelle." [ArchivG NRW2010, §2 Abs. 4]

"Vorarchivgut sind Unterlagen, die dauerhaft aufzubewahren sind, oder deren Verwahrungs- bzw. Aufbewahrungsfristen noch nicht abgelaufen sind und die als archivwürdig bewertet und übernommen worden sind. Das Verfügungsrecht liegt bei dem zuständigen Archiv. Es gelten die Normen des Archivgesetzes." [ArchivG NRW2010, §2 Abs. 5]

⁷ http://www.verwaltung-innovativ.de/SharedDocs/Publikationen/Organisation/e_langzeitspeicherung.html

Ein abgestuftes Vorgehen ist auch im Bayerischen Archivgesetz vorgesehen ohne die Begriffe Zwischenarchivierung und Vorarchivierung zu verwenden.

"Das zuständige staatliche Archiv kann archivwürdige Unterlagen bereits vor Ablauf besonderer Aufbewahrungsfristen endgültig übernehmen, wenn sie älter als 30 Jahre sind. Die Aufbewahrungsfristen werden in diesem Fall durch die Aufbewahrung im Archiv gewahrt." [BayArchivG1999, Art. 7 Abs. 3]

"Das zuständige staatliche Archiv kann auch Unterlagen übernehmen, deren besondere Aufbewahrungsfristen noch nicht abgelaufen sind und bei denen das Verfügungsrecht den abgebenden Stellen vorbehalten bleibt (Auftragsarchivierung)." [BayArchivG1999, Art. 8 Abs. 1]

2.2.5 Langzeitnutzbarkeit

Der Begriff Langzeitnutzbarkeit soll im Kontext dieser Studie nicht den Einschränkungen unterliegen, die sich aus den Definitionen Langzeitspeicherung und Archivierung ergeben, insbesondere soll eine Änderung (Aktualisierung) an digitalen Unterlagen nicht ausgeschlossen sein. Die Verwendung des Begriffs Langzeitnutzbarkeit soll unterstreichen, dass die langfristige Nutzbarkeit in den Systemen der öffentlichen Bauherren und seiner Vertreter sowie deren Partner im Fokus steht. Die Ordnung der digitalen Unterlagen soll daher vorrangig den langfristigen Belangen des öffentlichen Bauens genügen.

3 OAIS – Open Archival Information System (ISO 14721)

3.1 Einführung

Eine herausragende Stellung auf dem Gebiet der digitalen Langzeitnutzung nimmt das Referenzmodell (OAIS-RM) ein [ISO14721:2012], das vom *Consultative Committee for Space Data Systems* (CCSDS) als Empfehlung (Recommendation) entwickelt wurde. Es dient als Grundlage für zahlreiche Forschungs- und Implementierungsprojekte, neuerdings auch im Bauwesen (vgl. Forschungsprojekt DURAARK⁸), sowie für Standards, die das Referenzmodell für allgemeine und fachspezifische Anwendungen erweitern und verfeinern. Zum besseren Verständnis der eher abstrakten Konzepte enthält der vorliegende Bericht zusätzliche Erläuterungen und Diskussionsbeiträge.

3.2 Inhalt

Überblick

Das OAIS-RM thematisiert auf einer terminologischen und konzeptionellen Ebene organisatorische und technische Aspekte der Langzeitnutzung vorwiegend digitaler Informationen. Ein OAIS ist ein Archiv, das aus einer Organisation von Personen und Systemen besteht, die auch Bestandteil einer größeren Organisation sein kann und die die Verantwortung übernimmt, Informationen zu erhalten und einer *bestimmten Gemeinschaft (Designated Community)* zugänglich zu machen. Zur Verantwortung zählt die Sicherstellung der *unabhängigen Verständlichkeit* der zu erhaltenden Informationen für eine *bestimmte Gemeinschaft*; insbesondere darf keine Unterstützung durch den *Produzenten (Producer)* der Information für die *Konsumenten (Consumer)* nötig sein. Das Adjektiv *offen (open)* steht für einen offenen Entwicklungsprozess und eine freie Verfügbarkeit der Inhalte dieses Standards. Für den Informationserhalt beschreibt das OAIS-RM ein Funktionsmodell und ein Informationsmodell. Auf Basis dieser Modelle stellt der Standard die Erhaltungsmethoden *Migration* (etwas ausführlicher), *Emulation* (weniger ausführlich) und *virtuelle Maschinen* (kursorisch) vor. Darüber hinaus widmet sich der Standard der Interoperabilität von Archiven und stellt verschiedene Modelle der Zusammenarbeit vor.

OAIS-Informationsmodell

Das Informationsmodell adressiert die Kernproblematik der digitalen Langzeiterhaltung, nämlich die dauerhafte Interpretierbarkeit von *Datenobjekten*, bestehend aus reinen Bitsequenzen, sodass sich daraus *Informationen* ergeben, also eine Form von Wissen, das ausgetauscht werden kann.

Eine Schlüsselrolle spielen sogenannte *Repräsentationsinformationen*; erst ihre Anwendung gibt den Bitsequenzen Bedeutung und liefert *Informationsobjekte*. Üblicherweise erfolgt der Interpretationsprozess in mehreren Stufen. Die ersten Schritte umfassen die Erkennung elementarer Strukturen, wie *Bytes*, *Datenwörter* oder kurz *Wörter* (Gruppierungen von *Bytes*) und deren weitere Zusammenfassung zu *Blöcken* für die technische Handhabung, z. B. für deren möglichst schnellen Datentransfer von Peripheriegeräten in den Hauptspeicher. Im Weiteren sind diesen Strukturen elementare Datentypen zuzuordnen, wie Buchstaben, Sonderzeichen oder Ziffern. *Bytes* und *Wörter* können auch nicht druckbare Zeichen repräsentieren, wie Maschinenbefehle oder für eine bestimmte Anwendung speziell codierte Daten, wie Zahlen für eine effizien-

⁸ <http://duraark.eu>

ente Ausführung arithmetischer Operationen. Das Auftreten derartiger Zeichen ist charakteristisch für sogenannte *Binärdateien*. Weitergehende Interpretationen betreffen u. a. das Erkennen einzelner Dateien mit ihren Metadaten, wie Zugriffsrechte oder Erstellungsdatum, sowie ihrer Zusammenhänge mit anderen Dateien, wie eine explizite Verlinkung oder die Zugehörigkeit zu einem gemeinsamen Ordner.

Die bisher aufgeführten Prozesse erledigen im Allgemeinen die Komponenten des Betriebssystems, während die Interpretation von Dateiinhalten oft den Anwendungsprogrammen überlassen wird, die über das nötige Wissen zur Anordnung und Bedeutung von Elementen verfügen, wie es vordefinierte bzw. selbstdefinierte Dateiformate festlegen. Bezüglich des Grades an Semantik sind Dateiformate breit gestreut. So gibt es Formate, die lediglich eine Folge von Behältern definieren, die beliebige Inhaltsdaten aufnehmen können und mit einem Index versehen sind. Andere Formate spezifizieren hingegen den Typ der Inhalte, wie Bild- und Audiodaten in einer bestimmten Codierung. Weitere Formate versuchen, die Bedeutung einzelner Elemente mittels formaler Sprachen vorab so genau wie möglich festzulegen. Solche Formate finden sich vor allem in eng abgegrenzten Anwendungsdomänen, so auch im Bauwesen, z. B. mit IFC (Industry Foundation Classes). Eine andere Möglichkeit der semantischen Anreicherung ist die *Auszeichnung (Markup)* von Formatelementen, so wie es beispielsweise die Multimodellcontainer aus dem Projekt Mefisto vorsehen. Eine weitere wichtige Art von *Repräsentationsinformationen* bilden Verfahren zur Decodierung verschlüsselter und komprimierter Daten. Weitere *Repräsentationsinformationen* können über die technische Interpretation hinaus der inhaltlichen Verständlichkeit dienen, z. B. durch eine Beschreibung der Bedeutung von Symbolen und Farben einer technischen Zeichnung oder von Feldern einer Datenbank.

Repräsentationsinformationen können in unterschiedlichen Ausprägungen auftreten. Als Spezifikation beschreiben sie mehr oder weniger formal die Regeln, nach denen eine bestimmte Bitsequenz zu interpretieren ist, und dienen somit als Implementierungsvorgabe. Als ausführbare Software, auch *Executables* genannt, sind sie direkt in der Lage, die Interpretation und eine Darstellung durchzuführen, sofern die Plattform zur Verfügung steht, für die die Software entwickelt wurde. Dies erfordert u. a., dass die prozessorspezifischen Maschinenbefehle verstanden werden und die angeforderten Softwarebibliotheken und Betriebssystemkomponenten bereitstehen. Ein PDF-Betrachter, wie der Adobe Reader, für ein bestimmtes Betriebssystem verkörpert ein Beispiel von *Repräsentationsinformationen* als *Executable*.

Um die Abhängigkeiten von den einzelnen Plattformen zu vermindern und somit die Portierbarkeit von Software zu erhöhen, kommen Konzepte der *Virtualisierung* zum Einsatz. Eine Ausprägung davon sind *virtuelle Maschinen*, die wohl populärste davon ist die *Java Virtual Machine (JVM)*, die jeweils die maschinenspezifische Abarbeitung des für diese virtuelle Maschine erzeugten *Zwischencodes* übernimmt. Solch ein Code kann eine Anwendung repräsentieren, z. B. einen PDF-Betrachter. Wie die Ausführungen zeigen, werden *Repräsentationsinformationen* selbst durch Datenobjekte repräsentiert, falls sie nicht als physische Objekte vorliegen, z. B. in Form einer auf Papier gedruckten Spezifikation. Dies hat zur Folge, dass deren Interpretierbarkeit ebenfalls durch entsprechende *Repräsentationsinformationen* dauerhaft sicherzustellen ist.

Die *Inhaltsdatenobjekte (Content Data Object – CDO)* und die *Repräsentationsinformationen* bilden die *Inhaltsinformationen (Content Information)* bzw. Inhaltsinformationsobjekte (*Content Information Object*), welche das eigentliche Ziel der Erhaltungsbemühungen eines OAIS darstellen. Für eine zuverlässige und vertrauenswürdige Langzeitarchivierung erachtet das OAIS-RM weitere Informationen für nötig und definiert hierzu fünf zusätzliche Informationsob-

jekte, die unter dem Begriff *Erhaltungsbeschreibungsinformation (Preservation Description Information – PDI)* zusammengefasst sind [ISO14721:2012, Kap. 4.2.1.4.2]:

- 1) *Referenzinformationen (Reference Information)* identifizieren Mechanismen und beschreiben sie optional, um Identifikatoren für Inhaltsinformationen bereitzustellen. Beispiele sind Verzeichnissysteme oder persistente Identifikatoren. Sie erlauben außenstehenden Systemen den eindeutigen Zugriff auf Inhalte.
- 2) *Kontextinformationen (Context Information)* dokumentieren die Beziehungen von *Inhaltsinformationen* zu ihrer Umgebung. Sie dokumentieren auch, warum die Inhalte erzeugt wurden und wie sie mit anderen Inhalten zusammenhängen.
- 3) *Provenienzinformationen (Provenance Information)* beschreiben die Geschichte der *Inhaltsinformationen* und geben somit Auskunft über deren Ursprung und mögliche Änderungen sowie darüber, wer und wann seit der Entstehung die Obhut innehatte.
- 4) *Persistenzinformationen (Fixity Information)* liefern Prüfungen zur Datenintegrität oder Schlüssel zur Validierung bzw. Verifikation, die sicherstellen, dass bestimmte *Inhaltsinformationsobjekte* nicht undokumentiert verändert werden können. Hierzu zählen Prüfsummen oder digitale Signaturen.
- 5) *Informationen zu den Zugriffsrechten (Access Rights Information)* identifizieren die Restriktionen bezüglich des Zugriffs auf *Inhaltsinformationen*, wie Urheberrechte oder Softwarelizenzen. Sie umfassen auch die Spezifikation von Maßnahmen zur Durchsetzung der Rechte, wie Zugriffskontrollen oder digitale Wasserzeichen.

Zusätzlich zu diesen PDI dienen *deskriptive Informationen (Descriptive Information)* dem Konsumenten, potenziell interessante Informationen aufzufinden, zu analysieren und anzufordern.

Zur Handhabung der oben genannten *Inhaltsinformationen* und *Erhaltungsbeschreibungsinformationen (PDI)* führt das OAIS-RM das Konzept des *Informationspaketes (Information Package)* ein, das beide in einem logischen Container zusammenfasst. *Paketbeschreibungen (Package Description)* charakterisieren die Inhalte im Sinne *deskriptiver Informationen*. *Verpackungsinformationen (Packaging Information)* geben Auskunft darüber, wie die Komponenten eines Paketes auf spezifischen Medien eine identifizierbare Einheit bilden. Solche Informationen können z. B. aus dem Namen einer ZIP-Datei sowie einer Beschreibung der Bedeutung und Codierung der darin enthaltenen Dateien bestehen. Das OAIS-RM differenziert drei Typen von *Informationspaketen*:

- 1) *Informationspakete zur Einlieferung (Submission Information Package – SIP)*
- 2) *Informationspakete für die Archivierung (Archival Information Package – AIP)*
- 3) *Informationspakete für die Auslieferung (Dissemination Information Package – DIP)*.

Ein Grund für diese Differenzierung liegt u. a. darin, dass einerseits SIPs normalerweise durch ein OAIS für eine Archivierung zu ergänzen sind, und dass andererseits im Allgemeinen nicht alle Komponenten eines AIP als SIP an die Konsumenten ausgeliefert werden sollen, da sie z. B. nicht von Interesse sind oder die vollständigen Rechte fehlen. Darüber hinaus beschreibt das OAIS-RM die Zusammenfassung von AIPs zu Sammlungen (*Archival Information Collection – AIC*) sowie die hierarchische Strukturierung von AICs. Abb. 2 skizziert die Komponenten eines *Archivinformationspakets (Archival Information Package – AIP)*

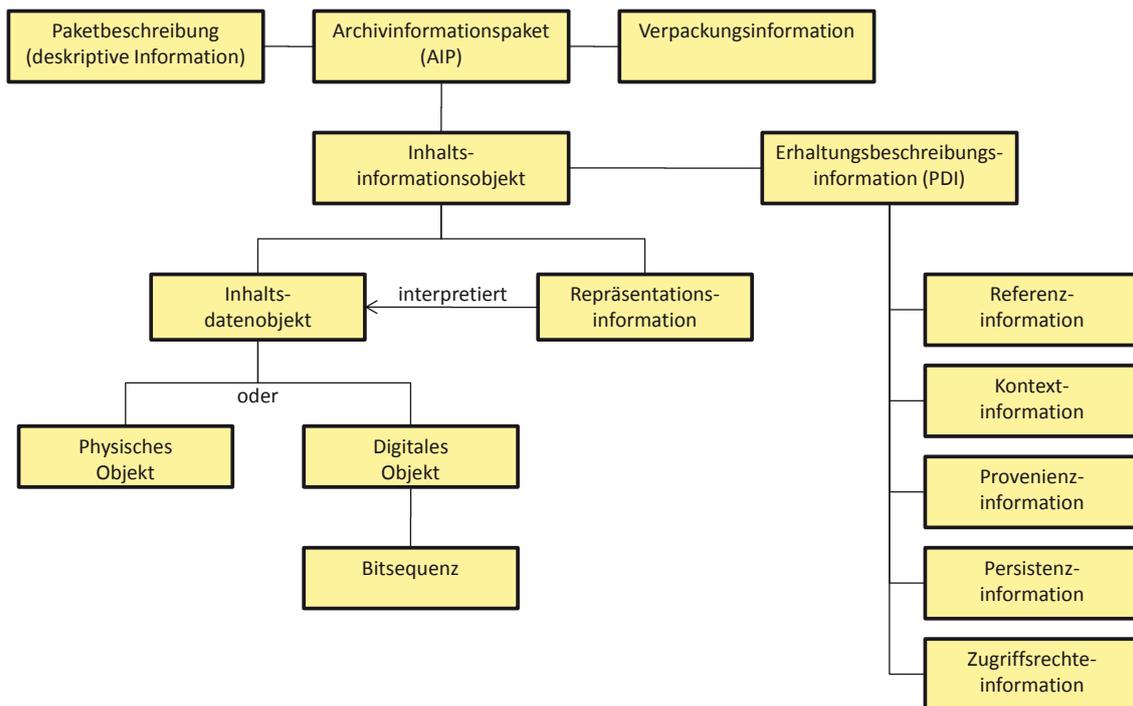


Abb. 2: Aufbau eines OAIS-Archivinformationspakets (Archival Information Package – AIP)

OAIS-Funktionsmodell

Das *Funktionsmodell* des OAIS-RM umfasst sechs *funktionale Einheiten*:

- 1) Die *Aufnahme (Ingest)* liefert die Funktionen und Dienste für die Annahme von SIPs einschließlich Qualitätskontrolle, für deren Transformation in AIPs und für die Administrierbarkeit im Archiv einschließlich der Erstellung *deskriptiver Informationen*.
- 2) Die *Archivablage (Archival Storage)* beinhaltet die Funktionen und Dienste für die dauerhafte Speicherung und Pflege von AIPs sowie für den Zugriff auf AIPs.
- 3) Das *Datenmanagement (Data Management)* bietet die Funktionen und Dienste zur Erstellung, zur Pflege und zum Zugriff bezüglich *deskriptiver Informationen* und administrativer Daten.
- 4) Die *Administration (Administration)* stellt die Funktionen und Dienste für den gesamten Betrieb des Archivs bereit, wie das Treffen von Vereinbarungen mit Informationsproduzenten, die Überwachung der Einhaltung von Standards bei der *Einlieferung*, das Konfigurationsmanagement von Hard- und Software.
- 5) Die *Erhaltungsplanung (Preservation Planning)* umfasst die Funktionen und Dienste für die Beobachtung des Umfelds eines OAIS und für die Bereitstellung von Empfehlungen und Erhaltungsplänen, um sicherzustellen, dass die anvertrauten Informationen langfristig für eine bestimmte Zielgruppe zugreifbar und verständlich bleiben – auch wenn die ursprünglichen Rechnerumgebungen obsolet werden. Hierzu zählt die sorgfältige Planung von *Migrationen*.
- 6) Der *Zugriff (Access)* liefert die Funktionen und Dienste, die den Konsumenten darin unterstützen, die Existenz, die Beschreibung, den Ort und die Verfügbarkeit der Information im OAIS zu bestimmen und die dem Konsumenten erlauben, Informationen anzufragen und entgegenzunehmen.

Ergänzend zu diesen sechs Funktionen kommen noch die *allgemeinen Dienste* (*Common Services*) hinzu, wie sie beispielsweise moderne Betriebssysteme, Netzwerkdienste und Sicherheitsdienste bereitstellen. Abb. 3 skizziert das Zusammenspiel der sechs *funktionalen Einheiten* mit den *Informationspaketen*, *deskriptiven Informationen* und Rollen *Produzent* und *Konsument*.

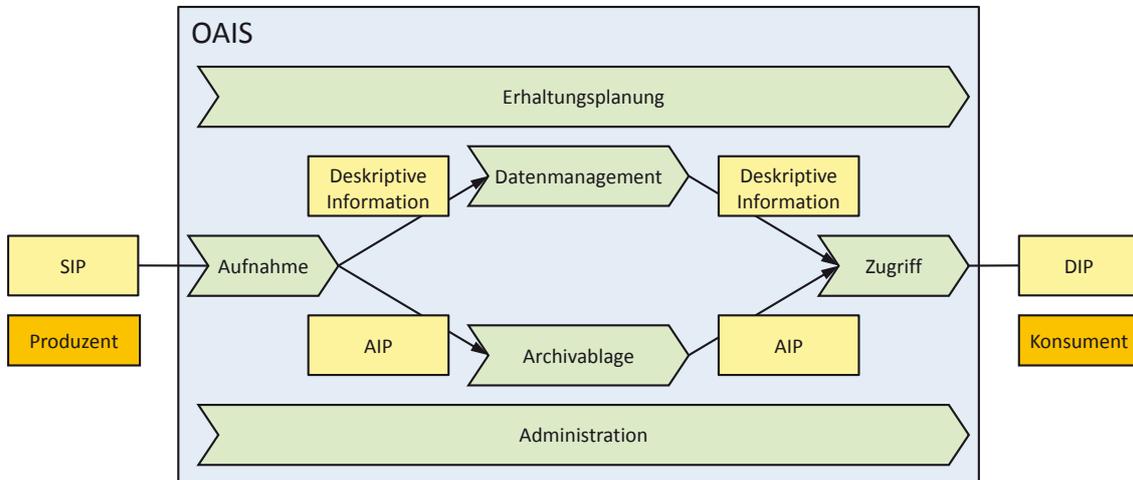


Abb. 3: Die sechs funktionalen Einheiten eines OAIS

3.3 Erhaltungsmethoden

Ein eigenes Kapitel des OAIS-Standards widmet sich den verschiedenen Gesichtspunkten der Erhaltung und stellt dazu im Kontext des *Funktionsmodells* und des *Informationsmodells* verschiedene Methoden mehr oder weniger ausführlich vor [ISO14721:2012, Kap. 5].

3.3.1 Erhaltungsmethode Migration

Allgemein kann man unter *Migration* die Übertragung digitaler Objekte von einer Hard- bzw. Softwarekonfiguration auf eine meist neuere Konfiguration verstehen, um die Integrität und Interpretierbarkeit der Daten sicherzustellen oder zu verbessern. Das OAIS-RM spricht von *digitaler Migration* und meint damit den Transfer digitaler Informationen innerhalb eines OAIS. Der Fokus liegt dabei auf der vollständigen Bewahrung derjenigen *Inhaltsinformationen*, die für den Erhalt bestimmt sind. Darüber hinaus ersetzt eine neue Implementierung die alte, die Kontrolle und Verantwortlichkeit für alle Aspekte eines Transfers bleiben innerhalb eines OAIS. Das OAIS-RM unterscheidet vier grundlegende Arten der *Migration*, nämlich die *Auffrischung* (*Refreshment*), *Replikation* (*Replication*), *Neuverpackung* (*Repackaging*) und *Transformation* [ISO14721:2012, Kap. 5.1.3].

- 1) Werden Daten z. B. aufgrund der begrenzten Lebensdauer von Datenträgern auf einen neuen aber gleichartigen Datenträger kopiert, nennt man diesen Vorgang *Auffrischung* (*Refreshment*).
- 2) Droht die technische Überalterung eines Datenträgers, z. B. weil schnellere und billigere Produkte mit deutlich höherer Kapazität erhältlich oder die benötigten Geräte nicht mehr verfügbar sind, müssen die Daten auf aktuellere Datenträger repliziert werden, daher der Name *Replikation* (*Replication*). Bei diesem Vorgang bleiben die Bitsequenzen der *Verpackungsinformation*, *Inhaltsinformation* und *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI) erhalten. Im Gegensatz zur *Auffrischung* kann eine Änderung in der Abbildung von AIP-Identifikatoren auf Speicherorte in der funktionalen Einheit *Archivablage* nötig sein.

- 3) Muss zudem die Paketstruktur für die zu archivierenden Daten geändert werden, z. B. weil verwendete Archivierungsformate, wie TAR oder ZIP, oder Dateisysteme zu veralten drohen, nennt man diesen Prozess *Neuverpackung (Repackaging)*. Dabei ändern sich die Bitsequenzen der *Verpackungsinformationen*.
- 4) Die tiefgreifendste Form der *Migration*, die *Transformation (Transformation)*, betrifft schließlich die Bitsequenzen der *Inhaltsinformationen* und der PDI selbst. Zu beachten ist hierbei, dass die *Inhaltsinformationen* auch die *Repräsentationsinformationen* umfassen. Diese Art der *Migration* kann nötig werden, wenn für bestimmte Formate die erforderliche Software nicht mehr lauffähig zur Verfügung steht und eine *Emulation* ausscheidet.

3.3.2 Diskussion der Migration

Der große Vorteil der *Migration* liegt in der Nutzbarkeit der digitalen Objekte in aktuellen Umgebungen, welche normalerweise zuverlässiger, kostengünstiger, funktionell umfangreicher sind und jeweils gebräuchliche Bedienkonzepte bieten. Diese Methode erfordert jedoch, jedes einzelne Objekt zu behandeln. Problematisch ist dieses Vorgehen beim *Neuverpacken* und vor allem bei der *Transformation*, weil ein deutlich erhöhtes Risiko des Informationsverlustes besteht, die Automatisierbarkeit an Grenzen stößt und die Qualitätssicherung hohen Aufwand erfordert, insbesondere bei komplexen Formaten und Sammlungen von heterogenen digitalen Objekten, wie im Bauwesen üblich. Darüber hinaus ist dieser Ansatz schwer zu generalisieren, da u. a. die Adäquatheit von *Transformationen* bezüglich eines Informationserhalts im Einzelfall zu bewerten ist. Weitergehende Ausführungen finden sich z. B. in [Borg2003, Kap. 3].

3.3.3 Erhaltungsmethode Emulation

Eine weitere grundlegende Möglichkeit des Informationserhalts bietet die *Emulation*. Der Begriff stammt aus dem Lateinischen und bedeutet Nachahmung bzw. Nachbildung. Dieser Ansatz gestattet in hohem Maße die originalgetreue Wiedergabe digitaler Objekte, indem sie die Ausführungsumgebungen, die zum Zeitpunkt der Erstellung der archivierten Objekte zum Abspielen benutzt wurden, auf aktuellen Systemen nachbildet. Das OAIS-RM diskutiert die *Emulation* im Kontext der Erhaltung der Zugriffs- und Nutzungsdienste [ISO14721:2012, Kap. 5.2]. Die *Emulation* bietet eine Option, falls die ursprüngliche Zugriffs- und Nutzungssoftware erhalten werden soll oder eine Neu- bzw. Alternativimplementierung ausscheidet, z. B. aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Quellcodes oder von sonstigen von der Anwendung unabhängigen *Repräsentationsinformationen*. Bei diesem Erhaltungsansatz sitzen die *Repräsentationsinformationen* mehr oder weniger umfangreich in den *Emulatoren*. Ein *Emulator*, der z. B. ein Dateisystem nachahmt, besitzt die Information, wie man in Bitsequenzen einzelne Dateien und deren Metadaten sowie die logischen Folgen der *Bytes* oder *Blöcke* erkennt. Auch bei dieser Erhaltungsmethode lassen sich drei grundsätzliche Arten unterscheiden, nämlich auf der Ebene der Anwendungssoftware, der Betriebssysteme und schließlich der Hardware. Die *Emulation* genau einer Anwendung ermöglicht die Wiedergabe nur der jeweils unterstützten (wenigen) Datenformate. Die *Emulation* der Hardware hingegen ermöglicht die Wiedergabe aller archivierten Objekte, die mit dieser Hardware dargestellt werden konnten, vorausgesetzt die jeweiligen Betriebssysteme und die dazugehörigen Anwendungen sind ebenfalls archiviert worden.

3.3.4 Diskussion der Emulation

Der große Vorteil der *Emulation* liegt neben der hohen Originaltreue (Look and Feel) darin, dass die ursprünglichen Daten nicht mehr transformiert werden müssen, d. h. die Risiken eines Informationsverlusts durch fortwährende *Migrationen* sind ausgeschlossen. Dagegen ist der Aufwand für die Entwicklung und wiederholte Portierung eines *Emulators* im Allgemeinen

vergleichsweise sehr hoch. Soll ein *Emulator* entwickelt werden, ist eine genaue Spezifikation der nachzuahmenden Hard- bzw. Software zwingend erforderlich. Zusätzlich verlangt die *Emulation* von der Hardware eine hohe Performanz, die um einiges höher als bei der nachzubildenden Hardware sein muss. Nur durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung immer leistungsfähigerer Hardware bleibt eine *Emulation* in der Zukunft realisierbar. Damit sich dieser Ansatz auch lohnt, bedarf es eines bestimmten Umfangs und Wertes an archivierten Beständen. Um die Portierbarkeit von *Emulatoren* zu erleichtern, wurden Projekte wie KEEP (Keeping Emulation Environments Portable)⁹ initiiert und gefördert. Auch bei der *Emulation* bestehen Risiken des Informationsverlustes, da eine korrekte und vollständige Nachbildung in der Regel nicht erreichbar ist. Darüber hinaus besteht die Gefahr eines *schleichenden* Informationsverlustes, wenn die Emulatoren aufeinander aufbauen (*Emulationsketten*). Um die genannten Nachteile zu vermeiden, wurden Alternativen entwickelt, wie der *Universelle Virtuelle Computer* (UVC). Eine ausführliche deutschsprachige Darstellung und Diskussion zur *Emulation* und zu alternativen Ansätzen enthält [Borg2003, Kap. 4]. Aktuelle und vertiefte technische Informationen zur Virtualisierung und speziell zum UVC liefert eine Dissertation [Kreb2012].

⁹ <http://www.keep-project.eu> (zur Zeit nicht aufrufbar)

4 Auswertung von Studien und Projekten

Dieses Kapitel enthält eine Auswertung von Studien und Projekten, die sich ausführlich mit der Langzeitnutzbarkeit von CAD-Modellen auseinandersetzen. Ein Exkurs in die Archivierung von Geodaten in Deutschland schließt dieses Kapitel ab.

4.1 Preserving CAD – DPC Technology Watch Report

Dieser 43-seitige Technologiebericht aus dem Jahr 2013 der DPC (Digital Preservation Coalition) setzt sich speziell mit dem langfristigen Erhalt von CAD-Modellen auseinander [Ball2013]. Die im Jahr 2002 im Vereinigten Königreich gegründete, gemeinnützige Organisation hat sich zum Ziel gesetzt, das digitale Gedächtnis zu erhalten, indem es die nötige Aufmerksamkeit für die damit verbundenen Herausforderungen schafft, den Wissensaustausch auf diesem Gebiet fördert und technische und organisatorische Hilfestellung bietet, was sich u. a. in inhaltlich hochwertigen Berichten zu verschiedenen Themen der digitalen Langzeitarchivierung widerspiegelt. Der genannte DPC-Bericht richtet sich in erster Linie an Verantwortliche, die CAD-Modelle archivieren wollen oder in einem Repositorium halten, aber auch an Ersteller solcher Modelle, die eine Erleichterung der nachfolgenden Archivierung beabsichtigen. Die folgende Zusammenfassung dient einer Vertiefung der Problemdarstellung sowie einer Analyse zur Anwendbarkeit der Erkenntnisse und Empfehlungen im Bauwesen. Die DPC-Ausführungen zum Projekt FACADE des MIT (Massachusetts Institute of Technology) zur Archivierung von CAD-Modellen wird übersprungen, da es im vorliegenden Bericht separat ausführlich behandelt wird, ebenso der Abschnitt zur Archäologie, da auch andere Berichtsteile die dortigen Themen abdecken.

4.1.1 Historische Entwicklung

Einleitend liefert der DPC-Bericht einen historischen Abriss, der dem Verständnis der spezifischen Herausforderungen bei der Archivierung von CAD-Modellen dient. Charakteristisch für CAD-Systeme sind der hohe Preis und die Komplexität der Software sowie ihre komplizierten, geschlossenen und unvollständigen Dateiformate, was eine Erhaltung der digitalen Informationen erschwert.

Die historische Betrachtung beginnt mit den Anfängen der Entwicklung vor über 50 Jahren, die u. a. durch die Erstellung firmeninterner Systeme gekennzeichnet war. Die frühe Verfügbarkeit elektronischer Steuerungen von Werkzeugmaschinen (CNC – Computerized Numerical Control) und die Notwendigkeit, Entwürfe zu überprüfen und Fehlinterpretationen zu vermeiden, förderten den Übergang von 2D- zu 3D-Modellen. Die beschränkten Modellierungsmöglichkeiten der ursprünglichen 3D-Drahtmodelle führten nach längerer Entwicklung zum Gebrauch von NURBS (Non-uniform rational Bézier Splines) für die Gestaltung von Freiformbegrenzungsflächen von Körpern. Bei der Modellierung von Körpern mit Begrenzungsflächen muss darauf geachtet werden, dass die begrenzenden Flächen ein eindeutiges Objekt bilden. Das Begrenzungsflächenmodell (B-Rep – Boundary Representation) stellt sicher, dass die umgebenden Flächen tatsächlich eine geschlossene Hülle bilden. Das zweite gebräuchliche Verfahren zur 3D-Modellierung, die konstruktive Festkörpergeometrie (CSG – Constructive Solid Geometry), basiert hingegen auf Grundkörpern, mit denen mittels Boole'scher Operationen komplexere Körper erzeugen werden können.

Eine weitere Entwicklungsstufe der CAD-Systeme betrifft die Aufzeichnung der Konstruktionsgeschichte. Damit kann der Konstrukteur seinen Entwurf zurücksetzen bzw. revidieren. Dar-

über hinaus lässt sich der Konstruktionsprozess durch weitere Personen nachvollziehen. Eine Leistungssteigerung der CAD-Systeme brachte die parametrische Modellierung, mit der ein Entwurf durch die Einführung von Variablen und Randbedingungen leichter an neue Anforderungen angepasst werden kann. Eine Fortentwicklung hierzu stellt die Methode Feature-based Modelling dar, bei der die Bedeutung (Semantik) einzelner Entwurfselemente und ihrer Gestaltung dem System bekannt sind, z. B. dass der Radius einer Ausrundung mit den Abmessungen eines Fräswerkzeuges korrespondiert. An dieser Stelle weist der Bericht darauf hin, dass die fortgeschrittenen Modellierungstechniken, wie Bauteilkataloge, Parametrisierung und eingebaute Konstruktionsintelligenz, notwendigerweise auf die jeweiligen Fachdomänen, wie Maschinenbau oder Bauwesen, zugeschnitten sind. Diese Modellierungstechniken bieten weit mehr Informationen als durch die endgültige Geometrie ersichtlich ist, was sich als besonders nützlich erweist, wenn Produkte oder Bauwerke unerwartete Eigenschaften aufweisen, wenn vorhandene Entwürfe an neue Anforderungen angepasst oder Entwurfselemente wiederverwendet werden sollen. Aktuelle Weiterentwicklungen auf dem Gebiet CAD betreffen nicht so sehr die geometrische Modellierung, sondern die Integration von Daten aus dem gesamten Produktlebenszyklus, wofür PLM-Systeme (Product Lifecycle Management) als Mittel der Integration vermarktet werden.

Der Bericht erwähnt auch die Integrationsbemühungen im Bauwesen, die unter dem Begriff BIM (Building Information Modeling) laufen. Dieser Ansatz versucht, die Informationen über ein *verbindliches* Modell zu integrieren. Solche Systeme werfen jedoch für die Archivierung zusätzliche Fragen auf, die sich insbesondere aus der Kollaboration und der Verteilung der Fachmodelle sowie den entsprechenden Zugriffsmechanismen ergeben.

Der Report zeigt auch Anwendungen von CAD-Systemen außerhalb der üblichen Produkt- bzw. Bauwerksmodellierung, die wiederum zu neuen Systemfunktionen führen. Hierzu zählt die Nutzung für Animations- und Simulationszwecke, wofür verschiedene Detaillierungsgrade (LOD – Level of Detail) benötigt werden, was eine algorithmische Ableitung vereinfachter Modelle erfordert. Eine zusätzliche Anwendung nennt sich prozedurales Modellieren, wobei Algorithmen, die wiederholte Editierfunktionen ausführen, komplexe Geometrien und virtuelle Welten, z. B. Stadtlandschaften, generieren können. Ein weiteres Anwendungsfeld besteht in der Erzeugung von CAD-Modellen aus der maschinellen Erfassung von Koordinaten, beispielsweise zum Zwecke der Verschleißkontrolle oder der Nachkonstruktion (Reverse Engineering). Schließlich hebt der Bericht den extensiven Gebrauch von Layern in der Archäologie und im Bauwesen hervor, welcher im Bauwesen wegen der engen Einbindung in die Arbeitsflüsse sogar zu einer Standardisierung geführt hat (ISO 13567 und NCS – United States National CAD Standard 2011). Auf die Notwendigkeit einer Dokumentation der Layer-Konventionen für die Archivierung wird ausdrücklich hingewiesen.

Der historische Abriss endet mit einer Begründung der Wichtigkeit, CAD-Modelle zu bewahren. Ins Feld geführt werden der unwiederbringliche Verlust von Information, wenn die physischen Artefakte nicht mehr existieren, sowie rechtliche und wirtschaftliche Gründe. Die Ausführungen hierzu weisen darauf hin, dass die Begründungen von Entwürfen, und somit die entsprechende Dokumentation, die gleiche Wichtigkeit wie das fertige Produktmodell besitzen können.

4.1.2 Problemstellungen

Ein eigenes Kapitel widmet sich den technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen der digitalen Erhaltung. Dazu gehört eine Betrachtung des Marktumfeldes für CAD-Systeme, in dem

ein intensiver Wettbewerb herrscht, und das wichtige Auswirkungen auf die Langzeiterhaltung hat. Seitens der Anbieter besteht kein Interesse, leistungsfähige Exportfunktionen bereitzustellen, da diese eine *Migration* zu Konkurrenzprodukten "gefährlich" erleichtern bzw. den Betrieb mehrerer unterschiedlicher Systeme erheblich vereinfachen würde. Kein Interesse besteht auch an der Offenlegung von Details der proprietären Dateiformatspezifikationen, da dies den Konkurrenten die Entwicklung hochwertiger Importfunktionen ermöglichen würde. Auch wenn die Spezifikationen vorliegen, bestehen Zweifel, ob sich damit die Modelle in einem anderen CAD-System exakt reproduzieren lassen, da die Formate dazu tendieren, eher als Anweisung zu dienen, wie ein Modell in einem spezifischen System aufzubauen ist. Die Modellierungskerne und die eingebaute Logik der Systeme haben einen starken Einfluss auf die Interpretation, was selbst bei aufeinanderfolgenden Versionswechseln innerhalb derselben Software zu Problemen führen kann. Darüber hinaus verschärfen die kurzen Entwicklungszyklen der Softwaresysteme mit der damit verbundenen frühzeitigen Obsoleszenz der Formate das Problem der schlechten Interoperabilität zwischen den Systemen und Versionen. Außerdem wird festgestellt, dass befristete Lizenzen die Bewahrung der Software und die zukünftige Ausführung auf emulierten Plattformen verhindern. Sollte eine *Emulation* möglich sein, bleiben Zweifel, ob die Nutzung in einer Produktionsumgebung aufgrund fortgeschrittener Arbeitsmethoden und CAD-Systeme möglich sein wird.

Als weiteres Problemfeld nennt der DPC-Bericht die Interoperabilität mit aktuellen und künftigen Systemen. Zu den wesentlichen Verkaufsargumenten für CAD-Systeme zählen die Nachnutzung und Integration der Modelle in spezialisierte Systeme wie FEM-Systeme (Finite-Element-Methode), CAM-Systeme (Computer Aided Manufacturing) oder GIS (Geographische Informationssysteme). Falls die einzelnen Systeme von verschiedenen Anbietern stammen, werden durch die Interoperabilität eine bestimmte Offenheit der Formate sowie eine Unterstützung mehrerer Versionen erwartet. Falls die einzelnen Komponenten jedoch aus einer Hand stammen, kann man keine breitere Unterstützung der Dateiformate erwarten, sondern man muss damit rechnen, dass die Versionen gemeinsam eingefroren werden, um eine umfassende Aktualisierung zu fördern, was aus Sicht der Erhaltung als nachteilig eingestuft wird.

Ein weiteres Themenfeld betrifft die Verteilung von CAD-Modellen auf mehrere Dateien, welche Vorteile bietet wie eine Beschränkung der Dateigröße, eine leichtere Transferierbarkeit, eine verteilte Bearbeitbarkeit, die Vermeidung von Redundanzen bei mehrfacher Verwendung von Teilmodellen sowie eine flexiblere Administrierbarkeit bei der Archivierung, z. B. wenn die Teilmodelle mit unterschiedlichen Rechten verbunden sind. Nachteilig gegenüber einer einzigen Datei erweisen sich die Sicherung der Konsistenz und die Nachverfolgbarkeit von Änderungen im Gesamtentwurf. Aus Sicht der Langzeitarchivierung müssen die Verbindungen zwischen den Dateien erhalten bleiben, was sich leichter erreichen lässt, wenn *relative* Dateinamen verwendet und die Verbindungen getrennt dokumentiert werden. Ähnlich gelagert ist die Problematik, die sich durch die Verknüpfungen mit anderen Informationen, häufig nicht-geometrischer Art, ergibt. Die Beziehungen können unterschiedlich ausgeprägt sein, z. B. bezüglich der Art der Navigation zwischen den beteiligten Systemen und der technischen Realisierung, ob die CAD-externen Daten dynamisch oder statisch sind, oder ob die externen Systeme mehrere CAD-Modelle referenzieren. Die Vielfalt an Ausprägungen von Verknüpfungen einerseits und die verschiedenen möglichen Grade einer Erhaltung dieser Verlinkungen andererseits erfordern eine Einzelfallbetrachtung.

Als weiteres Problemfeld identifiziert die DPC-Studie die unterschiedlichen Fachsichten auf ein Modell und deren Vermischung bzw. die daraus entstehenden Mehrdeutigkeiten bei der merkmalbasierten Modellierung. Erhaltungstechniken und Formate, die eine Trennung zwischen

Gemeinsamkeiten, die über die Geometrie hinausgehen können, und spezifischen Sichten erlauben, werden als besonders vorteilhaft bewertet.

Unter dem Begriff Sicherheit nennt der DPC-Bericht weitere Herausforderungen für die Langzeitarchivierung. Der Schutz geistigen Eigentums sorgt nicht nur für Mechanismen, die eine Erhaltung erschweren, sondern behindert auch den öffentlichen Austausch von Erfahrungen und die Identifizierung optimaler Vorgehensweisen und Techniken. Außerdem schränken fehlende reale Daten die Möglichkeit des Testens von Konvertierungswerkzeugen ein, insbesondere wenn das Reverse Engineering eines Formats erforderlich ist. Ein weiteres Problem entsteht, wenn die Authentizität von CAD-Modellen nachzuweisen ist. Dies hat zur Folge, dass die Herkunft des Modells und der Ausschluss versehentlicher oder beabsichtigter Änderungen belegbar sein müssen.

4.1.3 Standardisierung

Die Probleme der engen Bindung von CAD-Modellen an Softwareversionen sind bereits seit den 1970er Jahren Anlass für Standardisierungsbemühungen, wobei der Schwerpunkt auf dem jeweils gegenwärtig möglichen Datenaustausch liegt und nicht auf der Langzeitarchivierung. Dennoch sind die Standardisierungsergebnisse insbesondere bezüglich der Formate eine Betrachtung wert.

IGES

Zu den ersten Versuchen, ein herstellerunabhängiges Austauschformat zu entwickeln, zählt IGES (Initial Graphics Exchange Specification). Die Version 1 wurde 1980 veröffentlicht und bei ANSI (American National Standards Institute) zur Standardisierung eingereicht. Die Version 2 wurde schließlich akzeptiert und 1981 als ANSI-Standard verabschiedet. Die offizielle Entwicklung endete mit der Version 5.3, veröffentlicht 1996 und 2006 als Standard zurückgezogen. Trotz der breiten Akzeptanz und der weiten Verbreitung nennt der Bericht ernsthafte Nachteile. Diese betreffen die Spielräume für eine Implementierung, womit jegliche Garantie fehlt, ob die Werkzeuge genügend Gemeinsamkeiten für einen sicheren Austausch besitzen. Außerdem gab es keine Mittel, um die Konformität zu testen und um somit zwischen den Herstellern konsistente Implementierungen der Spezifikation sicherzustellen.

STEP

Die Ausführungen zu STEP (STandard for the Exchange of Product model data) beginnen mit der Feststellung, dass es sich hierbei um den umfangreichsten aller ISO-Standards handelt (ISO 10300). Die Entwicklung begann im Jahr 1984, motiviert durch die Unzulänglichkeiten von IGES und den europäischen Konkurrenten SET (Standard d'Échange et de Transfert) und VDA-FS (Verband der Automobilindustrie – Flächenschnittstelle) wie fehlende internationale Akzeptanz und unzureichender Datenumfang. Ziel war u. a. ein stabilerer Datenaustausch durch eine strengere Definition der Datenmodelle und eine Prüfbarkeit der Konformität. Hierzu dient die Einführung einer dreischichtigen Architektur mit einer Anwendungsschicht (Application Layer), welche die domänen-spezifischen Datenmodelle beinhaltet, mit einer logischen Schicht (Logical Layer), die die anwendungsunabhängigen Datenmodelle beschreibt sowie mit einer physischen Schicht (Physical Layer), die die Dateiformate (Syntax) spezifiziert. Um alle Datenmodelle einheitlich zu beschreiben, wurde die Sprache EXPRESS entwickelt, die ebenfalls zur STEP-Reihe gehört. Bei der ersten Begutachtung zur Standardisierung 1989 erwies sich der Entwurf des Standards als zu unhandlich, sodass es zu einer Aufspaltung in zwölf Teile kam, die 1995 als ISO-Standard veröffentlicht wurden. Mit dem Anwachsen des Standards stellte sich

heraus, dass es weitere Gemeinsamkeiten in den Modellen der Anwendungsschicht gab, die trotz gleicher Semantik unterschiedlich und somit inkompatibel repräsentiert wurden, was insbesondere für geometrische Modelle galt. Diese Unzulänglichkeit führte zu einer Erweiterung der Architektur, um in einer weiteren Schicht zwischen der logischen Schicht und der Anwendungsschicht die sogenannten anwendungsinterpretierten Konstrukte (AIC – Application Interpreted Constructs) unterzubringen. Außerdem erwiesen sich die Anwendungsprotokolle (AP) als zu monolithisch, sodass es zu einer stärkeren Modularisierung kam. Als bekannteste und am häufigsten implementierte Teile des Standards nennt der DPC-Bericht AP 203 "Configuration Controlled 3D Designs of Mechanical Parts and Assemblies" und STEP Teil 21 "Clear Text Encoding of Exchange Structure", die zusammen ein CAD-Dateiformat für den Austausch und die Archivierung definieren, das unter der Bezeichnung AP 203 Datei oder STEP Physical File bekannt ist. Ein weiteres, vor allem in der Automobilindustrie stark verbreitetes Anwendungsprotokoll trägt die Bezeichnung AP 214 "Core data for automotive mechanical design processes". Wegen der Überschneidungen mit AP 203 kam es zur Entwicklung von AP 242 "Managed Model Based 3D Engineering" (Anmerkung: dieser Teil wurde 2014 nach Erscheinen des DPC-Berichts als ISO-Standard veröffentlicht). Erweiterungen gegenüber den Vorgängern betreffen Informationen zur Qualität von 3D-Geometrien, semantische 3D-Produkt- und Herstellungsinformationen (PMI – Product and Manufacturing Information), angenäherte Geometrien für eine Visualisierung und die Verwaltung von Zugriffsrechten. Die Vergabe von Rechten erfordert jedoch eine besondere Betrachtung im Kontext der Langzeiterhaltung. Schließlich verweist der DPC-Bericht auf die gemeinsame Initiative von PDES Inc. und ProSTEP iViP namens CAX Implementer Forum¹⁰, welche den Test von Konvertierungswerkzeugen im Zusammenhang mit STEP unterstützt. Der Abschnitt schließt mit der Bemerkung, dass STEP als Basis für weitere Standards, wie BIM, und auch für die Langzeitarchivierung dient, obwohl die Entwicklung stark am Austausch von Produktdaten zwischen jeweils aktuellen Systemen ausgerichtet war. Anmerkung: Der offizielle Abstract zu ISO 10303-242:2014 zählt die langfristige Archivierung und die Rückgewinnung (Retrieval) von Entwicklungs- und Produktdaten zum Anwendungsbereich dieser Norm.

IFC und NBIMS-US

Dieser Abschnitt des DPC-Berichts skizziert die Entwicklung des Datenmodells IFC (Industrie Foundation Classes) durch buildingSMART International sowie die Standardisierung, den Bezug zu STEP und die nationalen Erweiterungen wie NBIMS-US (National BIM Standard-United States)¹¹. Hinweis: Die Themen BIM und IFC werden im weiteren Verlauf des Berichts unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen vertieft.

LOTAR

Bei LOTAR (LOng Term Archiving and Retrieval) handelt es sich um ein Projekt der amerikanischen und europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie mit dem Ziel, einen mehrteiligen Standard zur Archivierung von 3D-CAD-Modellen und Produktdaten zu entwickeln. Die Prüfung der Normentwürfe erfolgt in Europa durch CEN (European Committee for Standardization) und in den Vereinigten Staaten durch AIA (Aerospace Industries Association)¹². Die entsprechenden Publikationen als Norm laufen unter der Serie EN 9300 (Euronorm) bzw. NAS 9300 (National Aerospace Standards). Die Standards orientieren sich stark an bestehenden Normen und Best Practices wie OAIS, STEP und der VDA-Richtlinie 4958 (Verband

¹⁰ <http://www.cax-if.de>

¹¹ <https://www.nationalbimstandard.org>

¹² <http://www.aia-aerospace.org>

der Automobilindustrie). LOTAR verfolgt einen pragmatischen Ansatz, um verschiedene Stufen technischer Entwicklungen zu berücksichtigen. Als Beispiel hierfür wird die Integration von 3D-Modellen mit Produkt- und Herstellungsdaten (PMI) genannt, welche in drei Stufen erfolgen kann. Die erste Stufe beinhaltet eine rein visuelle gegenseitige Hervorhebung (Highlighting) der Verbindungen zwischen Geometrie und PMI. Die zweite Stufe bedient sich der semantischen Beschreibungsmittel für PMI aus STEP, die auch eine maschinelle Interpretation erlauben. Die dritte Stufe unterstützt neben statischen 3D-Modellen Merkmale (Features) und Parametrik. In Erkenntnis der schwankenden Qualität von Werkzeugen zur Formatmigration, legt LOTAR einen hohen Wert auf eine Prüfung der Daten anhand von Qualitäts- und Validierungskriterien. Abschließend bemerkt der DPC-Bericht, dass LOTAR trotz noch laufender Entwicklungen bereits Anerkennung in der Luft- und Raumfahrtindustrie erlangt hat und beispielsweise die Firma Dassault Aviation aufgrund der LOTAR-Konformität die Zulassung erhalten hatte, bei den Luftfahrtbehörden digitale statt papiergebundene 3D-Entwürfe einzureichen. Hinweis: Eine durch das DIN beauftragte Studie untersucht die Anwendung von LOTAR aus Sicht des Bauwesens [UniBwM2014].

VRML und X3D

Bei X3D (Extensible 3D) handelt es sich um ein 3D-Format zur Modellierung virtueller Welten speziell im Web. Das Web3D Consortium pflegt und entwickelt das Format, welches in einer Reihe von ISO-Standards veröffentlicht ist (ISO/IEC 19775, ISO/IEC 19776, ISO/IEC 19777) und als Nachfolger des ISO-Standards VRML (Virtual Reality Modeling Language) dient (ISO/IEC 14772), zu dem Rückwärtskompatibilität besteht. Für die Arbeit mit X3D stehen Viewer und Bibliotheken als quelloffene Software zur Verfügung. X3D besitzt verschiedene Möglichkeiten zur Darstellung von 2D- und 3D-Geometrien wie NURBS-Oberflächen, geometrische Körper sowie Extrusion und Sweeps, jedoch bisher keine vollständige B-Rep-Modellierung. Das Format umfasst Layer und Baugruppen einschließlich der Wiederverwendung von Bauteilen, mehrstufige Detaillierungsgrade (LOD – Level of Detail) sowie Interaktion und Animation, jedoch fehlt die Unterstützung für die Einbindung von Produkt- und Herstellungsinformationen (PMI) sowie für fortgeschrittene Modellierungstechniken wie parametrische oder merkmalsbasierte Modellierung.

U3D, PRC und 3D PDF

Das Format U3D (Universal 3D) wurde vom 3D Industry Forum entwickelt und von der ECMA als Standard veröffentlicht und gepflegt (ECMA 363). Adobe hat diese Technologie für die Darstellung von 3D-Grafiken im Reader ab Version 7.0 im Jahr 2005 übernommen. Zu den Fähigkeiten von U3D zählen u. a. das inkrementelle Hinzufügen bzw. Wegnehmen von Detaillierungsgraden (LOD – Level of Detail) und die Unterstützung von Bauteilgruppen zur Wiederverwendung von Bauteilen. Das Format unterstützte ursprünglich nur Oberflächen als 3D-Polygonnetze, in der Version 4 (vermutlich der letzten) aus dem Jahr 2007 kamen Freiformkurven und -flächen hinzu. Die Unterstützung durch den Acrobat Reader reicht jedoch nur bis zur Version 3 von U3D.

Als bedeutsamer betrachtet der DPC-Report die Integration von PRC (Product Representation Compact) in PDF-Dokumente. Die Entwicklung dieses Formats erfolgte durch TTF (Trade and Technologies France). Adobe übernahm diese Firma und bereitete eine Eingabe bei ISO vor, was schließlich zu einer Veröffentlichung als ISO-Standard führte [ISO 14739-1:2014]. PRC zeichnet sich durch eine hohe Kompressionsrate für 3D-Modelle aus und unterstützt sowohl netzartige Oberflächen als auch B-Rep-Körper. Die Fähigkeit, Produkt- und Herstellungseigen-

schaften (PMI) auszudrücken, steigert die Attraktivität des Formats. Außerdem kann eine PRC-Datei mehrere Dateistrukturen enthalten, um die Aufteilung von Modellen auf mehrere Dateien nachzuahmen. Konstruktionshistorien und parametrische Modellierung umfasst das Format jedoch nicht. Der DPC-Bericht weist noch darauf hin, dass Adobe zwar die Darstellung eingebetteter 3D-Modelle weiterhin unterstützt, aber die Entwicklung von Werkzeugen zur Konvertierung und zur Generierung von 3D PDF im Jahr 2009 eingestellt hat. Drittanbieter wie Tech Soft 3D führen die Arbeiten weiter. Die 3D-Fähigkeiten von PDF werden im Rahmen des in Entwicklung befindlichen ISO-Standards PDF/E-2 berücksichtigt. Anmerkung: Mit Stand 16.06.2016 befindet sich dieser Standard als registrierter Entwurf in der Umfragephase (DIS – Draft International Standard registered). Der ausführliche Titel lautet: Document management – Engineering document format using PDF – Part 2: Use of ISO 32000-2 including support for long-term preservation (PDF/E-2). Die Langzeitarchivierung ist also ein wesentlicher Aspekt dieser Norm.

JT

Ursprünglich wurde das Format JT (Jupiter Tessellation) von den Firmen Engineering Animation und Hewlett Packard erarbeitet und von den nachfolgenden Besitzern, zuerst UGS und dann Siemens PLM Inc. weiterentwickelt. Dieses Format besitzt ebenfalls den Status eines vollwertigen ISO-Standards [ISO 14306:2012]. Wie PRC handelt es sich um ein hochkomprimierendes 3D-Format, welches neben Netzoberflächen und B-Rep-Körpern zusätzlich CSG und mehrfache Detaillierungsstufen (LOD – Level of Detail) unterstützt. Das Modell erlaubt die Verteilung von Modellen über mehrere Dateien sowie die Aufnahme von Produkt- und Herstellungsdaten (PMI), es unterstützt jedoch wie PRC weder Konstruktionshistorien noch eine parametrische Modellierung. Da sich das Format JT speziell für die Visualisierung großer Bauteilgruppen eignet, hat es in der Automobil- und Luftfahrtindustrie große Verbreitung gefunden. ProSTEP iViP arbeitet daran, dass JT als Ergänzung zum entstehenden Standard STEP AP242 dienen kann. JT Open Community stellt Werkzeuge für die Anzeige und Bearbeitung von JT-Daten zur Verfügung.

Autodesk

AutoCad zählt laut DPC-Bericht zu den gängigsten CAD-Systemen, sodass das native Format DWG in einigen Bereichen als De-facto-Standard betrachtet wird. Autodesk verändert das Format regelmäßig und eine öffentliche Spezifikation ist nicht verfügbar. Autodesk lizenziert jedoch über den Drittanbieter Tech Soft 3D ein Werkzeug namens RealDWG zum Lesen und Schreiben des Formats (Anmerkung: Dieses Toolkit unterstützt auch DXF, s. u.). Die Popularität von AutoCAD führte mittels Reverse Engineering zu alternativen Werkzeugen. Der DPC-Bericht nennt die Bibliothek *Teigha* der ODA (Open Design Alliance)¹³ sowie LibreDWG als GNU-Projekt. In der Zuständigkeit von Autodesk liegt auch das Austauschformat DXF (Drawing Exchange Format), für das neuere Spezifikationen auf den Web-Seiten der Firma zur Verfügung stehen. Der Zweck des Formats liegt im vollständigen Austausch von CAD-Modellen mit anderen Systemen, ohne die Interna von DWG offenzulegen. Der DPC-Report erwähnt, dass ab Version R13 in einigen Bereichen nicht genügend Details für eine vollständige Implementierung vorliegen. Ein weiterer Mangel zeigt sich, wie bei IGES, durch fehlende Konformitätsstufen, sodass die Tendenz zu unvollständigen Implementierungen und zum stillschweigenden Verwerfen nicht erkannter Daten besteht. Da dieses Format jedoch mehr Transparenz aufweist als DWG, wird es in den meisten Fällen als geeigneter für eine Langzeiterhaltung einge-

¹³ <https://www.opendesign.com>

schätzt. Des Weiteren hat Autodesk die schlanken und hoch komprimierenden Formate DWF (Design Web Format) und DWFx (DWF for Microsoft XPS – XML Paper Specification) entwickelt, wofür Spezifikationen und quelloffene Bibliotheken zur Verfügung stehen, und welche eher der Visualisierung als dem vollständigen Datenaustausch dienen. Schließlich weist der DPC-Bericht darauf hin, dass auch andere CAD-Hersteller ähnliche Formate anbieten und nennt hierzu als Beispiel CATIA der Firma Dassault Systems, die das Format 3D XML unterstützt.

4.1.4 Techniken und Technologien

Obwohl die Standards schwerpunktmäßig auf den Datenaustausch zielen, haben Normen wie STEP und insbesondere LOTAR Auswirkungen auf die Prozesse und Techniken zum dauerhaften Erhalt von CAD-Modellen. Neben der Standardisierung finden weitere Bestrebungen statt, um neue Erhaltungsmethoden und dazugehörige Werkzeuge zu entwickeln.

VDA Empfehlung 4968

Die VDA Empfehlung 4968 konkretisiert und erweitert das OAIS-Referenzmodell für eine Anwendung im industriellen Umfeld. Viele Empfehlungen entsprechen bewährten Verfahren der Schriftgutverwaltung, aber es sind auch für CAD-Modelle spezifische Ratschläge enthalten. Für Archive im industriellen Konstruktionsumfeld schlägt die VDA-Empfehlung vor, Regelwerke in drei Schichten festzulegen. Die erste Schicht bildet das Anforderungsmodell (Requirements Model), das alle Informationen, Regeln und Werte darlegt, um ein Produkt zu spezifizieren, sodass es hergestellt und die Übereinstimmung mit den Entwürfen geprüft werden kann. Hierbei handelt es sich also um die *signifikanten Eigenschaften* der Planungsdokumente. Typischerweise dienen formale Sprachen wie UML oder EXPRESS [ISO 10303-11:2004] zur Abfassung von Anforderungsmodellen. Dateien, die die Anforderungen erfüllen, bezeichnet die VDA-Empfehlung als Kernmodell (Core Model). Die zweite Schicht umfasst die beschreibenden Standards (Descriptive Standards), die der Interpretation der im Anforderungsmodell beschriebenen Objekte dienen. Als Beispiel nennt der DPC-Report geometrische Dimensionen und Toleranzen, die in der ersten Schicht enthalten sind und für die spezifiziert wird, dass sie dem ISO-Standard 16792 genügen sollten.

Die dritte Schicht enthält schließlich die Standards und Modelle zur Implementierung (Implementation Standards and Models). Hierbei handelt es sich um die Datenmodelle und Formate, die die Objekte und Attribute aus dem Anforderungsmodell beschreiben, und die aus Gründen der Langzeitarchivierung herstellerneutral oder idealerweise durch eine Standardisierungsorganisation kontrolliert sein sollten. Die Vorgaben in dieser Schicht legen fest, welche Formate benutzt werden, um die Entwurfsinformationen zu repräsentieren und zu speichern, und wie die Semantik des Anforderungsmodells auf die Syntax und Semantik der Implementierungsschicht abgebildet wird.

Des Weiteren skizziert der DPC-Report den Arbeitsfluss zur Archivierung entsprechend dem OAIS-Referenzmodell. Zunächst wird das Informationspaket für die Einlieferung (SIP – Submission Information Package) durch die Seite der Konstrukteure erstellt. Es enthält neben dem nativen CAD-Modell Metadaten entsprechend OAIS. Dazu gehören die Persistenzinformationen (Fixity Information), zu denen zählen u. a. die Validierungseigenschaften (Validation Properties), die zur Überprüfung des Erfolgs künftiger Migrationsschritte dienen. Beispiele sind die Gewichte, Oberflächenabmessungen, Volumen und Schwerpunkte der modellierten Körper, die ein CAD-System errechnen kann, oder, wie in LOTAR vorgeschlagen, Punktwolken, die das Auftreten von Knoten, Kanten und Oberflächen aufzeigen können. Das SIP wird dem Archiv übergeben, welches die Vollständigkeit des Pakets und die Zulässigkeit der Formate prüft. Da-

nach wird das Informationspaket für die Archivierung (AIP – Archival Information Package) erstellt, wobei die CAD-Dateien in ein Kernmodell umgewandelt werden, so wie es die Regelwerke festlegen, ggf. ergänzt um weitere Formate, z. B. die nativen CAD-Dateien, ein herstellerneutrales Format mit Merkmalsinformationen und Konstruktionsgeschichte oder ein schlankes Format für die Visualisierung. Die Prüfung der konvertierten Formate erfolgt durch das erneute Erstellen der Validierungseigenschaften und deren Vergleich mit denen im SIP. Lassen sich die Validierungseigenschaften nicht mit dem neuen Format erstellen, sollten die neuen Dateien ins alte Format zurückkonvertiert werden, um damit die Validierungseigenschaften zu generieren. Ansonsten sind maßgeschneiderte Validierungstechniken zu entwickeln. Des Weiteren werden die beigefügten Metadaten vereinheitlicht und erweitert. Aufmerksamkeit ist der Erhaltung der Verknüpfungen von geometrischer und nicht-geometrischer Information zu schenken. Für große Modelle wird empfohlen, für die einzelnen Bauteile jeweils ein AIP und zusätzlich ein spezielles AIP anzulegen, das die Einzelpakete wieder zusammensetzen kann (inkrementelle Archivierung). Für die Bereitstellung aus dem Archiv wird ein Informationspaket für die Auslieferung (DIP – Dissemination Information Package) entsprechend den Anforderungen erstellt, die von der Visualisierung bis hin zu einem neuen nativen Format reichen können. Sollte mit der Erstellung eines DIP eine Formatkonvertierung verbunden sein, ist auch hierfür eine Validierung durchzuführen.

Das Projekt KIM

Das Grand-Challenge-Projekt KIM (Knowledge Information Management) lief von 2005 bis 2009 und wurde durch die zwei UK-Regierungsbehörden EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council) und ESRC (Economic and Social Research Council) finanziert. Ein Thema des Projekts betrifft die Erstellung und Pflege fortschrittlicher Darstellungen von Produktinformationen, wobei sich zwei Entwicklungen speziell den CAD-Modellen widmen. Mit PRoRife (Registry/Repository of Representation Information) sollte die Machbarkeit eines Planungswerkzeuges für die Erhaltung von CAD-Formaten nachgewiesen werden. Es nutzt Wissen über die semantische Struktur von CAD-Formaten einerseits und über die Fähigkeit von Erstellungs- und Konvertierungssoftware andererseits, um Migrationspfade aufzuzeigen. Dieses Werkzeug nimmt Rücksicht auf Informationen, die erhalten oder entfernt werden sollen, und eignet sich auch für eine Bestimmung möglicher Informationsverluste bei einem vorgegebenen Migrationspfad. Die zweite Entwicklung namens LiMMA (Lightweight Models with Multilayer Annotations) umfasst eine Reihe von Werkzeugen, die mittels erläuternder Dokumente (Annotation Documents) jene Informationen zumindest teilweise erhalten soll, die durch die *Migration* von einem nativen CAD-Modell in ein schlankes Format, wie X3D, verloren gehen. Die Dokumente enthalten jeweils die für eine bestimmte Zielgruppe relevanten Annotationen, welche mit dem Geometriemodell durch den Bezug auf benannte Elemente und Koordinaten verknüpft sind. Die Idee aus Sicht der Langzeiterhaltung besteht darin, die Annotation über eine migrierte Version zu legen und das Modell zu rekonstruieren, falls sich die *Migration* von einem überholten nativen Format in ein aktuelles als unbefriedigend herausstellt. Der Schwerpunkt bei schlanken Visualisierungsformaten liegt darin, zumindest die Modellgeometrie so zu erhalten, dass künftige Systeme sie leicht und zuverlässig importieren können. Ein zusätzlicher Nutzen dieses Ansatzes besteht darin, dass sich schlanke Formate, z. B. in der Nutzungsphase eines Produkts, annotieren lassen und dass diese Annotationen für eine Nachprüfung und Nachbearbeitung über das native CAD-Modell gelegt werden können. Die prototypischen Werkzeuge für LiMMA beinhalten ein Plug-in für das CAD-System NX3, Code in JavaScript für 3D PDF und einen Java-basierten Viewer für X3D.

Sustaining Engineering Informatics

In einem Beitrag in *The International Journal of Digital Curation* mit dem Titel "Sustaining Engineering Informatics" aus dem Jahr 2008 wird ein Rahmenwerk für die Archivierung digitaler Objekte mit technikorientierten Inhalten, wie Produktdatenmodellen, vorgeschlagen¹⁴. Eine Erkenntnis besteht darin, dass sich die Anwendungsfälle für solche Objekte typischerweise drei Stufen zuordnen lassen. Die erste Stufe, genannt *Reference*, stellt die geringsten Anforderungen und umfasst das Erkunden und Wiederherstellen von Aufzeichnungen für eine Visualisierung ausschließlich im Lesemodus. Die nächste Stufe *Reuse* bedeutet die Nutzung und Änderung in einem geeigneten System. Die dritte und anspruchsvollste Stufe *Rationale* beinhaltet zusätzlich die Begründungen von Entwurfsentscheidungen. Diese drei Stufen erhielten die Bezeichnung 3R. Ausgehend von den Anforderungen der Endnutzer für die 3R analysiert der Vorschlag, welche Formate für die Auslieferung am geeignetsten sind, wie die Objekte im Archiv verpackt und formatiert werden sollen, und welche Metadaten während der Aufnahme ins Archiv (Ingest) zu erfassen sind. Für die Beurteilung von Formaten wird empfohlen, auf Nachhaltigkeitskriterien zurückzugreifen, so wie sie z. B. die LOC (Library of Congress) nutzt. Zu den Kriterien zählen z. B. die Verfügbarkeit von Spezifikationen, der Verbreitungsgrad sowie die Selbstdokumentation bzw. die Einbettung von Metadaten¹⁵.

Anmerkung: Obwohl die Ausführungen im DPC-Report das OAIS-RM nicht erwähnen, liegt es den Überlegungen der Autoren zugrunde. Sie schlagen eine Erweiterung des funktionalen Modells von OAIS vor, um Nachhaltigkeitskriterien für den Bereich Ingenieurinformatik, um prototypische digitale Objekte sowie um spezifische Anforderungen der Endnutzer entsprechend 3R zu integrieren.

Projekt SHAMAN

Das von der Europäischen Union geförderte Forschungsprojekt SHAMAN (Sustaining Heritage Access through Multivalent Archiving) mit einer Laufzeit von 2007 bis 2011 hatte das übergeordnete Ziel, ein Rahmenwerk für die digitale Erhaltung zu entwickeln und zu testen, welches eine große Spannweite digitaler Inhalte unterstützt. Drei Zielgruppen waren hierfür vorgesehen: Gedächtnisorganisationen, wie Archive, Bibliotheken, Museen, sowie der technische Planungs- und Produktionsbereich und schließlich E-Science (Enhanced Science).

Zu den Schwerpunkten im technischen Bereich zählen erstens die Beherrschung der *semantischen Drift* bei Daten aus dem PLM (Produktlebenszyklusmanagement) und zweitens die Unterstützung der Langzeiterhaltung durch die Verminderung der Abhängigkeiten von einzelnen Softwaresystemen.

Zur Bewältigung der ersten Aufgabe stellt sich die Studie ein PLM-System vor, das die Daten zum Zeitpunkt der Produktionsfreigabe einer Archivierungsfunktion übergibt, die die PLM-Informationen soweit wie möglich in Standardformate wie STEP überführt (3.3.3) und folgende Funktionen durchführt: Eine Abbildung der in den Dateien bzw. Formaten enthaltenen Semantik auf eine externe Ontologie und/oder ein Anbringen von Annotierungen, die das implizite bzw. unvollständige Konstruktionswissen ausdrücken und dafür standardisierte externe Ontologien nutzen. Da Ersetzungen und Modifikationen der Ontologien erwartet werden, verfolgt die Archivierungsfunktion solche Änderungen, sodass Ableitungen zwischen den ursprünglichen und aktuellen Versionen und ein Verständnis der jeweils gegenwärtigen Nutzer und Systeme in der Zukunft möglich sein werden. Diese Lösung setzt stark auf standardisierte externe Ontolo-

¹⁴ <http://ijdc.net/index.php/ijdc/article/view/87/58>

¹⁵ <http://www.digitalpreservation.gov/formats>

gien, sodass dadurch die Änderungen gut dokumentiert werden und sich ein Einsparungseffekt bei der Pflege robuster Abbildungen zwischen den einzelnen Versionen ergibt.

Bezüglich des zweiten Schwerpunkts, der Verbesserung der Langzeiterhaltung von Modellen, sehen die Bearbeiter der Studie im Co-Design, also im kooperierenden Entwerfen, einen Schlüssel. Anstatt das Paradigma eines zentralen und verbindlichen Modells zu verfolgen, setzt die Studie auf einen eher dezentralen Ansatz, bei der ein geteilter Visualisierungsraum (Visualization Space) als vereinfachter Master zur Harmonisierung der einzelnen Beiträge aus der Planung und Herstellung dient, bei dem die Akteure mit ihren gewohnten Werkzeugen arbeiten und vereinfachte Modelle entsprechend vereinbarter Regeln liefern. Vorteile ergeben sich durch eine Erleichterung von iterativen fachübergreifenden Optimierungen und einer Erhöhung der Transparenz für alle Beteiligten während sich die Flexibilität bezüglich des Umfangs der Datenbereitstellung erhöht. Demgegenüber müssen zwar für jedes Projekt zugeschnittene Regeln für den Aufbau des Visualisierungsraumes aufgestellt werden, doch im Allgemeinen ist vorzugeben, welche Objekte zu teilen sind, welche Semantik sie haben und welche Formate für eine gemeinsame Visualisierung verwendet werden. Außerdem sind Regeln für das Festlegen von domänenübergreifenden Abhängigkeiten zwischen den Objekten sowie für die Auflösung von Konflikten festzulegen. Um solche Regeln zu formulieren, entwickelte SHAMAN ein Metamodell sowie einen Demonstrator für das Verwalten eines Visualisierungsraumes, der exemplarisch für kooperative CAD-Entwürfe aus dem Bereich Elektrotechnik und Mechanik eingesetzt wurde.

Aus Sicht der Langzeiterhaltung bietet dieser Ansatz der Kooperation eine Reihe von Vorteilen. Erstens liefern die Metadaten, die die einzelnen Fachmodelle koordinieren, nützliche Informationen über das, was die einzelnen Objekte in den Modellen repräsentieren. Zweitens stellt dieses Vorgehen sicher, dass eine vereinheitlichte Repräsentation in einem Visualisierungsformat existiert, welches durch seine Vereinfachung und Lesbarkeit bzw. Schreibbarkeit in allen beteiligten nativen CAD-Systemen eine Langzeiterhaltung vereinfacht. Drittens fallen bei den Beteiligten Schnappschüsse an, wenn sie ihre Entwürfe bzw. Änderungen abliefern, womit eine Historie entsteht, die zwar nicht so mächtig ist wie mit CAD-Werkzeugen erstellt, aber die Verknüpfung mit den Aufzeichnungen der Abarbeitung von Konflikten kann einen erweiterten Beitrag zu den Entwurfsbegründungen (Rationale) liefern.

4.1.5 Diskussion

Nach Aussage des DPC-Reports ist die Erhaltung von CAD-Modellen für einheitliche Lösungen nicht zugänglich. Die verschiedenen Nutzergruppen haben unterschiedliche Anforderungen an ihre Altmodelle und das technisch Machbare hängt stark von den jeweiligen Randbedingungen ab. Dennoch liefern die Forschung und Standardisierungen Ansätze zur Langzeitnutzbarkeit, die sich einzeln oder in Kombination individuell anpassen lassen.

Aufbewahrung des Originalmodells

Im Allgemeinen enthalten die Originalformate mehr Informationen als durch Exportfilter oder Konvertierungswerkzeuge erzeugte Formate. Falls eine forensische Untersuchung, z. B. eine Suche nach Fehlerursachen, oder eine Nachnutzung auf Basis fortgeschrittener Fähigkeiten eines CAD-Systems anliegt, hat das Originalformat einen unschätzbaren Wert. Aufgrund der kurzen Aktualisierungszyklen von CAD-Systemen und der starken Abhängigkeit der Modelle von ihnen, ist bei einer reinen Bitstromerhaltung der Verlust des Zugriffs auf die enthaltenen Informationen naheliegend. Der DPC-Report hält es aufgrund der Erfahrungen aus der Vergangenheit für unwahrscheinlich, dass die Anbieter ihre Spezifikationen offenlegen, sobald keine Marktvorteile mehr bestehen. Wegen der Komplexität der Formate, insbesondere bedingt durch

die Interaktion mit dem Modellierungskern und der eingebauten semantischen Fähigkeiten, gibt der DPC-Report zu bedenken, dass nur für die populärsten Formate verlässliche Konverter für eine Archivierung verfügbar sein werden. Die Erhaltung des Zugriffs auf die Originalmodelle läuft also demzufolge auf eine *Emulation* hinaus, wobei eine Reihe von Aspekten zu berücksichtigen ist, wie die Verfügbarkeit von Lizenzen, die Bedienbarkeit der Systeme, der abnehmende Nutzen bezüglich Wiederverwendbarkeit und Erkennung zugrunde liegender Entwurfsbegründungen, die abnehmende Fähigkeit der Kommunikation mit aktuellen Systemen und der Verlust von Wissen über die Systeme durch eine Verringerung der Nutzeranzahl.

Laufende Migration

Eine Strategie besteht in der *Migration* in ein neues Format sobald ein Format obsolet wird. Für wissenschaftliche Archive kommt eine Übertragung in das direkte Nachfolgerformat in Frage, im industriellen Bereich hängt eine *Migration* von firmenweiten Entscheidungen bezüglich nachfolgender Systeme ab. Eine Übertragung neuerer Modelle könnte durchaus mit einem nachfolgenden Systemlieferanten vereinbart werden. Die Attraktivität dieses Ansatzes liegt darin, dass sich im Archiv jeweils eine Version befindet, die sich mit der aktuellen Technologie nutzen lässt. Falls eine *Migration* zwischen stark ähnlichen Formaten stattfindet, besteht darüber hinaus Anlass zur Hoffnung, dass Fehler und Datenverluste gering sein werden. Andererseits ist jede *Migration* mit Kosten verbunden, z. B. durch eine Beschaffung von Konvertierungssoftware, die Durchführung selbst, eine Validierung sowie eine Speicherung mehrerer Versionen. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass sich Fehler und Datenverluste aus vorhergehenden Übertragungen aufsummieren. Wegen der hohen Kosten und regulatorischen Auflagen wird dieses Vorgehen in der Industrie im Allgemeinen nicht als Ansatz erachtet, um gesamte Archive zu pflegen, sondern nur Modelle, die einer aktiven Nutzung unterliegen.

Normalisierung

Die am häufigsten empfohlene Lösung für CAD-Modelle besteht in der *Migration* in ein oder mehrere herstellerneutrale und standardisierte Dateiformate zum Zeitpunkt der Übernahme ins Archiv (Ingest) oder vorher. Ihre Stärke liegt in der Stabilität, der guten Dokumentation und der Unabhängigkeit von Modellierungskernen und eingebauten semantischen Systemfähigkeiten. Vielfältige Formate stehen jeweils mit ihren Vor- und Nachteilen zur Auswahl. Der DPC-Bericht schätzt den STEP-Standard und Verwandte, wie IFC, am mächtigsten ein, gibt jedoch zu bedenken, dass STEP jeweils so umfassend ist wie die Standards erscheinen, aber die CAD-Hersteller bei der Unterstützung aller Eigenschaften in ihren Import- und Exportschnittstellen zögerlich handeln oder bei alten Teilen des Standards stecken bleiben, auch wenn ausdrucksstärkere Standards veröffentlicht wurden. Ebenso lässt die Vollständigkeit und Robustheit der Implementierung der STEP-Formate zu wünschen übrig, obwohl sich Initiativen, wie *CAX Implementer Forum*, sich dieser Frage widmen. Jenseits von STEP existiert eine ganze Reihe an Formaten, die zwar weniger mächtig sind aber dafür leichter softwaremäßig unterstützt werden können. Diese schlanken Formate erweisen sich als besonders nützlich für die Erhaltung der geometrischen Formen von Modellen, wobei einige für die Visualisierung optimiert sind, wie X3D oder U3D, und andere eine Wiederverwendung der Modelle unterstützen, wie PRC oder JT. Obwohl IGES wahrscheinlich das verbreitetste unter den schlanken Formaten ist, gilt es wegen der häufig unvollständigen Unterstützung als fehleranfällig. Von herstellereigenen, nichtstandardisierten schlanken Formaten rät der DPC-Bericht ab.

Validierung

Persistenzinformationen (Fixity Information) stellen einen unverzichtbaren Bestandteil der Langzeitarchivierung dar, da sich damit die Korrektheit eines digitalen Objekts nachweisen lässt. Prüfsummen beispielsweise sind nützlich, um Beschädigungen der Bitströme zu erkennen. Weitere Techniken sind nötig, um die Erhaltung der *signifikanten Eigenschaften* von CAD-Modellen nach *Migrationen* oder bei der Interpretation durch andere CAD-Systeme sicherzustellen. Nur wenige Fehler lassen sich durch eine Sichtung erkennen, sodass formale Validierungseigenschaften erforderlich sind. Zu den typischen Eigenschaften bei Körpern (Solids) zählen Volumen, Schwerpunkte und errechnete Massen, bei Körper- und Oberflächenmodellen die einzelnen Oberflächen. Als vielseitig erweisen sich Punktwolken, wobei eine große Menge an Koordinaten errechnet wird, die auf den Oberflächen liegen und an bestimmten Stellen, wie Kanten und stärkeren Krümmungen, verdichtet werden. Die Berechnung sollte im ursprünglichen CAD-System erfolgen. Die aufgezeichneten Werte können dann mit denen in den neuen Systemen errechneten verglichen werden. Bei den Punktwolken wird getestet, ob alle Punkte auf den Oberflächen und Kanten der neuen Modelldarstellung liegen. Somit lässt sich feststellen, ob neue Körper oder Diskontinuitäten entstanden sind. Bei Formaten, die eine angenäherte Geometrie darstellen, wie Dreiecksnetze, sind für eine Überprüfung entsprechende Toleranzen für die Punktkoordinaten zu berücksichtigen. Der DPC-Report empfiehlt, die Tests unmittelbar nach einer *Migration* durchzuführen, sodass eine Fehlerbehandlung noch mit der entsprechenden Software durchgeführt werden kann. Bei der Konvertierung in herstellerneutrale Formate sollten mindestens zwei verschiedene CAD-Systeme oder Viewer zum Einsatz kommen, um Fehler in den Importschnittstellen zu erkennen.

CAD-Modelle auf Basis mehrerer Dateien

Die VDA Empfehlung 4958 enthält den Hinweis, dass bei großen Modellen eine Archivierung auf Bauteilebene erfolgen soll und dass übergeordnete Pakete Referenzen auf die Einzelteile enthalten sollen, um Bauteilgruppen oder Untergruppen zu repräsentieren. Dieses Vorgehen erhöht die Effizienz, falls Teile mehrfach innerhalb eines Entwurfs oder projektübergreifend auftreten, und erleichtert die Erhaltung der Pakete. Ein hoher Aufwand für die Sicherstellung der Rekonstruierbarkeit ergibt sich jedoch bei einer Übertragung auf ein einfacheres Format, das keine Verteilung auf mehrere Dateien unterstützt. Falls ein CAD-System von Haus aus eine Verteilung auf mehrere Dateien vornimmt, sollten diese ebenfalls entsprechend der VDA-Empfehlung behandelt werden. Dabei sollte bei der Übernahme ins Archiv (Ingest) überprüft werden, dass die Dateireferenzierungen mittels indirekter Methoden, wie Teilebezeichner, oder relativer Pfadnamen erfolgen. Bei der Übertragung auf ein schlankes Format sollte das ursprüngliche CAD-System zum Einsatz kommen, um den zusätzlichen Aufwand für Mechanismen zur Wiederherstellung der Bauteilgruppen bzw. Untergruppen zu vermeiden.

Links und Annotationen

Archive sollten sorgsam mit Verknüpfungen zwischen CAD-Modellen und anderen Ressourcen umgehen. Falls Dateisysteme diese Verbindungen ausdrücken, sollten auch hier indirekte Methoden oder relative Pfadnamen einschließlich entsprechender Dokumentation Verwendung finden. Bei einer Nutzung von CAD-internen Bezeichnern oder Identifikatoren für eine Verlinkung sollten diese in die Liste der Validierungseigenschaften aufgenommen werden. Der DPC-Report empfiehlt außerdem, Dokumente als Metadaten aufzunehmen, die dem Verständnis eines CAD-Modells dienen, und nennt hierzu beispielhaft Produktspezifikationen, Modelle und Berichte zu Prozessen und Grundprinzipien, dokumentierte Datensammlungen, Datenblätter zu Materialien, Teilekataloge sowie Konventionen für die Bezeichnung von Dateien, Layern und

Zeichnungselementen. Ein weiteres Dokument sollte idealerweise die Eigenschaften enthalten, die bekannterweise bei der Übertragung eines nativen Formats in ein herstellerneutrales verlongehen, und auf die entsprechenden Modellelemente Bezug nehmen. Des Weiteren schlägt der DPC-Report vor, Annotationen zu erstellen, die die im Modell eingebettete Semantik mit Standardvokabularien verbindet, wobei die aktuelle Standardisierung jedoch noch als mangelhaft beurteilt wird.

Stilvorlagen

Eine Möglichkeit, die Erhaltung von CAD-Modellen zu erleichtern, liegt in einer Beschränkung der Art und Weise, wie solche Modelle entsprechend einer hauseigenen Stilvorlage konstruiert werden. Wenn bekannt ist, dass die Modelle solchen Vorlagen genügen, lassen sich theoretisch spätere Abweichungen leichter korrigieren. Darüber hinaus können Vorgaben dazu dienen, die Semantik eines Modells unabhängig von den entsprechenden Fähigkeiten des verwendeten CAD-Formats aufzuzeichnen. Stilvorlagen sind in Organisationen, die regelmäßig mit CAD-Systemen zu tun haben, gebräuchlich. Einige Modellierungsaspekte haben wegen ihrer Wichtigkeit Niederschlag in der Standardisierung gefunden, wie NCS (United States National CAD Standard)¹⁶. Dort findet sich auch eine Erläuterung zur Abgrenzung BIM – CAD. Gründe für solche Standards liegen gewöhnlich in der Sicherstellung der Lesbarkeit, Verständlichkeit und Navigierbarkeit. Bei NCS steht ausdrücklich die Verbesserung der Kommunikation zwischen Kunden, Bauunternehmen und Lieferanten im Vordergrund. Technische Aspekte der Langzeiterhaltung finden selten Berücksichtigung, u. a. deshalb, weil die Probleme zu kompliziert sind, um sie mit wenigen einfachen Regeln auszudrücken. Falls aber Erkenntnisse vorliegen, dass sich bestimmte Arten der Konstruktion besser für eine Übertragung in Archivierungsformate eignen, sollten diese auch in den Vorlagen aufgenommen werden. Auf jeden Fall sollten die Archive eine Verwendung von Vorlagen seitens der Ersteller von CAD-Modellen anstreben. Die entsprechenden Dokumente sind dann ebenfalls zu archivieren, sodass sie dauerhaft mit den Metadaten des Modells referenziert werden können.

Interessensvertretung

Hersteller und Kunden von CAD-Systemen schenken der Frage der Langzeiterhaltung nur selten größere Beachtung, sodass wenig Anlass besteht, die aktuelle Situation zu ändern. Um irgendwelche signifikanten Verbesserungen zu erreichen, sollte die breitere Archivierungscommunity ein Lobbyprogramm in Betracht ziehen, um das Bewusstsein für die Wichtigkeit von Standards und hochwertiger Formatmigrationen zu schaffen. Jedes derartige Programm sollte den betriebswirtschaftlichen Nutzen eines verlässlichen Archivs mit CAD-Modellen und die Effizienzgewinne durch interoperable Systeme betonen. Um die Unterstützung von Standardformaten durch die Hersteller zu fördern, könnte die Archivierungsgemeinschaft Einfluss auf die Gesetzgebung nehmen, um undokumentierte Formate beim Datenaustausch zu verbieten, weil sie eine Handelsbarriere darstellen.

4.1.6 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Archive sollten zuerst feststellen, warum sie CAD-Modelle übernehmen, und dann, welche Aspekte eines Modells erhalten werden sollen. Falls ein Modell nur für eine Visualisierung vorgesehen ist (Reference in der 3R-Terminologie), sollte sich ein Archiv auf schlanke und standardisierte statt auf native Formate konzentrieren. Sollen hingegen die Konstruktionsgeschichte und deren Begründungen nachvollzogen werden (Rationale in der 3R-Terminologie), sollte ein Ar-

¹⁶ <http://www.nationalcadstandard.org>

chiv erwägen, in eine zuverlässige Emulationsplattform zu investieren, um auf das native Format zugreifen zu können.

Archive sollten entsprechend den zu erhaltenden Aspekten Validierungseigenschaften festlegen, um die Integrität der Modelle prüfen zu können (siehe obigen Abschnitt zur Validierung).

Die Validierungskriterien sollten für jedes archivierte Modell unter Nutzung des ursprünglichen Systems aufgezeichnet werden. Steht solch ein System dem Archiv nicht zur Verfügung, sollten Anweisungen zur Durchführung der Validierung an die Einreicher bereitgestellt werden.

Da native Modelle auch Informationen enthalten, die nicht in andere Formate *migrierbar* sind, sollten sie mindestens so lange aufbewahrt werden wie Software zum korrekten Interpretieren verfügbar ist.

CAD-Modelle sollten auf mindestens ein, idealerweise auf zwei oder drei Standardformate übertragen werden. STEP bzw. IFC gelten als optimal. Steht einem Archiv die Konvertierungssoftware nicht zur Verfügung, sollte es die Konvertierungen zur Bedingung für eine Übernahme (Ingest) machen und die Einreicher mit entsprechenden Anweisungen versorgen.

Validierungseigenschaften sollten unabhängig vom eingesetzten Werkzeug für jedes konvertierte Modell aufgezeichnet und mit denen der ursprünglichen Modelle verglichen werden. Falls Abweichungen auftreten, sollte zuerst eine alternative Software genutzt werden. Sollten sich die Unstimmigkeiten bestätigen, sollte versucht werden, sie aufzulösen z. B. durch veränderte Einstellungen des Konverters oder durch die Wahl eines anderen Zielformats.

Komplexe CAD-Modelle sollten entsprechend LOTAR bzw. den VDA Richtlinien in einzelnen Paketen gespeichert werden.

Das Archiv sollte mit den Einreichern von Informationen zusammenarbeiten, um alle für das Verständnis eines Modells nötigen Dokumente und Ressourcen dauerhaft mit dem Modell verbunden zu archivieren.

Archive sollten zur Nutzung von dokumentierten Stilvorlagen ermuntern, besonders wenn sie die Archivierung auf der technischen Ebene erleichtern.

Die Archivierungscommunity sollte einen Geschäftsfall einrichten, der die Wichtigkeit von Interoperabilität und Langzeiterhaltung für Anwender und Hersteller von CAD-Systemen unterstreicht, und der bei Kunden, Herstellern und Gesetzgebern für ein Engagement für eine bessere Unterstützung von Standardformaten genutzt wird.

4.1.7 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Obwohl der DPC-Bericht nur teilweise bauspezifische Aspekte aufgreift und nicht mehr in allen Punkten dem neusten Stand entspricht, bietet er einen umfassenden Einblick in die Herausforderungen und Lösungen der Langzeitarchivierung und Langzeitnutzbarkeit von CAD-Modellen und liefert somit auch Anregungen und Hinweise für die Entwicklung technischer und organisatorischer Konzepte für die öffentliche Bauverwaltung.

Zunächst kann festgestellt werden, dass die geschilderten Herausforderungen weitgehend auch auf das Bauwesen zutreffen, und in den weiteren Untersuchungen zum Entwurf einer IT-Architektur zu berücksichtigen sind. Im Wesentlichen zählen hierzu die nachfolgenden Sachverhalte.

- Die CAD-Systeme des Bauwesens zeichnen sich ebenfalls durch eine hohe Komplexität und häufige Versionswechsel aus.
- Die Abbildung von in CAD-Systemen enthaltenen Informationen auf Austausch- bzw. Standardformate unterliegt deutlichen Einschränkungen insbesondere bei fortgeschrittenen Modellierungstechniken.
- Proprietäre Formate und die mangelnde bzw. schwankende Qualität der angebotenen Export- und Importschnittstellen behindern den Datenaustausch und stellen für die Langzeitnutzbarkeit ein erhebliches Risiko dar. Die Sicherung der technischen Konsistenz von Modellen erfordert unnötigen Mehraufwand.
- Die Aussagen zur *Normalisierung*, *Migration* und *Emulation* treffen weitgehend auch auf Anwendungen im Bauwesen zu, dies gilt auch für Lizenzmodelle, die einen Emulationsansatz erschweren oder gar verhindern können.
- Die Bedienung unterschiedlicher Fachsichten und verteilte, mit unterschiedlichen Rechten versehene Zugriffe erschweren die Erhaltung der Konsistenz von Modellen erheblich. Die Ansätze zur Verbesserung der Kooperation und Koordination erweisen sich als sehr unterschiedlich und kaum standardisiert, was eine Konsolidierung und eine Qualitätssicherung der Daten, so wie sie im OAIS-Referenzmodell verankert ist, erschwert.
- Die Bestrebungen, die geometrischen Modelle der CAD-Systeme mit Informationen (Semantik) anzureichern sind unverkennbar. Die verwendeten oder vorgeschlagenen Methoden unterscheiden sich deutlich, z. B. die Verwendung externer Ontologien versus Formate, die zusätzlich Produkt- und Herstellungsinformationen repräsentieren können. Fehlende oder konkurrierende Standards erschweren die Situation aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit zusätzlich.

Besonders folgende Empfehlungen, Hinweise und Diskussionen erweisen sich für das Bauwesen, ggf. nach fachspezifischer Modifikation, als nützlich:

- Die Ausführungen des DPC-Reports bestätigen, dass sich das OAIS-Referenzmodell neben den klassischen Gedächtnisorganisationen auch in technisch orientierten Wirtschaftsbereichen etabliert hat. Es sollte daher auch im Bauwesen Anwendung finden, zumal die Eignung für die öffentliche Verwaltung, auch in Bezug auf eine Langzeitspeicherung, gegeben ist.
- Die in den Standards und Empfehlungen speziell im Automobilbau und in der Luft- und Raumfahrtindustrie praktizierte Trennung von konzeptionellen und implementierungsbezogenen Aspekten sollte wegen einer ähnlichen Komplexität der fachlichen Aufgabenstellung und der IT-Werkzeuge auch in Regelwerken des Bauwesens wie Richtlinien, Hausstandards, Dienstanweisungen u. ä. übernommen werden. Insbesondere sollten als erster Schritt der Zweck einer Archivierung und die Grundlagen sowie die Anforderungen an eine Langzeitnutzbarkeit möglichst formal dokumentiert und laufend aktualisiert werden, um IT- und Organisationskonzepte zu entwickeln und schließlich zu implementieren und zu pflegen.
- Die Auswahl geeigneter Archivierungsformate ist eine zentrale Aufgabe der Erhaltungsplanung (Preservation Planning im OAIS-RM). Hierzu sind Kenntnisse einerseits der Anforderungen an eine Langzeitnutzbarkeit erforderlich (ggf. abgestuft z. B. nach der 3R-Klassifizierung) und andererseits der mit einem Format verbundenen Langzeitriskien, die anhand der im DPC-Bericht erwähnten Nachhaltigkeitskriterien bewertet werden können.
- Auch im Bauwesen sollten die verwendeten Formate in einem öffentlich zugänglichen Verzeichnis (Registry) als Baustein einer IT-Architektur zu finden und umfassend dokumentiert sein. Die Dokumentation sollte möglichst alle Anwendungen identifizieren und beschreiben, die diese Formate lesen, erzeugen, konvertieren, erkennen, validieren bzw. verifizieren, oder Teile extrahieren können.
- Als positiv zu vermerken ist, dass die Bauverwaltungen einige Empfehlungen bereits umgesetzt haben wie die Festlegung von Namenskonventionen für Layer und Dateinamen, die Bereitstellung von Stilvorlagen oder die Generierung von relativ dauerhaften und schlanken Formaten in Form von Plot-Dateien. Die Situation bezüglich der im DPC-Bericht bemängelten Standardisierung der kontrollierten Vokabularien bzw. Ontologien bessert sich im Bau-

wesen allmählich, z. B. durch die Klassifikation nach STLB (Standardleistungsbuch für das Bauwesen) im Kontext der Weiterentwicklung von BIM [DIN SPEC 91400:2015-01].

4.2 FACADE

4.2.1 Überblick

Das Projekt FACADE (Future-proofing Architectural Computer-Aided DEsign)¹⁷ hatte speziell die Langzeitarchivierung von CAD-Modellen aus dem Bauwesen zum Thema. Das Vorhaben lief von 10/2006 bis 08/2009 und wurde vom IMLS (U.S. Institute of Museum and Library Services) mit einer Summe von 0,72 Mio. USD gefördert. Auftragnehmer waren die Bibliothek des MIT (Massachusetts Institute of Technology) und die MIT School of Architecture and Planning. Zu den Projektpartnern gehörten u. a. namhafte Architekturbüros mit langjähriger Erfahrung im Umgang mit komplexen CAD-Systemen wie CATIA, das MIT Department Computer Science, das MIT Department Mechanical Engineering und die FM-Abteilung (Facility Management) des MIT.

Die grundsätzliche Ausrichtung lag auf dem Aufbau eines institutionellen Repositoriums (IR – Institutional Repository), d. h. wissenschaftliche, historische und ausbildungsbezogene Aspekte stehen im Mittelpunkt. Als mögliche Nutzer der archivierten Modelle werden aber auch Betreiber von Bauwerken genannt.

4.2.2 Inhalt

Neben den im DPC-Report geschilderten Problemen mit CAD-Modellen, wie vor allem komplexe und proprietäre Formate und Systeme sowie die schnelle technische Obsoleszenz (teilweise bereits nach fünf Jahren), sieht sich die Bibliothek des MIT mit uneinheitlichen und wenig strukturierten Dokumentensammlungen der einzelnen Architekturbüros konfrontiert. Als unbefriedigend wird auch die Situation auf dem Gebiet der Standardisierung der Formate gesehen, da sie erstens einen Kompromiss bezüglich der berücksichtigten Aspekte eines Modells darstellt und zweitens die Produkte unterschiedliche Standards unterstützen.

Für ein dauerhaftes Verständnis der CAD-Modelle, das den Schwerpunkt dieses MIT-Projekts bildete, werden Dokumente aus dem gesamten Lebenszyklus der Planung als nötig erachtet, zumal es den Architekten bisher nicht möglich ist, ihre Entwurfsabsichten (Design Intent) mit den eingesetzten CAD-Systemen auszudrücken. BIM wird als Ansatz gesehen, die Integration von Bauwerksinformationen sowie die Archivierbarkeit zu verbessern. Zum Zeitpunkt des Projekts war diese Methode noch im Anfangsstadium, sodass ein Modell entwickelt und implementiert wurde, um CAD-Modelle zu annotieren und mit anderen Informationen, wie 2D-Zeichnungen oder Materiallisten, zu verknüpfen. Dieses Projektinformationsmodell (PIM – Project Information Model, auch Relationship Map genannt) wird auch nach einer Einführung von BIM als erforderlich erachtet, da das Studienteam des MIT nicht erwartet, dass BIM jemals alle Arten von Bauwerksinformationen abdecken wird. Da alle Dateien eines Projekts dauerhaft gespeichert werden sollen, aber die Auszeichnung und Verlinkung einen hohen manuellen Aufwand erfordern und die Projekte bis zu 100.000 Dateien umfassen, wird nur ein Teil der Dateien für eine vollständige Erschließung ausgewählt, der Rest erhält eine Basiserschließung. Diese Unterscheidung ist dann auch in der Nutzeroberfläche erkennbar. Die ausgewählten Dateien, darunter vor allem 2D- und 3D-CAD-Modelle, sollen 80% der Nutzeranforderungen abdecken. Die dem PIM zugrundeliegende Ontologie hat Einzeldateien bzw. Dateimengen als zentrales

¹⁷ http://www2.archivists.org/sites/all/files/saa-facade_2009.pdf

Konzept, dem fünf Eigenschaften zugeordnet werden: Projektphase (Entwurfsplanung, Ausführung usw.), Fachdomäne, Bauwerkszone (räumliche Zuordnung), Dokumenttyp (Plan, Präsentation, Kundenkommunikation usw.) und Dateiformat. Die Dateiformate sind entsprechend dem Zweck in verschiedene Kategorien eingeteilt wie Original, standardisiertes Erhaltungsformat, Betrachten (Rendering). Um fachliche Zusammenhänge zu modellieren, wie die Zusammengehörigkeit von Plänen, können die Dateien auch in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden. Ein Verweis auf das ursprüngliche Verzeichnis vereinfacht ein Stöbern in den nicht voll erschlossenen Dateien, da Verzeichnisse häufig einen logischen Zusammenhang wiedergeben. Für die Codierung der Ontologie dient RDF (Resource Description Framework), was eine leichtere Anpassung an neue Anforderungen und die Integration in andere Umgebungen verspricht.

Das Projekt beschäftigte sich intensiv mit der Auswahl von Formaten, die sich für eine Archivierung eignen. Man entschied sich nach Analyse des Marktes und der Fähigkeiten von Formaten, vier verschiedene Varianten für 3D-Modelle in das Archiv aufzunehmen:

- das native Format, mit dem höchsten Maß an Genauigkeit und Authentizität, zumindest solange, bis sich die Leistungsfähigkeit von Exporten nicht verbessert hat

und drei abgeleitete Formate (Derivate) als Export aus den Originalsystemen:

- IFC (ISO 16739) als standardisiertes, bauspezifisches Format
- STEP (ISO 10303) als standardisierte Alternative, falls ein IFC-Export nicht möglich sein sollte
- IGES als Rückfalllösung, um zumindest die 3D-Geometrie zu erhalten, falls die deutlich komplexeren Formate scheitern
- 3D PDF als De-facto-Standard zur Anzeige in digitalen Dokumenten und im Web.

Ein besonderes Augenmerk legte die Studie auf die korrekte Erstellung von abgeleiteten Formaten. Hierzu erarbeitete das Studienteam zusammen mit Architekten, die mit den Systemen vertraut sind, Anweisungen, wie für eine Reihe von Produkten ein Export durchzuführen ist. Damit verbunden ist der Hinweis, dass diese Anweisungen unter Einbeziehung von Praktikern aus dem Bereich CAD und Bauwesen fortzuschreiben sind. Dennoch bleiben beim Export Abhängigkeiten von individuellen Bewertungen für die Erzeugung von Ableitungen, die zu mehr oder weniger großen Abweichungen vom Originalmodell führen. Außerdem wird der mit dem Export verbundene Abbildungsprozess wegen seiner Komplexität als fehleranfällig eingeschätzt. Um die damit verbundenen Informationsverluste zu minimieren, setzen die Bearbeiter der Studie auf eine baldige Verbesserung von Validierungswerkzeugen. Bei der Generierung von abgeleiteten Formaten ist zusätzlich für die Eindeutigkeit der Dateinamen und für den Erhalt des Zusammenhangs mit den Originaldateien zu sorgen. Die für das Projekt gewählte Methode auf Basis von Konventionen für Dateinamen wird jedoch als nicht ideal bewertet. Des Weiteren liefert die Studie eine Anleitung, um sich in den großen und uneinheitlich strukturierten Dateibeständen, wie sie die Architekturbüros abgeben, zurechtzufinden und um die Dateien mit dem höchsten Informationsgehalt für eine ausführlichere Erschließung bzw. eine Erstellung von Derivaten herauszufinden. Um die Dateien für eine Archivierung vorzubereiten (Pre-Ingest) wurde ein Werkzeug entwickelt (Curators' Workbench), das vor allem die massenhafte Vergabe von Metadaten und die Prüfung der Konformität zum PIM (Projektinformationsmodell) unterstützt.

Als System für die Archivierung kommt das datenbankgestützte IR-System *DSpace* zum Einsatz. Das am MIT entwickelte und im Betrieb befindliche System ist speziell für die Langzeitarchivierung digitaler Dokumente ausgelegt. Für die Übernahme (Ingest) waren einige Erweiterungen

rungen erforderlich, um eine zuverlässige Übertragung großer Dateimengen sicherzustellen und um die Dateiformate sicher zu erkennen und entsprechend den Vorgaben von DSpace die Erhaltungsmetadaten zu erstellen. Informationen über Dateiformate werden als Teil der Repräsentationsinformationen (Representation Information) für die langfristige Betreuung von digitalen Datenbeständen als elementar betrachtet. Aus diesem Grund lieferte das Facade-Projektteam auch Beiträge für Dateiverzeichnisse wie PRONOM zu CAD-spezifischen Formaten. Des Weiteren mussten die Dateien auf das relativ einfache Datenmodell von DSpace, das sich eher an den Bedürfnissen einer Bibliothek orientiert, abgebildet werden, sodass der logische Zusammenhang der einzelnen Bauprojekte erkennbar bleibt. Schließlich wurde noch eine spezifische Oberfläche entwickelt, die auf Basis der deskriptiven Metadaten einschließlich Thumbnails eine einfache Navigation und Auswahl in den Dateibeständen erlaubt. Zusätzlich erhält der Nutzer eine Übersicht, wie viele Dateien in welchem Format abgelegt sind, wobei die Formate als Klartext erscheinen, z. B. AutoCAD Colour-Dependent Plot Style Table für CTB.

Eine Besonderheit des Projekts besteht in der Auseinandersetzung mit der *Emulation* als Erhaltungsmethode. Hierzu wurde eine Fallstudie durchgeführt, bei dem Modelle des CAD-Systems AccuDraw auf einer emulierten Ablaufumgebung des Apple II betrachtet werden sollten. Die technischen Herausforderungen waren groß, ließen sich aber letztlich überwinden, sodass das Modell auf dem Bildschirm gezeigt werden konnte. Aus technischer Sicht wird der Emulationsansatz als machbar eingeschätzt, erhebliche Bedenken ergeben sich aber aus rechtlicher Sicht wegen der Lizenzierung von Software. Die zeitliche Beschränkung von Lizenzen und der Einsatz von Lizenzschlüsseln stellen kritische Faktoren dar. Immerhin zeigten sich führende Ersteller von CAD-Software, wie Bentley oder Autodesk, offen für eine treuhänderische Hinterlegung der kompletten Software (Escrow) in Zusammenarbeit mit geeigneten Bibliotheken und Archiven.

4.2.3 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Obwohl das Projekt schon einige Zeit zurückliegt und sich an den Anforderungen eines institutionellen Repositoriums einer Forschungseinrichtung ausrichtete, liefert es Erkenntnisse und Lösungsansätze für die öffentliche Bauverwaltung. Dies trifft insbesondere auf folgende Aspekte zu:

- der pragmatische Umgang mit großen und uneinheitlich strukturierten Dateisammlungen
- die bisherigen Unzulänglichkeiten der Exportschnittstellen mit der Notwendigkeit, Ersatzlösungen oder zusätzliche Hilfsmittel (Validatoren) einzusetzen
- der Emulationsansatz mit seinen technischen und rechtlichen Herausforderungen
- die Risiken komplexer Formate und das Vorhalten von Rückfalllösungen
- Workflow und Werkzeuge für die Vorbereitung und Übertragung von Dateien in ein Langzeitarchiv (Pre-Ingest und Ingest)
- die Wichtigkeit von Kontextinformationen für ein möglichst vollständiges Verständnis von CAD-Modellen.

Für dieses Projekt spricht auch eine offene und leicht nachvollziehbare Dokumentation der Datenmodelle (einschl. DSpace).

4.3 Exkurs in die Archivierung von Geodaten

Geoinformationen bilden für die Planung und den Betrieb von Bauwerken, Außenanlagen und baulichen Infrastrukturen eine wichtige Grundlage. Durch die zunehmende Digitalisierung stellt sich die Frage, wie sich eine Archivierung bzw. eine langfristige Nutzung von Geodaten wirt-

schaftlich und gesetzes- bzw. vorschriftenkonform sicherstellen lässt. Erfreulicherweise findet eine Auseinandersetzung der Vermessungsverwaltungen und der Archive mit dieser Thematik statt, die sich u. a. in der Erarbeitung von Leitlinien zur bundesweit einheitlichen Archivierung von Geobasisdaten niederschlug. Das entsprechende Dokument, für das alle fünf Jahre eine Revision geplant ist, soll nachfolgend im Hinblick auf eine Verwendung im öffentlichen Bauwesen besprochen werden.

4.3.1 Leitlinien zur bundesweit einheitlichen Archivierung von Geobasisdaten

Der folgende Abschnitt liefert eine Zusammenfassung des Abschlussberichts der gemeinsamen AdV-KLA-Arbeitsgruppe „Archivierung von Geobasisdaten“ 2014 – 2015.

Der Übergang von analogen zu digitalen Produkten in den Vermessungsverwaltungen der Bundesländer erfordert neue Verfahren zur Archivierung. Diese sollen für Geobasisdaten grundsätzlich einheitlich über Ländergrenzen hinweg gestaltet werden, um den Nutzern von Archiven länderübergreifend homogenes Datenmaterial zur Verfügung stellen zu können. Um dieses Ziel zu erreichen, hat die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) und die Konferenz der Leiterinnen und Leiter der Archivverwaltungen des Bundes und der Länder (KLA) eine gemeinsame Arbeitsgruppe eingesetzt, um Leitlinien für ein abgestimmtes Vorgehen zu erarbeiten, welche aus Sicht der Arbeitsgruppe auch für eine Abstimmung zwischen dem Bundesarchiv und dem BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) dienen kann.

Die einleitenden Grundüberlegungen zur Archivierung von Geobasisdaten beginnen mit einer Definition des Begriffs *Geobasisdaten* durch die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen, die wie folgt lautet: „Geobasisdaten sind Daten des amtlichen Vermessungswesens, welche die Landschaft, die Liegenschaften und den einheitlichen geodätischen Raumbezug anwendungsneutral nachweisen und beschreiben. Sie sind Grundlage für Fachanwendungen mit Raumbezug.“ Es folgt der Hinweis, dass diese Daten im Allgemeinen für den Gebrauch in einem Geoinformationssystem (GIS) konzipiert sind. Zur Bewertung der Archivwürdigkeit von Geoinformationen erarbeitete die Arbeitsgruppe eine Reihe von Kriterien. Zu den übergeordneten Kriterien zählen eine hohe Auswertungsoffenheit sowie eine möglichst gute Abdeckung von Raum und Zeit, um den vermutlich breit gestreuten Nutzerinteressen gerecht zu werden. Ein weiteres Entscheidungsmerkmal ist die Vermeidung von Redundanzen, d. h. herleitbare Produkte erhalten eine wenig wichtigere Einstufung. Darauf aufbauend ergeben sich für den bleibenden Wert von Geodaten folgende Einzelkriterien: hohe inhaltliche Relevanz, feinsten Detaillierungsgrad innerhalb einer Produktgruppe, Nutzen für die Auswertung anderer Geodaten und schließlich technikhistorische Meilensteine. Hingegen mindern Geobasisdaten, die Ableitungen oder Generalisierungen anderer Daten darstellen, den Wert für eine dauerhafte Erhaltung.

Die Leitlinie widmet sich ausführlich der Diskussion der zeitlichen und räumlichen Definition von Objekten und der Aktualität von Geodaten. Um die kontinuierlichen Änderungen in großen Informationssystemen oder die langen Erfassungsdauern, z. B. durch mehrjährige Befliegungszyklen bei Orthofotos, zu berücksichtigen, schlägt die Leitlinie die Einführung von Zeitschnitten für die Archivierung vor. Bei der Aktualität als Qualitätskriterium ist zu berücksichtigen, dass Geodaten aus verschiedenen Daten mit eigenen Aktualitätsständen zusammengesetzt sein können, verursacht durch zeitlich verschobene Erfassungen, verzögerte Bearbeitungen oder Angaben von Migrationszeitpunkten (Übernahmen aus anderen Systemen) statt reellen Entstehungszeitpunkten. Ein weiteres Feld für Empfehlungen betreffen die räumliche Abgrenzung von

Geodaten und die nötigen Beschränkungen der Datenmengen, die sich aus der Handhabbarkeit in aktiven Systemen, der Fähigkeiten der Zielsysteme und ggf. der Bildung von Abrechnungseinheiten ergeben. In diesem Zusammenhang verweisen die Autoren auf das Konzept der Informationspakete für die Einlieferung, Archivierung und Auslieferung entsprechend dem OAIS-Referenzmodell.

Die Leitlinie beschäftigt sich darüber hinaus mit der Auswahl von Formaten für die Übergabe ans Archiv, die im Bereich der Geodaten durch das Vorhandensein von wechselseitig abhängigen Vektor- und Pixeldaten erschwert wird. Mit Hinweis auf die gängige Praxis in den Archiven wird der Emulationsansatz nicht weiter verfolgt, sondern eine *Migration* in ein für die Archivierung geeignetes Format bei der Übernahme vorgeschlagen. Hierzu beinhaltet der Bericht eine Bewertung von Formaten hinsichtlich Zukunftssicherheit und Anwendbarkeit in der erwarteten Nutzerschaft verbunden mit dem Hinweis, dass die Wahl konkreter Formate dem Stand der internationalen wissenschaftlichen Diskussion folgen soll und einer Einzelfallbetrachtung bedarf. Trotz Verweis auf eine Einzelfallentscheidung, spricht die Leitlinie für verschiedene Produkttypen Empfehlungen aus, die sich auf den Erhalt *signifikanter Eigenschaften* der Datenbestände beziehen. Folgende Formate für Vektordaten befanden sich in der Diskussion: ESRI Shape, Geography Markup Language (GML) mit dem Profil Normbasierte Austauschschnittstelle (NAS) und beliebiges GML. Bei Shape wurden neben fehlenden Darstellungsmöglichkeiten, wie Punktbeziehungen oder Kreisbögen, die Vielzahl nötiger Einzeldateien sowie die fehlende nationale und internationale Standardisierung bemängelt. Die Leitlinie spricht sich für eine Abgabe im Format NAS aus, welches als Standardschnittstelle für die AAA-Modelle (AFIS, ALKIS, ATKIS) dient. Falls dieses Format nicht verfügbar ist, kommt ESRI Shape oder GML Simple Feature in Frage, für einfache Punktgeometrien genügt CSV (Comma-Separated Values).

Für die Archivierung von Rasterdaten aus bildgebenden Verfahren stehen die Formate TIFF und JPEG2000 zur Diskussion. Obwohl sich TIFF lange Zeit bewährt hat, wurde der hohe Speicherbedarf, die eingeschränkte Leistungsfähigkeit der angebotenen Kompressionsverfahren sowie die Variantenvielfalt und die damit verbundenen Validierungsprobleme beanstandet. Wegen der zunehmenden Akzeptanz in Archiven favorisieren die Autoren JPEG2000, bevorzugt in der Variante mit verlustfreier Kompression. Bei einer verlustbehafteten Kompression sollte das Ausmaß des Informationsverlusts genau belegbar sein. Für die Georeferenzierung, die als signifikante Eigenschaft für geografische Rasterdaten gilt, wird World File empfohlen, welches auch für TIFF und JPEG anwendbar ist. Offen geblieben ist der künftige Umgang mit den großen Datenmengen, die sich aus der Fernerkundung ergeben. Hierzu empfiehlt die Arbeitsgruppe den Bundesländern, die fachlichen Diskussionen bezüglich Rasterdaten und Kompressionsalgorithmen im Vermessungs- und Archivwesen aufmerksam zu verfolgen und gegebenenfalls Formatmigrationen oder Änderungen der Liefervorgaben anzustoßen.

Einen weiteren Bestandteil des Leitfadens betreffen Datentabellen, punktförmige Geometrien und nicht-bildhafte Rasterdaten, für welche CSV nach IETF RFC 4180 mit der Zeichencodierung ASCII empfohlen wird, ergänzt durch eine Beschreibung der Tabellen und Felder als XML-Dokument oder ersatzweise als Textdokument. Für die Speicherung von Textdokumenten wird ausschließlich PDF/A als geeignet erachtet, wobei die konkrete Variante jeweils bilateral zu vereinbaren ist. Für die Übertragung großer Datenmengen stehen als Containerformate ZIP und TAR/GZIP auf der Empfehlungsliste.

Die Leitlinie unterstreicht auch die Bedeutung von Metadaten für eine vollständige Authentizität und korrekte Interpretierbarkeit von digitalen Objekten. Bei Metadaten handelt es sich in

diesem Kontext um jene Daten, die zur Beschreibung, Erhaltung oder Verwaltung von Geodaten dienen und von den Vermessungsverwaltungen in standardisierter, maschinenlesbarer Form erhoben werden. Hierbei spielt der Metadatenstandard für Geodaten ISO 19155 eine entscheidende Rolle. Die Autoren empfehlen aus Gründen der Einheitlichkeit den gesamten Datensatz entsprechend dem AdV-Profil zu übergeben. Die weitere Verwendung obliegt dann den Archiven. Des Weiteren wird angeraten, begleitendes Informationsmaterial als Text- oder Videodokument mitzuliefern, wie Produktblätter, Formatspezifikationen oder Schulungshilfen. Der Leitfaden enthält eine Übersicht jener Metadaten, die für die Archivierung besonders relevant oder für die Übergabe nützlich sind. Als wichtigste Metadaten speziell für die Bestandserhaltung listet die Empfehlung folgende Bestandteile: Kompressionsmethoden, Präsentationsformen, Produktionsumgebungen, wie Software und Betriebssysteme, und schließlich Bezeichnung und Beschreibung der Datenformate (Anmerkung: Zu den Erhaltungsmetadaten können auch die oben genannten Formatspezifikationen hinzugezählt werden. Im Sinne des OAIS-Referenzmodells handelt es sich bei diesen Daten zusammenfassend um jene, die das Konzept der Repräsentationsinformationen realisieren).

Des Weiteren liefert die Leitlinie praktische Hinweise zur Anbietung von Geobasisdaten durch die Vermessungsverwaltungen und zur Übergabe an die Archive. Hierzu wird ein idealtypisches Verfahren skizziert, welches folgende vier Stufen umfasst: Anbietung durch die abgebende Behörde, Bewertung durch das zuständige Archiv, Vorbereitung der Abgabe u. a. mit der Erstellung der Informationspakete für die Einlieferung (SIP nach OAIS) und schließlich Übergabe an das Archiv. Die ersten beiden Schritte können aufgrund der bereits erarbeiteten Bewertungen und Empfehlungen im Regelfall entfallen. Auf jeden Fall soll der Aussonderungsprozess vorab in einer bilateralen Vereinbarung geklärt werden, wobei auch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen sind. Weitere Hinweise finden sich zur erstmaligen Übergabe, zur Festlegung von Piloten und von exakten Zeitschnitten, zu Dateinamenskonventionen, zur Portionierung der Geobasisdaten und zur Paketierung für die Abgabe, zur Festlegung der Beziehungen zwischen Daten und Metadaten, der Kompressionsverfahren, der Sicherungsmerkmale für eine sichere Übertragung, und schließlich zur Abstimmung künftiger Abgabeverfahren. Eine Notwendigkeit für digitale Signaturen sieht die Arbeitsgruppe nicht, bezüglich einer Verschlüsselung erfolgt keine generelle Festlegung. Die Festlegung des Übergabezeitpunktes und des Übertragungsweges soll u. a. wegen des großen Datenumfanges bei jeder Abgabe abgestimmt werden.

Ein weiteres Themengebiet umfasst die rechtliche Sicht aufgrund der Archivgesetze einerseits und spezifischer Gesetze zu Geodaten und zu Unterlagen der öffentlichen Verwaltung andererseits. Obwohl nach einer Umwidmung zum Archivgut grundsätzlich die Archivgesetze gelten, weist die Arbeitsgruppe auf mögliche Kollisionen mit anderen Normen hin und zeigt nach welchen Prinzipien sie ggf. aufzulösen sind.

4.3.2 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Die Leitlinie skizziert, welche technischen und organisatorischen Maßnahmen zu ergreifen sind, um digitale Geobasisdatenbestände der Vermessungsverwaltungen der Länder in einer möglichst einheitlichen Form zu archivieren. Obwohl sich die Ausführungen explizit auf die Archivierung beziehen, können sie auch für die Langzeitspeicherung bzw. Langzeitnutzbarkeit im Bauwesen wichtige Hinweise geben. Dies trifft vor allem auf folgende Punkte zu:

- den Umgang mit großen und komplexen Datenbeständen mit sogenannten Spezialformaten

- die Erstellung von Kriterien zur Bewertung und Auswahl der Datenbestände im Hinblick auf eine künftige Nutzung
- die Bestimmung von Metadaten speziell für den dauerhaften Informationserhalt
- die Bewertung und Auswahl geeigneter Datenformate für die Langzeitnutzung (nicht nur für Geodaten)
- die Festlegung optimaler Migrations- und Übergabezeitpunkte
- die zuverlässige Zuordnung von Daten und Metadaten
- den Transfer aus aktiven Systemen in spezifische Systeme für die Archivierung bzw. Langzeitspeicherung sowie die zugehörigen organisatorischen Regelungen
- die Nutzung digitaler Signaturen, die in diesem Kontext als überflüssig erachtet wird.

Einschränkungen für eine Übertragung der Empfehlungen aus der Leitlinie auf das öffentliche Bauwesen und die Langzeitspeicherung ergeben sich im Wesentlichen aus folgenden Unterschieden:

- eine Beschränkung auf Basisdaten genügt nicht den Anforderungen des Bauwesens
- die Unbestimmtheit des Begriffs Basisdaten für Bauwerke und Bauprozesse
- erschwerte Ableitbarkeit von Modellen aus anderen Modellen und Bestimmbarkeit von Redundanz aufgrund der komplexen Abhängigkeiten unterschiedlicher Fachsichten und Planungsstände im Bauwesen¹⁸
- die Dominanz proprietärer Formate für Bauwerke und Bauprozesse, die u. a. die Betrachtung des Emulationsansatzes nicht ausschließen sollte
- einfachere Festlegung von räumlichen und zeitlichen Grenzen für die Datenbestände und Informationspakete durch Entitäten wie Bauwerke bzw. Bauwerksabschnitte, Liegenschaften bzw. Teilliegenschaften, Projekte und formale Vorgaben z. B. aus den Haushaltsordnungen; daher in der Regel keine Notwendigkeit zur Festlegung von künstlichen Grenzen aufgrund der räumlichen Ausdehnung
- die Priorität von Belangen der öffentlichen Verwaltung über die von künftigen Archivnutzern entsprechend der Zielsetzung einer Langzeitspeicherung. Dies betrifft z. B. die Anbindung an Fachdatenbanken des Bauwesens, die Vergabe beschreibender Metadaten für die Verwaltungsarbeit oder die Struktur von Informationspaketen entsprechend den Zugriffserfordernissen der Bauverwaltung.

Die Abstützung bei der Systementwicklung auf das standardisierte Referenzmodell OAIS bietet unabhängig von der Unterscheidung zwischen Bauen und Vermessen bzw. zwischen Archivierung und Langzeitspeicherung Vorteile, insbesondere wenn eine langfristige und integrierte Nutzung von Bauwerks- und Geodaten ansteht. Die Bezugnahme auf OAIS erfolgte in der Leitlinie bisher jedoch nur ansatzweise, ergänzende Standards fanden keine Berücksichtigung. Aus den Leitlinien hervorzuheben sind der Verzicht auf digitale Signaturen, die zunehmende Bedeutung von PDF/A für Textdokumente, das Abrücken von TIFF zugunsten von JPEG2000 bei Rasterdaten sowie die Bevorzugung standardisierter und offener Formate. Eine vertiefte Diskussion zu PDF/A, z. B. zu den 3D-Fähigkeiten oder zur Formatvalidierung, wie sie die Archivierungscommunity führt, enthält das Dokument jedoch nicht. Insgesamt verdeutlichen diese Leitlinien die Erfordernis, für die Langzeitnutzbarkeit digitaler Objekte klare technische und organisatorische Regelungen aufzustellen.

¹⁸ Vgl. hierzu die vertiefte Darstellung der prinzipiellen und strukturellen Unterschiede zwischen CityGML und IFC/BIM und der jeweils dadurch repräsentierten Fachkonzepte: Thilo Brüggemann, Petra von Both; 3D-Stadtmodellierung: CityGML, Kap. 10.3, S. 187-192 in [Borr2015]

5 Ausgangssituation und Aktivitäten in den Staatlichen Bauverwaltungen

Die Bayerische Staatsbauverwaltung hat den Wert der vorhandenen digitalen Bauwerksinformationen erkannt und bereits erste konkrete Maßnahmen ergriffen, um die Langzeitspeicherung und den Übergang in die staatlichen Archive zu verbessern. Bereits im Rahmen des Forschungsverbundes ForBAU Virtuelle Baustelle artikuliert die Autobahndirektion (ABD) Südbayern in der Rolle eines Bauherrn, dass die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus sicherzustellen sei und daher prinzipiell alle mit dem Bauwerk verbundenen Dokumente verfügbar sein müssten. Zu den Unterlagen zählen nicht nur Pläne, statische Berechnungen, Prüfzeugnisse, Baustoffinformationen, sondern auch Angaben zu Bauabläufen und Baubehelfen [Günt2010, S. 11]. Des Weiteren beauftragte die OBB (Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr) im Jahr 2013 die ABD Nordbayern mit einem Projekt zur Langzeitarchivierung. Die CAD-Stelle Bayern entwickelte bereits vor mehreren Jahren erste Konzepte, um insbesondere digitale CAD-Pläne des Hochbaus langfristig zu erhalten, wobei auch frühzeitig die Methode BIM in die Überlegungen Eingang fand. Der mehrjährige Informationsaustausch mit der Universität der Bundeswehr München führte schließlich zu dieser gemeinsamen und praxisorientierten BBSR-Studie.

5.1 Pilotprojekt Langzeitarchivierung in der StBV (ABD Nordbayern)

Laut Ergebnisbericht [Hasp2016] wurde dieses Pilotprojekt zur Langzeitarchivierung in der StBV (Staatliche Bauverwaltung Bayern) Ende 2013 von der OBB beauftragt und Anfang 2016 abgeschlossen. Anlass war, dass in der Bauverwaltung die Archivierung von Bestands-, Projekt- und Maßnahmendokumentation einschließlich der zugehörigen Pläne in digitaler Form über einen längeren Zeitraum in großer Menge nötig ist. Da sich die Daten nach einer Archivierung nicht mehr ändern und daher keine regelmäßige Datensicherung erfordern, ist die Speicherung auf teuren redundanten Speichersystemen nicht mehr geboten. Dennoch ist ein direkter Zugriff durch die Sachbearbeiter ohne administrative Zwischenschritte gefordert.

Als Pilotamt diente die ABD Nordbayern und das Projekt sollte primär die Anforderungen einer ABD betrachten, die dann auch dem vergleichbaren Bedarf eines Bauamts gegenüberzustellen und zu bewerten waren. Alle Anforderungen sollten genau definiert und von anderen Dokumentationsformen abgegrenzt werden. Schließlich sollten anhand der Forderungen Hard- und Softwaresysteme evaluiert und das geeignetste System getestet werden.

In der Einleitung enthält der Projektbericht eine Klärung der Begriffe Archivierung und Langzeitspeicherung. Sie entspricht den Definitionen, die bereits eingangs des vorliegenden Berichts erfolgten. Demnach handelt es sich entgegen den umgangssprachlichen Gewohnheiten bei diesem Projekt um eine Langzeitspeicherung. Die Daten werden zwar nicht mehr geändert, sie bleiben aber im Zuständigkeitsbereich der Bauverwaltung. Des Weiteren weist der Bericht darauf hin, dass es sich bei der aktuellen Datensicherung um einen Schutz der Daten gegen Verlust handelt, der die Wiederherstellung des Standes von Dateien zu einem bestimmten Zeitpunkt erlaubt, jedoch nicht von bestimmten Versionen (Versionsarchiv). Das momentane Backup-Verfahren lässt unberücksichtigt, dass sich ein Teil der Daten nicht mehr ändert und daher keine laufende Sicherung erfordert.

Die Ausgangssituation ist dadurch charakterisiert, dass die Daten dezentral in den einzelnen Ämtern für die laufende Bearbeitung gehalten und "archivwürdige" Daten in einem speziellen zentralen Dateiverzeichnis aufgenommen werden (ZAK – Zentrale Archivierungskomponente). Als archivwürdig gelten u. a. Pläne, alle Daten abgeschlossener Projekte und Schadensvorgänge. Außerdem existieren außerhalb dieses speziellen Verzeichnisses weitere Sammlungen archivwürdiger Daten, die zentral abgelegt und in der Regel mit selbst erstellten Datenbanken verwaltet werden. Das ursprünglich als Planarchiv gedachte ZAK-Verzeichnis mit einer Größe von 1 TB zum Berichtszeitpunkt wächst stark an, da ständig eingescannte Pläne sowie weitere Daten hinzukommen. Die vorhandene Hardware entspricht jedoch hinsichtlich Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit nicht mehr den Anforderungen. Dennoch besteht die Notwendigkeit, eine große Menge an Bestandsplänen sicher zu speichern und wiederauffinden zu können. Diese Situation nennt der Bericht als Anlass, das Pilotprojekt zu initiieren.

Der Bericht listet eine Reihe von Anforderungen an ein System zur Langzeitspeicherung auf. Wegen der Wichtigkeit der Daten dürfen sie nicht verloren gehen oder durch Speicherfehler verfälscht werden. Die Daten müssen langfristig auffindbar bleiben, wofür eine gezielte Suche auf Basis der Metadaten möglich sein soll. Die bisherige Vorgehensweise für eine Suche mittels Datei- und Verzeichnisnamen sowie die dezentrale Führung von Metadaten zu den Bestandsplänen in Datenbanken oder Excel-Dateien werden als ungeeignet eingeschätzt. Da es sich teilweise um vertrauliche Daten handelt und der Zugriff auf die Ablage auf ausgewählte Personen beschränkt werden soll, ist eine Berechtigungsstruktur vorzusehen. Weil eine Nutzung und Änderung der Daten seltener stattfindet als bei Arbeitsdaten, lassen sich die Systemanforderungen bezüglich einer Datensicherung und konkurrierender Zugriffe reduzieren. Die Schätzung für den Speicherplatzbedarf beträgt 5 TB.

Drei Alternativen zur Umsetzung der Anforderungen standen zur Auswahl: erstens die herkömmliche Vorgehensweise mit lokaler Speicherung im Amt, zweitens die Anmietung von Speicherplatz in einem Rechenzentrum, drittens der Einsatz einer bereits angebotenen und in einer anderen Behörde genutzten Langzeitspeicherung in einem Rechenzentrum.

Die erste Alternative mit lokaler Speicherung mittels günstiger Festplattensysteme hat den Vorteil geringer Anschaffungskosten und einer in den Ämtern gewohnten Handhabung und eingeführten IuK-Struktur. Als Nachteile werden aufgeführt: geringere Zugriffsgeschwindigkeit als mit zentralen Filern, kein Schutz gegenüber Speicherfehlern, lange Wiederherstellungszeiten aus Datensicherungen, unzureichende Suchmöglichkeiten aufgrund der übernommenen Ablagestrukturen. Außerdem muss alle fünf Jahre die Hardware ausgetauscht werden, was eine Datenübertragung erfordert, die das Risiko eines Datenverlusts oder hohen Nachbearbeitungsaufwands birgt.

Die zweite Lösung, eine Anmietung von Speicherplatz, wurde wegen offener interner organisatorischer Fragen verworfen. Unabhängig davon wird die Leistungsfähigkeit der angebotenen NetApp-Filer als über den Bedarf hinausgehend eingestuft.

Die dritte Alternative, die Nutzung eines Langzeitspeichersystems in einem Rechenzentrum, hat zahlreiche Vorteile: eine wesentlich höhere Sicherheit, Integrität und Verfügbarkeit der Daten über längere Zeit gegenüber einer Lösung auf Ämterebene, komfortable Suchfunktionen auf Basis eines Datenbanksystems, eine Schnittstelle zum Staatsarchiv zur Automatisierung der Aussonderung bzw. Übernahme, Aufnahme aller Sonderfälle, sodass alle Dateien in einem System liegen. Die Nachteile betreffen die Systemkosten, den Aufwand für individuelle Aufnahmen und den Verlust an Datenhoheit auf Ämterebene.

Aufgrund einer Abwägung der Vor- und Nachteile wurde ein Pilotbetrieb mit Nutzung eines Langzeitspeichersystems als eine von einem Rechenzentrum betriebene IT-Basiskomponente des Landes Bayern angestrebt. Für die Durchführung der Tests wurden Bestandspläne aus dem Planarchiv ausgewählt, für die übrigen, als einfach strukturiert eingeordneten Daten, sollte lediglich ein Angebot des Rechenzentrums erstellt werden, die Übernahme von den komplexer strukturierten Projektarchiven wurde zurückgestellt, da wegen der zu geringen Anzahl erfasster Projekte noch keine Aussagen zur Datenqualität möglich waren.

Für die Übernahme der Daten in das Testsystem wurde ein Skript erstellt, das die Plandateien und die zugehörigen Metadaten aus einer Excel-Datei ausliest. Mit einem Plan können beliebige Dateien verknüpft werden, um z. B. verschiedene Varianten der Pläne bezüglich der Formate, vorerst TIFF und PDF, zu berücksichtigen. Diese Verknüpfungsmöglichkeit erlaubt außerdem die Aufnahme weiterer Dokumente wie statische Berechnungen oder Gründungsgutachten. Des Weiteren stehen in der Testversion Masken für die Eingabe und Suche zur Verfügung, welche auch durch die Bauverwaltung mittels eines Maskendesignprogramms angepasst werden können. Als Implementierungsbasis dient Doxis 4 webCube.

Der Test offenbarte eine Reihe von Problemen: der hohe Aufwand für die Restrukturierung der in Excel gespeicherten Metadaten, die fehlende Eindeutigkeit der Speicherorte von Plänen und der damit verbundene Nachbearbeitungsaufwand durch die amtsseitige IuK trotz guter Ablagestruktur, Abweichungen zwischen den einzelnen Ablagestrukturen mit der Erfordernis der individuellen Anpassung der Einleseskripte, eine Abhängigkeit der Identifizierung von Plänen von der Arbeitsweise der zuständigen Sachbearbeiter. Die Erstellung des Einleseskripts hat einen Großteil der Projektkosten aufgezehrt. Wegen der uneinheitlichen Datenstrukturen und Datenqualitäten sind die Kosten für weitere Ämter nur schwer kalkulierbar. Ein weiteres Problem besteht in der fehlenden Anbindung der Hardware an das Bayerische Behördenetz, was die Anmietung von Speicherplatz und das Einspielen von Massendaten verhindert.

Demgegenüber steht eine Reihe von Vorteilen. So besteht ein Schutz vor Großschadensereignissen, da die Daten redundant an zwei verschiedenen Orten gespeichert sind. Die virtualisierten Systeme liefern einen kontinuierlichen Betrieb und das kritische Umkopieren der Daten vor Ort entfällt. Einen Teil der Systempflege kann auch die Bauverwaltung übernehmen wie das Anpassen von Masken oder Einleseskripten. Außerdem erlaubt das System eine breite Nutzerschaft, die vom Datenpfleger bis zur Bauleitung reicht. Schließlich ermöglicht die neue Lösung eine wesentlich schnellere und komfortablere Suche. Im Fazit des Projektberichtes wird festgestellt, dass sich das System trotz des hohen Anfangsaufwands zur Bewältigung der akuten Probleme der Langzeitspeicherung sehr gut eignet und dass es bei den Nutzern auf eine große Akzeptanz stößt. Als unbedingt nötig erachtet wird eine ämterübergreifende Festlegung und Vereinheitlichung der Metadaten. Den größten Aufwand verursacht die Übernahme der digitalen Pläne, da die Einleseskripte für jede Organisationseinheit angepasst werden müssen. Eine Aussage, wie hoch der Aufwand für ein Bauamt im Vergleich zur ABD ist, lässt sich nicht treffen.

Inzwischen hat die OBB entschieden, den Piloten in den Produktivbetrieb zu übernehmen. Zuerst sollen alle Dateien des Planarchivs der ABD Nordbayern, und somit auch die Plot-Dateien, übernommen werden. Voraussichtlich besteht auch die Möglichkeit, die Daten online zu übertragen.

5.2 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Obwohl dieses Pilotprojekt bestimmte Fragen der digitalen Langzeitnutzbarkeit ausklammert sowie ämter- und länderspezifischen Randbedingungen unterliegt, gibt es wertvolle Hinweise für den Entwurf eines Systems zur Langzeitspeicherung großer Datenbestände in öffentlichen Bauverwaltungen. In Bezug auf das OAIS-Referenzmodell ist die Pilotimplementierung im Wesentlichen den Funktionseinheiten Archivspeicher (Archival Storage) und Datenmanagement (Data Management) zuzuordnen. Die genannten Metadaten, wie Bauwerksart, Straßenbezeichnung oder Planart, gehören zu den Erschließungsinformationen (Descriptive Information) als Teil des Datenmanagements.

Das Pilotprojekt offenbart die Schwächen einer Datenverwaltung auf Basis von Dateisystemen. Trotz Disziplin und Engagement der Mitarbeiter ist eine hohe Zuverlässigkeit der Datenablage kaum erreichbar. Dieser Ansatz erschwert bereits vom Konzept her eine flexible Suche und Strukturierung der Dateien erheblich. Besonders die Restrukturierbarkeit ist unter Gesichtspunkten der Langfristigkeit besonders wichtig, da organisatorische, technische und rechtliche Änderungen im Verkehrswegebau sowie ein Wandel in der IT-Technologie nicht ausbleiben werden. Flexible, kontrollierbare und robuste Mechanismen zur Verbindung von digitalen Inhalten mit Metadaten sieht dieser Ansatz ebenfalls nicht vor. Metadaten erleichtern aber nicht nur die Suche sondern auch die Administrierbarkeit der Daten. Mit den entsprechenden Metadaten und Datenbanksystemen lassen sich eigenständige virtuelle Objekte (Sichten bzw. Views) erzeugen, mit denen sich u. a. relativ einfach eine feingranulare Rechtevergabe realisieren lässt. Damit kann auch die Datenhoheit einzelner Organisationseinheiten bei einem gemeinsamen System zur Langzeitspeicherung in einem gewissen Maß bewahrt werden. Wegen der für die Langzeitnutzung elementaren Bedeutung von Metadaten ist die im Projektbericht aufgestellte Forderung nach einer ämterübergreifenden Vereinheitlichung der Metadaten voll zu unterstützen. Auf dem Weg zu einem OAIS-konformen System wäre eine Ergänzung um sogenannte Erhaltungsmetadaten (Preservation Metadata) vorzunehmen, die die *Repräsentationsinformationen* entsprechend dem OAIS-Referenzmodell darstellen. Die Übertragung der Verwaltung der Speichermedien von den Ämtern zu einer spezialisierten Organisationseinheit ist ebenfalls positiv zu bewerten, sofern der interne oder externe Dienstleister professionell auf die Anforderungen der Ämter reagieren kann. Die Bitstromerhaltung ist schließlich die elementare Grundvoraussetzung für einen langfristigen Erhalt digitaler Informationen.

5.3 Informationsaustausch Mitarbeiter ABD Nordbayern – Studienteam UniBwM

Eine Besprechung mit Mitarbeitern der ABD Nordbayern an der CAD-Stelle Bayern in München und eine weitere an der ABD Nordbayern in Nürnberg im Rahmen der Studie erlaubte dem Studienteam der UniBwM, einerseits diese BBSR-Studie und weitere Arbeiten zur digitalen Langzeitnutzbarkeit zu erläutern, und andererseits, einen Einblick in die IT einer Straßenbauverwaltung zu gewinnen.

Zunächst konnte ein Überblick über die IT-Landschaft und über die langfristig relevanten Daten und Komponenten erlangt werden. So dominiert im Brückenbau das CAD-System AutoCAD und in der Planregistratur werden die Daten in den Formaten PDF und TIFF gehalten. Alte analoge Pläne existieren in gescannter Form, immerhin wurden bis zum Jahr 2000 noch handgezeichnete Versionen abgeliefert. Alte digitale Pläne sind aufgrund der inzwischen durchgeführten Programm-Updates häufig nicht mehr lesbar, als Beispiel wurden Dateien des CAD-Systems Augustus der Firma CapGemini genannt. Zur Betrachtung der ebenfalls vorhandenen

Plot-Dateien (HPGL) kommt *Normica View* zum Einsatz. Für Brückenbaumaßnahmen steht auch ein Virtueller Projektraum (VPR) der Firma Smarter Business Solutions Germany GmbH, jetzt durch Fusion novaCapta Software & Consulting GmbH, mit einem definierten Workflow für die Planbearbeitung zur Verfügung, was u. a. zu einer Verkürzung der Planläufe und einem dokumentierten Arbeitsfluss einschließlich digitaler Signaturen führt. Nach Beendigung eines Projekts werden nur die gültigen Dokumente entnommen und die restlichen gelöscht sowie der Projektraum geschlossen. Im Gegensatz zum Hochbau gestaltet sich die externe Kommunikation jedoch einfacher, da bis zum Bestandsplan in der Regel nur ein Planer beteiligt ist. Im Straßenbau kommt RIB iTWO civil als Nachfolger von RIB STRATIS zum Einsatz. Beide besitzen eine Schnittstelle zu OKSTRA (Objektorientierter Katalog für das Straßen- und Verkehrswesen), für dessen Pflege die BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) verantwortlich ist. Auf länderspezifische Abweichungen wurde hingewiesen. Da OKSTRA nicht alle Aspekte einer Infrastruktur abdeckt, kommt für die Entwässerung zusätzlich ISYBAU (Integriertes DV-System-Bauwesen) zum Einsatz. Bezüglich der Langfristigkeit wird der konzeptionelle Ansatz von OKSTRA grundsätzlich als positiv bewertet. In der Praxis traten jedoch Probleme beim Einlesen von älteren Versionen in STRATIS auf, die den Rückgriff auf einen Konverter der BAST erforderten. Die Frage der Übertragung alter Projekte nach iTWO civil war zum Zeitpunkt der letzten Besprechung (03/2016) noch offen. Der Datenumfang umfasst in den Arbeitsverzeichnissen des Strecken- und Brückenbaus an der Direktion knapp zwei Millionen Dateien mit knapp 3 TB Speicherbedarf. Eine ähnlich hohe Speicherkapazität beanspruchen die drei Dienststellen im Bereich der ABD.

Aus Sicht der Nutzer erweist sich die Suche mittels MS-Explorer als mangelhaft. Die Dokumente bleiben zwar auffindbar, beklagt werden aber insbesondere die umständliche und zeitaufwendige Navigation in den umfangreichen Dateibeständen sowie eine Abhängigkeit von den "Speicherkünsten" der einzelnen Sachbearbeiter. Außerdem wurden bei der dateisystembasierten Ablage auch technische Probleme genannt, die aufgrund langer Pfadnamen auftreten. Ein weiteres Problem besteht in der eingeschränkten Nachnutzbarkeit von CAD-Modellen, was im Allgemeinen dazu führt, dass Pläne neu zu zeichnen sind. Schließlich ergeben sich durch ÖPP-Projekte neue Fragestellungen zum langfristigen Datenmanagement. Für eine ÖPP-Referenzplanung wird das Format 3D-DXF als geeignet erachtet.

5.4 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Obwohl sich die Prozesse und Objekte im Straßenbau und im Hochbau deutlich unterscheiden und demnach auch eine dedizierte IT-Unterstützung erfordern, ergeben sich beim langfristigen orientierten Datenmanagement dennoch gemeinsame Herausforderungen. Diese betreffen insbesondere die dauerhafte und eindeutige Identifizierung digitaler Objekte, das zuverlässige Wiederauffinden von Daten und Dokumenten in großen Beständen auch nach langer Zeit, die sichere und wirtschaftliche Bitstromerhaltung, den Umgang mit den häufigen Versionswechseln der Fachanwendungen und der damit verbundenen schnell eintretenden Obsoleszenz, und schließlich die Randbedingungen, denen eine öffentliche Bauverwaltung unterliegt, wozu die Pflicht zur Aufbewahrung und zur Aussonderung gehört.

Aktuell stehen sowohl die Hochbau- als auch die Straßenbauverwaltung vor der Aufgabe, ihre Daten- und Dateiablagen zu verbessern und zukunftssicher zu gestalten. Die Ersetzung der dateisystembasierten durch eine datenbanksystembasierte Lösung ist dringend anzuraten. Die Vor- und Nachteile der beiden Ansätze in Bezug auf ein langfristiges Datenmanagement wurden bereits im Jahr 2005 in einer DFG-geförderten Studie (Deutsche Forschungsgemeinschaft) mit dem Titel "Datenbankgestützte Langzeitarchivierung" ausführlich untersucht [UniBwM2010].

Die dort getroffenen Aussagen haben trotz des Aufkommens neuer Datenbankparadigmen nach wie vor Gültigkeit.

Aufgrund der gemeinsamen Fragestellung zur digitalen Langzeitnutzbarkeit wäre aus Sicht des Studienteams der UniBwM ein regelmäßiger Informationsaustausch der beiden Verwaltungen sinnvoll.

5.5 Staatlicher Hochbau

Obwohl mit dem staatlichen Straßenbau zahlreiche Überschneidungen hinsichtlich der digitalen Langzeitspeicherung bzw. Langzeitarchivierung bestehen, finden sich im Hochbau spezifische Rahmenbedingungen, die Lösungen deutlich erschweren. Dazu zählen eine deutlich ausgeprägtere Heterogenität der Bauwerke und der Nutzerschaft, der hohe Grad an Technisierung und der damit verbundene Aufwand auch nach der Ausführung, ständig verschärfte bzw. komplizierter werdende Auflagen insbesondere in den Bereichen Energieeinsparung und Brandschutz. Brandschutzregularien spielen im Verkehrswegebau nur für bestimmte Bauwerke eine Rolle. Ein weiteres Problem besteht in der Abgrenzung von Hochbauten zu den umgebenden baulichen Anlagen bzw. Infrastruktureinrichtungen. Einige Bauwerke unterliegen darüber hinaus der Geheimhaltung oder dienen der Lagerung gefährlicher Stoffe. Hinzu kommen das teilweise beachtliche Alter der Bauwerke und eine größere Rolle des Denkmalschutzes. In manchen Fällen ist sogar der Rückgriff auf Unterlagen in den staatlichen Archiven erforderlich. Außerdem treffen im Hochbau unterschiedliche Planungskulturen aufeinander, was häufig zu weniger strukturierten Projekten als im Ingenieurbau führt.

Daraus ergeben sich spezifische Rahmenbedingungen, Produkte und Prozesse, die letztlich zu einem komplexeren Datenmanagement und zu erschwerten Voraussetzungen für eine digitale Langzeitnutzung führen.

5.5.1 Staatlicher Hochbau in Bayern

Aufgaben und Organisation

Die Aufgaben des staatlichen Hochbaus werden in der Oberstufe von der OBB (Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr), in der Mittelstufe von den Bezirksregierungen beziehungsweise der LBD (Landesbaudirektion) an der Autobahndirektion Nordbayern und in der Unterstufe von den 22 Staatlichen Bauämtern wahrgenommen. Die Regierungen sind für alle Landesbaumaßnahmen im Regierungsbezirk zuständig und führen die Fach- und Dienstaufsicht über die Staatlichen Bauämter. Bei zivilen und militärischen Bundesbauaufgaben übernimmt die Landesbaudirektion die Rolle der Fachaufsicht. Dort ist auch die Schnittstelle zu den entsprechenden Instanzen zum Bund angesiedelt, u. a. die Leitstelle Vermessung.

Charakteristisch für den Hochbau in Bayern ist die Trennung von Bauen und Betreiben. Diese Aufgaben sind in einigen Bundesländern organisatorisch zusammengeführt. So umfasst z. B. der Landesbetrieb LBB (Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung) in Rheinland-Pfalz neben dem Baumanagement auch das Geschäftsfeld Immobilienmanagement mit den Gruppen Portfolio-, Facility-, und Energiemanagement. Den grundsätzlichen Aufbau weiterer Bauverwaltungen enthält die Anlage 5 der RBBau [RBBau2016].

Der folgende Abschnitt skizziert die "staatsinternen" Prozesse laut RLBau [RLBau2011], die sich durch die organisatorische Trennung in Bayern ergeben. So verwaltet in der Regel der

Staatsbetrieb IMBY (Immobilien Freistaat Bayern), der der Rechts- und Fachaufsicht des Staatsministeriums der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat untersteht, ressortübergreifend den staatlichen Immobilienbestand. Mit der förmlichen Übergabe geht die Verantwortung für die bauliche Anlage an die *Grundbesitz bewirtschaftende Dienststelle* über. Dies ist jene Dienststelle der *Nutzenden Verwaltung* der jeweiligen obersten Staatsbehörden (Staatsministerien), die eine Nutzfläche alleine oder größtenteils beansprucht. Vom Bauamt ist der Nutzerseite eine Reihe von Unterlagen zu übergeben wie fortgeschriebene Entwurfspläne oder Schalt- und Leitungspläne technischer Anlagen, die für die Inbetriebnahme erforderlich sind. Des Weiteren sind Bestandsunterlagen anzufertigen wie Lagepläne mit Angaben zur Erschließung und zu Ver- und Versorgungsanlagen, Baupläne aller Geschosse als Grundrisse sowie Schnitte und Ansichten oder Baupläne aller technischen Anlagen. Die Grundbesitz bewirtschaftende Dienststelle und die IMBY erhalten je eine Ausfertigung der Bestandspläne in digitaler Form und als Papiausdruck. Zusätzlich nimmt das Bauamt alle fertiggestellten baulichen Anlagen in die zentrale FDH (Fachdatenbank Hochbau) auf. Die Betriebsführung ist Aufgabe der Grundbesitz bewirtschaftenden Dienststelle. Die Betriebsüberwachung hingegen ist grundsätzlich Aufgabe der Bauverwaltung. In definierten Fällen kann diese Aufgabe auch von der Grundbesitz bewirtschaftenden Dienststelle wahrgenommen werden. Zusätzlich führen diese fortlaufende Aufzeichnungen über den Verbrauch von Wärme, Kühlenergie, Strom und Wasser sowie über die weiteren Baunutzungskosten, die sie zusammen mit den Energielieferverträgen der Bauverwaltung vorzulegen hat. In Abstimmung mit der Dienststelle entscheidet das Bauamt über weitere bauliche und betriebliche Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und zur Verringerung des Energieverbrauchs.

Datenbestand und IT-Landschaft

Im Zuständigkeitsbereich der 22 Bauämter in Bayern liegen mit Stand 10/2015 4.774 Liegenschaften und 20.400 Gebäude. Um erste quantitative Aussagen zum Umfang und Wert der digitalen Bestandspläne zu gewinnen, nimmt die CAD-Stelle einen Digitalisierungsgrad von 80% an, was 16.200 Gebäuden entspricht. Durchschnittlich können pro Gebäude 65 Plandateien angesetzt werden, wovon 20 auf den Hochbau, 30 auf die TGA (Technische Gebäudeausstattung) und 15 auf den Gebäudeumgriff entfallen. Daraus ergibt sich eine Größenordnung von 1 Mio. Dateien. Legt man entsprechend dem Digitalisierungsgrad eine BGF (Bruttogeschoßfläche) von 28 Mio. Quadratmetern und durchschnittliche Erfassungskosten von 1 EUR für den Hochbau plus 2 EUR für die TGA zugrunde, so ergibt sich ohne Berücksichtigung der Umgriffe bereits ein Wert von ca. 66,5 Mio. EUR. Mit den gleichen Annahmen ergibt sich für das Staatliche Bauamt München 2, an dem die CAD-Stelle angegliedert war, ein Umfang von ca. 42.000 Dateien mit einem Wert von ca. 7,5 Mio. EUR.

Dieser Datenbestand wird neben neuen Projekten durch eine Retrodigitalisierung erweitert. Im Staatlichen Bauamt München 2 ist die Digitalisierung von rund 50.000 analogen Plänen vorgesehen, die als Transparente, Mutterpausen oder Kopien vorliegen und die üblichen Gebrauchsspuren und Mängel aufweisen wie Einrisse, Verfärbungen, Schwärzungen durch das Kopieren sowie Überklebungen durch Notizen. Als Zielformate sind TIFF (unkomprimiert) und PDF/A mit einer Bildauflösung von 300 dpi vorgesehen. Nach dem Scannen erfasst das Bauamt manuell die wichtigsten Metadaten zu den Plänen (im Wesentlichen aus den Planköpfen) mit einem bereits vorhandenen Dokumentenmanagementsystem. Schließlich erhält das Staatsarchiv die gesamten Planschränke zusammen mit den Metadaten im Excel-Format und einer Kopie der digitalisierten Pläne. Der gesamte Scanprozess soll in Losen über einen Zeitraum von 5 Jahren erfolgen.

Anmerkung: Kann das in den Plänen und weiteren Unterlagen enthaltene Wissen erschlossen werden, ist der Wert der vorhandenen Pläne deutlich höher einzuschätzen. Um das in den CAD-Modellen implizit vorhandene Know-how zu bewahren und weiterzugeben, unternehmen die Industrie und Forschung erhebliche Anstrengungen (vgl. z. B. die Auswertung des DPC-Berichts *Preserving CAD*). Die Integration von Produkt- und Prozessinformationen einerseits und geometrischen Modellen andererseits in einer möglichst standardisierten Form muss daher das Ziel einer IT-Architektur sein.

Die organisatorische Trennung von Bauen und Betreiben und die relativ hohe Eigenständigkeit der Nutzenden Verwaltungen erschweren den Datenaustausch. So sind nutzerseitig unterschiedliche CAFM-Systeme im Einsatz wie SAP RE, Allplan Allfa, IMS oder FAMOS. Das System MORADA sollte einerseits den Bauämtern eine einheitliche Schnittstelle für FM-Daten bieten und andererseits den jeweiligen Nutzenden Verwaltungen (des Landes Bayern) entweder einen direkten Zugriff oder, falls eigene Systeme vorhanden, einen bidirektionalen Datenaustausch erlauben. Eine Vereinheitlichung der Schnittstelle zu den nutzerseitigen Systemen auf Basis von IFC scheitert an einer nicht durchgehenden Unterstützung durch die Systeme. SAP RE besitzt z. B. keine IFC-Unterstützung.

Der Bauverwaltung ist es gestattet, in allen Projektphasen freiberuflich tätige Architekten und Ingenieure zu beteiligen [RLBau2011, A 2.2]. Laut Jahresbericht der Staatsbauverwaltung 2015 betrug das an FBT (Freiberuflich Tätige) einschließlich Künstler im Hochbau ausbezahlte Gesamthonorar im Jahr 2015 rund 187 Mio. EUR. Der Datenübergabe durch FBT kommt also eine erhebliche Bedeutung zu. Der Einsatz von Software ist jedoch, nicht nur fachlich bedingt, durch unterschiedliche CAD-Systeme geprägt. Eine Schätzung der CAD-Stelle für den Hochbau und die TGA aus dem Jahr 2010 belegt diese Heterogenität. Im Hochbau dominieren die Produkte der Firma Nemetschek, mit Abstand gefolgt von Autodesk-Produkten und mehreren anderen. In der TGA liegt ein deutliches Übergewicht auf Autodesk bzw. Systemen, die darauf basieren. Der Rest verteilt sich auf mehrere Systeme. Neben den FBT zählen auch ausführende Firmen im Bereich TGA zu den Datenlieferanten. Weitere Randbedingungen zur Nutzung bzw. Berücksichtigung bestimmter CAD-Systeme ergeben sich auch aus den Baumaßnahmen für die Gaststreitkräfte. So fordert z. B. das USACE (US Army Corps of Engineers) Planungen für Bauten von US-Streitkräften auf der Basis von BIM durchzuführen.

Um den Datenaustausch zu organisieren, stellen die CAD-Stelle bzw. die Bauämter Vorgaben und Hilfsmittel bereit. Das Pflichtenheft *Gebäudeplanung* umfasst allgemeine Festlegungen zur Erstellung von Zeichnungen wie Zeichnungseinheiten oder Schrifttypen. Außerdem enthält es Regeln zur Strukturierung eines Projekts auf der Basis von Ordner- und Dateinamen. Weitere Vorgaben betreffen die Datenübergabe, für die vor Projektbeginn in einem Datenaustauschbogen die Dateiformate und Datenträger festgelegt und die beim Auftraggeber und Auftragnehmer verwendeten CAD-Systeme dokumentiert werden. Schließlich enthält das Pflichtenheft Angaben zu ISO- und DIN-Standards, die bei der Zeichnungsausführung einzuhalten sind. Zusätzlich stellt die CAD-Stelle Vorlagen zur Verfügung, um die Einhaltung der Vorgaben des Pflichtenhefts, wie Layerstrukturierung oder Plankopfformate, zu unterstützen. Für AutoCAD existieren Vorlagen für alle Fachgewerke im Format DWT (Drawing Template) und für weitere CAD-Systeme für den Bereich Architektur. Ergänzend geben sogenannte Plot-Stiltabellen im produktspezifischen AutoCAD Format CTB (Colour-dependent Plot Style Table) an, welche Farben und Stifte für die jeweiligen Maßstäbe entsprechend den Vorlagen zu verwenden sind. Nicht nur bei der Datenübernahme sondern auch bei der Erstellung und Pflege von Hilfen und Vorgaben ist die Bauverwaltung durch die häufigen Versionswechsel bei den Systemen gefordert.

Die Datenverwaltung erfolgt größtenteils dezentral in den einzelnen Bauämtern. Diese beruht im Wesentlichen auf den Fähigkeiten der Dateisystemverwaltung von MS-Windows und den Vorgaben zur Strukturierung von Dateiodnern und zur Bezeichnung von Ordnern und Dateien. Trotz sorgfältiger Ausarbeitung der Vorgaben, ist die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Einheitlichkeit, Suche, Restrukturierbarkeit und Zuverlässigkeit insbesondere angesichts wachsender Datenbestände und der zunehmenden Bedeutung von Bestandsunterlagen als nicht mehr tragfähig einzustufen. Die Ausführungen zu diesem Thema im Zusammenhang mit der ABD Nordbayern gelten auch für den staatlichen Hochbau.

Unbefriedigend zeigt sich die Situation bei der Bestandsdokumentation von Außenbereichen. Die Schwierigkeiten liegen in einer unzureichenden Datenablage und in der unterschiedlichen Detaillierung und Qualität der Pläne. So liegen Pläne in digitaler und in analoger Form vor. Außerdem geben die Pläne beispielsweise unterschiedliche Ausschnitte wieder, besitzen verschiedene Dateiformate und leiden an uneinheitlichen Layerbelegungen und Beschriftungen. Die Nutzung für Neuplanungen ist daher stark eingeschränkt. Um die Situation zu verbessern, hat die CAD-Stelle ein Konzept für einen koordinierten Trassenplan erarbeitet. Eine abgestimmte und lagerichtige Darstellung aller Sparten in einer strukturierten Ablage wäre ein großer Vorteil für eine digitale Langzeitnutzbarkeit.

5.5.2 Maßnahmen der Bauverwaltung zur Langzeitnutzbarkeit und Archivierung

Eine Maßnahme, die direkt im Kontext der digitalen Langzeitnutzbarkeit steht, betrifft eine umfangreiche Formatmigration im Hochbau.

Wegen der Ablösung des Systems ALLPLAN durch Autodesk ADT (Architectural Desktop) und das CAFM-System MORADA, wurde unter Federführung der CAD-Stelle von 2004 bis 2009 eine *Migration* in mehreren Losen durchgeführt, die insgesamt etwa 400 Projekte betraf. Die Übertragung aus dem Quellsystem ALLPLAN V15 erfolgte bei den 2D-Daten über einen Export im Format STEP-CDS (Construction Drawing Subset) und einem Import in ADT 3.3 (später höhere Versionen). Für diesen Export- und Import kam der STEP-CDS-Konverter von der Firma WeltWeitBau zum Einsatz. Bei den 3D-Daten verlief die *Migration* zweistufig. Zuerst erfolgte eine *Migration* zu ALLPLAN 2003 und dann über einen Export im Format IFC2.x und einen Import mittels IFC-Utility 2x für ADT ins gleiche Zielsystem wie oben. Die alphanumerischen Daten aus der ALLPLAN-Datenbank wurden direkt nach MORADA übertragen. Bei den 3D-Daten ergab sich eine Übertragungsgenauigkeit von 85 bis 90 %. Die Ursachen lagen in zeichnungsorientierten Fehlern in den Quellzeichnungen, in formalen Fehlern bei der Strukturierung von ALLPLAN-Projekten sowie in Serienfehlern beim IFC Export/Import. Neben der reinen Formatmigration, wurden auch Verbesserungen an den Zieldateien vorgenommen, u. a. um die Vorgaben der Bauverwaltung zu erfüllen. Auch dieses Beispiel belegt, dass die *Migration* komplexer Formate häufig mit Informationsverlusten verbunden ist und ein vertieftes Wissen über Formate und Systeme erfordert.

Um den Übernahmeprozess entsprechend dem Staatlichen Archivgesetz zu unterstützen, besteht in der FDH die Möglichkeit, alle Gebäude im Zuständigkeitsbereich der staatlichen Bauverwaltung in drei Klassen einzuteilen. Als archivwürdig eingestufte Bauwerke erfordern, dass die Bauverwaltung die Unterlagen dem zuständigen Archiv anbieten muss. Nicht archivwürdig bedeutet, dass die analogen und digitalen Unterlagen ohne weitere Rücksprache vernichtet werden dürfen. Bauwerke, deren Archivwürdigkeit noch nicht vom Archiv abschließend festgestellt werden konnte, erhalten das Attribut noch nicht bewertet. Die zugehörigen Unterlagen müssen

dem Archiv angeboten werden. Zur Klassifizierung nimmt die Bauverwaltung keine Dateneingabe vor. Sollte jedoch die Bauverwaltung ein als nicht archivwürdig eingestuftes Bauwerk als archivwürdig erachten, so kann sie mit dem zuständigen Archiv Kontakt aufnehmen.

Des Weiteren untersucht die CAD-Stelle Bayern, wie künftig mit den BIM-Modellen verfahren werden soll, um eine langfristige Pflege und Nachnutzbarkeit sicherzustellen. Hierzu analysierte die CAD-Stelle die technischen Fähigkeiten verfügbarer IFC-Werkzeuge und ermittelte die Personalaufwände und Kosten, die bei deren Anwendung entstehen. Die Untersuchungen beruhen auf der 3D-Modellierung realer Bauwerke und Bauwerksumgebungen. In die Betrachtung einbezogen waren parametrische 3D-Modellierungen, energetische Analysen, räumliche Entwurfskontrollen und Kollisionsprüfungen (Clash Detection) bei der TGA, Prüfungen zur Barrierefreiheit sowie modellbasierte Raumbücher u. a. mit bidirektionalen Datenaustauschmöglichkeiten mit CAD-Systemen über IFC (Produkt dRofus). Die erstellten IFC-Modelle zeigten Mängel, was u. a. die Anwendung darauf aufbauender Analysewerkzeuge einschränkte und zu Nachbearbeitungsaufwand führte. Prinzipiell erachtet die CAD-Stelle die Nachnutzbarkeit von IFC-Modellen aus unterschiedlichen Softwareprodukten für spezifische Anwendungen und Szenarien als möglich, die native Weiternutzung der Modelle mit Hilfe anderer Software jedoch nicht. Dies ist ein gravierender Nachteil für die Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit. Des Weiteren beschäftigt sich die CAD-Stelle mit den Fragestellungen, wie integrierte Modelle langfristig gepflegt werden können, z. B. unter Einsatz einer BIM-Servers, und wie ein VPR für eine modellbasierte Projektabwicklung zu erweitern ist.

5.5.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Ausgangssituation – Virtuelle Projekträume

Aufgrund des aktuell praktizierten Datenmanagements ist die Ausgangssituation für eine Langzeitnutzbarkeit als kritisch einzustufen. Insbesondere in den Phasen Planen und Bauen stellt die Aktualisierung und Sicherung der Konsistenz der Daten eine große Herausforderung dar. In der Forschung, der IT-Produktentwicklung und der Praxis wird mit unterschiedlichsten Ansätzen versucht, diese Probleme zu lösen.

Einen pragmatischen Ansatz, um die Qualität der Informationen zu erhöhen und die Daten für eine Langzeitnutzbarkeit vorzubereiten, bieten Virtuelle Projekträume (VPR). Sie sind im Wesentlichen durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- zentrale und strukturierte Ablage von Dateien mit Versionierungs- und Auszeichnungsmöglichkeit
- webbasierter Zugriff
- Hilfsmittel zur Zusammenarbeit wie Benachrichtigung bei Änderungen relevanter Dokumente Definierbarkeit von Workflows
- Unterstützung und Integration gängiger Office-Systeme.

Für eine Langzeitspeicherung sollte ein VPR entsprechend dem OAIS-Referenzmodell die Erzeugung von Informationspaketen zur Einlieferung (SIP – Submission Information Package) unterstützen. Wesentliche Komponenten eines SIP sind neben den digitalen Objekten die *Repräsentationsinformationen* (Representation Information) und die *Erhaltungsbeschreibungen* (PDI – Preservation Description Information). Anmerkung: Diese Anforderungen werden im Bericht noch konkretisiert. Zum Verständnis vorweg einige Beispiele: Zu den Repräsentationsinformationen gehören eine exakte Identifikation der Dateiformate oder eine Beschreibung der zugrunde liegenden Bezeichnungsvorschriften für Layer. Sie dienen der Inter-

pretation der digitalen Objekte. Zu den PDI zählen *Referenzinformationen* (Reference Information), die Mechanismen identifizieren, um außenstehenden Systemen einen eindeutigen Zugriff auf die Inhalte zu ermöglichen, wie persistente Identifikatoren. Informationen zu Zugriffsrechten (Access Right Information) und zur Persistenz (Fixity Information), wie Prüfsummen oder digitale Signaturen, werden ebenfalls den PDI zugerechnet.

Die Bayerische Staatsbauverwaltung betreibt mit Unterstützung der Firma Smarter Business Solutions Germany GmbH, jetzt durch Fusion novaCapta Software & Consulting GmbH, einen VPR auf Basis von Microsoft SharePoint. Der VPR steht neben dem Brückenbau auch dem Hochbau flächendeckend zur Verfügung. Dies erlaubt eine einheitliche und strukturierte Ablage der Dokumente, was sowohl die Suche als auch die Administration der Unterlagen auf Basis entsprechender Metadaten im Vergleich zu einer MS-Explorer-gestützten Lösung erheblich erleichtert. Außerdem steigt die Zuverlässigkeit der Ablage, da das System eine kontrollierte Versionierung unterstützt und eine Überprüfung der Konventionen für Dateinamen vornimmt. Werden die Vorgaben eingehalten, werden aus den Dateinamen automatisch Metadaten generiert, die unmittelbar ohne Kenntnis der Kodierregeln verständlich sind. Im Bauwerkslebenszyklus kommt der VPR ab der Vergabe von Planungsleistungen bis zur Baufertigstellung zum Einsatz. Eingerichtet sind vier Endnutzerrollen: die Bauverwaltung, die Nutzende Verwaltung, FBT und ausführende Firmen. Die Nutzung des VPR wird vertraglich festgelegt. Der Großteil der Inhalte besteht aus Plänen in den Formaten DWG und PDF, wobei Formatvarianten bzw. -versionen nicht festgelegt bzw. dokumentiert sind. Mit Stand 09/2016 haben sich in vier Jahren im VPR insgesamt 309.000 Pläne, 37.440 andere Dokumente und 1.680 Workflows angesammelt, die zu 120 Projekten gehören und wofür insgesamt 3.900 Systemnutzer registriert waren, aktuell sind es 2.900 Nutzer. Pro Projekt arbeiten durchschnittlich 33 Nutzer, davon 9 FBT, 9 aus der Bauverwaltung, 6 von den ausführenden Firmen, 3 von den Bauwerksnutzern und 3 Sonstige. Pro Projekt werden durchschnittlich 14 verschiedene Workflows durchlaufen und pro Plan existieren durchschnittlich 3,3 Versionen und pro Dokument 1,18. Wie nach Projektabschluss mit den Daten verfahren wird, ist noch nicht entschieden. Ein Modul des VPR erlaubt den Export der Daten und eine HTML-basierte Navigation, die der im Projektraum ähnelt.

5.6 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Die Situation im staatlichen Hochbau ist als besonders komplex einzustufen, auch aus Sicht der Informatik. Dank der Unterstützung der CAD-Stelle Bayern konnte das Studententeam der UniBwM einen vertieften Einblick in die Herausforderungen und alltäglichen Probleme beim Informationsmanagement gewinnen. Somit konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, um ein Fazit zu ziehen, welches Wege zu einem technischen und organisatorischen Konzept für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement aufzeigt.

- Wie auch im Fazit zum Thema Formale Vorgaben für die öffentliche Bauverwaltung nachfolgend festgestellt, fehlt eine durchgehende, einheitliche und hinreichend formale konzeptionelle Modellierung von Bauwerken und Liegenschaften einschließlich der damit verbundenen Prozesse. Modelle zu Daten und Prozessen, die speziell der digitalen Langzeitnutzbarkeit dienen, können auf Basis des OAIS-Referenzmodells entwickelt werden. Hinsichtlich der Methodik einer Formalisierung der Datenmodellierung und Dokumentation kann OKSTRA, unabhängig von der fachlichen Adäquatheit des Modells, als Anhalt dienen.
- Das dateisystemgestützte Datenmanagement ist nicht mehr zeitgemäß und sollte durch eine datenbankgestützte Lösung ersetzt werden, die es erlaubt, robuste virtuelle Informationspakete für eine Archivablage (AIP – Archival Information Package) entsprechend dem OAIS-Referenzmodell abzubilden. So kann nach jetzigem Stand aus baufachlicher Sicht auf ein

dediziertes Archivierungssystem im Hochbau verzichtet werden. Anmerkung: Rechtliche Fragestellungen werden noch abgeklärt.

- Die zu BIM bzw. IFC genannten Defizite sind unter dem Gesichtspunkt einer langfristigen und vollwertigen Nutzung beim Entwurf einer IT-Architektur näher zu untersuchen, insbesondere ob die Probleme modellinhärenter Natur sind oder auf Bedienungs- oder Implementierungsfehlern beruhen.
- Dem Format PDF kommt eine wichtige Rolle zu. Eine vertiefte Betrachtung des Formats findet nicht statt, obwohl PDF ein komplexes Format mit zahlreichen Varianten ist und in der Praxis damit Qualitätsprobleme auftreten.
- Das Potenzial des VPR wird noch nicht ausgeschöpft. Aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit sind insbesondere eine Qualitätssicherung der Dateiinhalte und eine Generierung spezieller Metadaten zur Beschreibung von *Repräsentationsinformationen* (Representation Information) und *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI – Preservation Description Information) entsprechend dem OAIS-Referenzmodell anzustreben. Damit kann der VPR bereits als wichtiger Baustein für eine IT-Architektur zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit dienen.
- Die Situation des Datenmanagements bezüglich der Außenbereiche von Hochbauten ist zumindest bei größeren Bauwerken bzw. Liegenschaften mangelhaft. Um die Voraussetzungen für eine nachhaltige Bestandsdokumentation zu verbessern, ist u. a. zu untersuchen, inwieweit die Diskrepanz zwischen Modellen in CAD-Systemen und in GIS überwunden werden kann. Anmerkung: Dieser Sachverhalt wurde in einer Expertenrunde mit Vertretern der Landesbaudirektion an der ABD Nordbayern diskutiert.

6 Formale Vorgaben für die öffentliche Bauverwaltung

Wie jede öffentliche Verwaltung unterliegen auch die Bauverwaltungen den normativen Vorgaben für die Archivierung, die sich für die meisten Fälle des Bauwesens im Bundesarchivgesetz, in den Landesarchivgesetzen sowie in kommunalen Satzungen finden. Die Archivgesetze legen außerdem fest, dass sie auch für organisationsprivatisierte Einrichtungen gelten. So unterliegt z. B. die BImA (Bundesanstalt für Immobilienaufgaben) als bundesunmittelbare rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts dem Bundesarchivgesetz [BImAG2009, §1 Satz 1], [BArchG2013, §2 Satz 1]. Aufbewahrungsfristen ergeben sich insbesondere aus den Haushaltsordnungen des Bundes und der Länder sowie den zugehörigen Verwaltungsvorschriften, die teilweise das öffentliche Bauen direkt adressieren. Darauf aufbauende bzw. ergänzende Regelungen enthalten die bauspezifischen Richtlinien des Bundes und der Länder.

6.1 Vorgaben für alle Unterlagen

6.1.1 RBBau

Die RBBau (Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes) [RBBau2016] macht Vorgaben für die Behandlung und Aufbewahrung von Unterlagen, mit dem Hinweis, dass die bundes- und landesrechtlichen Vorschriften zur Aufbewahrung von Unterlagen, z. B. das Bundesarchivgesetz, unberührt bleiben. Hierzu listet die Richtlinie im Abschnitt K 10 Unterlagen auf, die von der bauausführenden Ebene längerfristig, nämlich drei Jahre nach Veräußerung der Liegenschaft bzw. Beseitigung des Bauwerks, aufzubewahren sind:

- Pläne, die der Bauausführung entsprechen
- Flächenberechnungen, die der Bauausführung entsprechen
- die genehmigte Entscheidungsunterlage-Bau, einschließlich der Entwurfsunterlage-Bau
- wichtige Unterlagen zur fachlichen und rechtlichen Beurteilung des Baugeschehens (z. B. gerichtliche Entscheidungen, Vergleiche, Gutachten, Verfügungen, Berichte, Bautagebuch, Zweitschriften von Mengen-, Wärmebedarfs-, Festigkeitsberechnungen mit Anlagen, abfallrechtliche Nachweise u. dgl.)
- Unterlagen über die öffentlich-rechtliche Behandlung gemäß K 14 der RBBau (Anmerkung: betrifft die Bauaufsichtsakte, in K 14 wird ausdrücklich auf die Aufbewahrungspflicht hingewiesen)
- Zweitschriften der Verträge mit freiberuflich Tätigen
- Haushaltsüberwachungslisten-Bau.

Die länderspezifischen Richtlinien unterscheiden sich inhaltlich und im Aufbau untereinander bzw. gegenüber der RBBau des Bundes, wie die folgende Auswahl zeigt.

6.1.2 RLBau Niedersachsen

Die Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Landes Niedersachsen [RLBau2015] verweisen bezüglich der Behandlung und Aufbewahrung auf die Anwendbarkeit der RBBau, sofern die Aufbewahrungsbestimmungen entsprechend den Verwaltungsvorschriften zur Landeshaushaltsordnung keine Regelungen enthalten. Ergänzend zur Richtlinie des Bundes finden sich Vorgaben zur Anbietetung und Überlassung an die örtlich zuständigen Landesarchive. Die Regeln gelten für das gesamte Schriftgut der Verwaltung auch im Fall von Pri-

vatisierungen bislang in öffentlicher Trägerschaft wahrgenommener Aufgaben bzw. im Fall der Veräußerung von Liegenschaften.

6.1.3 RLBau Bayern

Die Angaben in den Richtlinien für die Durchführung von Hochbauaufgaben des Freistaates Bayern [RLBau2011] sind relativ knapp gehalten. Bezüglich der längerfristig aufzubewahrenden Unterlagen, die sich auf Große Baumaßnahmen beschränken, verweist der Unterabschnitt "Aufbewahrungsfristen" innerhalb des Abschnitts "Rechnungslegung" auf die Auflistung im Unterabschnitt "Sonstige Rechnungsunterlagen" innerhalb desselben Abschnitts. Des Weiteren wird auf eine Anlage zu einer Verwaltungsvorschrift zur Bayerischen Haushaltsordnung (BayHO) verwiesen, die die längerfristige Aufbewahrung für sonstige Rechnungsunterlagen vorgibt [AufbewBest, Abschn. 2, 5.1.6]. Diese Vorschrift verweist auch auf eine weitere Verwaltungsvorschrift zur BayHO, die in der Anlage unter "Sonstige Rechnungsunterlagen" die länger aufzubewahrenden Unterlagen für den staatlichen Tiefbau bestimmt [AnlVV2005]. Der Unterabschnitt "Aufbewahrungsfristen" der hochbauspezifischen RLBau nennt außerdem unabhängig von der Art der Baumaßnahme längerfristig aufzubewahrende Unterlagen, nämlich alle Unterlagen, die für den Betrieb technischer Anlagen, zur Durchführung des Bauunterhalts oder zur späteren Feststellung von Schadensursachen benötigt werden (Anmerkung: Dies entspricht dem Wortlaut in [AufbewBest, Abschn. 2, 5.1.1]). Bezüglich der Aussonderung, Anbietung, Übernahme und Vernichtung von Unterlagen verweist die RLBau auf eine Bekanntmachung der Bayerischen Staatsregierung, welche jedoch keine bauspezifischen Angaben beinhaltet [Aussond-Bek2001].

6.2 Spezifische Vorgaben für digitale Unterlagen

Die zunehmende Digitalisierung in der Verwaltung hat auch ihren Niederschlag in den Gesetzen, Vorschriften und Richtlinien zur Archivierung und Aufbewahrung gefunden, wobei sich die Terminologie und Detaillierung bisher deutlich unterscheiden, wie die folgende Darstellung zeigt.

6.2.1 Bundesarchivgesetz

Im Bundesarchivgesetz heißt es: "Unterlagen im Sinne dieses Gesetzes sind Akten, Schriftstücke, Karten, Pläne sowie Träger von Daten-, Bild-, Film-, Ton- und sonstigen Aufzeichnungen [...]" [BArchG2013, §2 Abs. 3]

Das Gesetz nennt elektronische bzw. digitale Unterlagen nicht explizit und trifft keine Unterscheidung zwischen Träger (Medien), Daten und Informationen, wie es sich für eine Erhaltung digitaler Informationen als zweckmäßig erweist. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass sich die Archive intensiv mit dieser Differenzierung auseinandersetzen und hierzu ein Repräsentationsmodell zur Diskussion stellen, das sowohl digitalen Unterlagen als auch traditionellem Archivgut, bei dem die Information und das Medium mehr oder weniger eine Einheit bilden, gerecht werden soll, vgl. z. B. das Repräsentationsmodell als Konzept für die archivische Arbeit [Sand2015].

6.2.2 Archivgesetz Bayern

Im Bayerischen Archivgesetz hingegen steht: "Unterlagen sind vor allem Akten, Urkunden und andere Einzelschriftstücke, Karten, Pläne, Bild-, Film- und Tonmaterial und sonstige Datenträ-

ger sowie Dateien einschließlich der zu ihrer Auswertung erforderlichen Programme." [BayArchivG Art. 2 Abs. 1]

Diese Formulierung kommt dem Wesen digitaler Informationen schon deutlich näher, da ohne Kenntnis der Codierungsregeln Dateien in digitaler Form für eine Erfassung durch den Menschen praktisch nicht interpretierbar sind. Hier liegt die Annahme zugrunde, dass die erforderlichen Programme die Codierungsregeln verkörpern. Der langfristige und spezifische Umgang mit Programmen bleibt offen. Da auch die Programme und Hilfsmittel der Nutzung von Unterlagen zum Archivgut zählen, sind sie ebenfalls auf Dauer zu erhalten. Subsumiert man die Ablaufumgebung für Programme, also Betriebssysteme und Hardware, sowie Handbücher unter den Begriff Hilfsmittel, wären auch diese von einem Archiv dauerhaft zu erhalten.

6.2.3 Archivgesetz NRW

Ergänzend noch ein Blick in das Archivierungsgesetz von Nordrhein-Westfalen, wo es heißt: "Unterlagen [...] sind Urkunden, Amtsbücher, Akten, Schriftstücke, amtliche Publikationen, Karteien, Karten, Risse, Pläne, Plakate, Siegel, Bild-, Film- und Tondokumente und alle anderen, auch elektronischen Aufzeichnungen, unabhängig von ihrer Speicherungsform, sowie alle Hilfsmittel und ergänzenden Daten, die für die Erhaltung, das Verständnis dieser Informationen und deren Nutzung notwendig sind." [ArchivG NRW2010, §4 Abs. 2]

Diese Ausführung trifft das Wesen elektronischer Unterlagen am besten, da es eine Trennung von Aufzeichnung und Information vornimmt und die Notwendigkeit von Hilfsmitteln und Metadaten zum Ausdruck bringt. Diese Formulierung kommt dem OAIS-Informationsmodell am nächsten trotz abweichender Begrifflichkeit. In einem weiteren Paragraphen berücksichtigt dieses Archivgesetz die Tatsache, dass elektronische Unterlagen häufiger einer laufenden Fortschreibung unterliegen als analoge, und es schreibt daher explizit eine Pflicht zur Anbietung solcher Unterlagen vor [ArchivG NRW2010, §2 Abs. 1]. Ein Beispiel hierfür wären Fachdatenbanksysteme, die laufend Bauwerks- und Liegenschaftsdaten aggregieren. Eine kontinuierliche Änderung trifft insbesondere auf großflächige geografische Informationen zu. Für die Behandlung der entsprechenden Geodaten haben die Vermessungs- und Archivverwaltungen bereits Empfehlungen für eine Archivierung erarbeitet (vgl. Abschnitt Geodaten).

6.3 Bauspezifische Vorgaben für digitale Unterlagen

6.3.1 RBBau

Aufbewahrung

Im Kontext der "Behandlung und Aufbewahrung" von Unterlagen in der RBBau [RBBau2016. K 10] findet sich lediglich die Vorgabe, dass zur Sicherung digitaler Datenbestände geeignete technische Maßnahmen vorzusehen sind. Bezüglich digitalisierter Unterlagen, die Originale ersetzen, verweist die Richtlinie ohne weitere Angaben auf das Bundesarchivgesetz, das Verwaltungsverfahrensgesetz sowie auf die Richtlinie für das Bearbeiten und Verwalten von Schriftgut in den Bundesministerien.

Bestandsdokumentation und Primärdatennachweis

Nicht nur die Aufbewahrung von Unterlagen sondern auch die Fortschreibung der Gebäude- und der Liegenschaftsbestandsdokumentation während der Lebenszyklen beinhaltet Fragestellungen, die unter die Kategorie *Längerfristigkeit* entsprechend der Definition im OAIS-

Referenzmodell fallen, zumal diese Dokumentationen grundsätzlich digital zu führen sind [RBBau2016, H 2.1]. Die RBBau führt den Begriff *Primärnachweis* ein, womit die Daten der Bestandsdokumentation bezeichnet werden, die als Original während der gesamten Nutzungsphase einer Liegenschaft und den auf ihr befindlichen Bauwerken bzw. baulichen Anlagen digital fortgeschrieben und *migriert* werden. Mit der *Migration* wird ein zentrales Konzept der digitalen Langzeiterhaltung adressiert, welches als zusätzliche Aufgabe zur Datenpflege umzusetzen ist.

Die Gebäudebestandsdokumentation richtet sich nach den *Baufachlichen Richtlinien Gebäudebestandsdokumentation* (BFR GBestand), die zwischen geometrischen und alphanumerischen Bestandsdaten unterscheidet. Die Zuständigkeit für die Primärnachweisführung während des Lebenszykluses der Gebäude obliegt dem Maßnahmenträger. Die geometrische Primärnachweisführung der Gebäudebestandsdokumentation wird durch die Bauverwaltung wahrgenommen. In bestimmten Fällen obliegt der Bauverwaltung auch die Nachweisführung für alphanumerische Gebäudedaten. Die Bestandsdokumentation der Außenanlagen auf Liegenschaften des Bundes (Liegenschaftsbestandsdokumentation) richtet sich hinsichtlich Art, Qualität und Umfang nach den *Baufachlichen Richtlinien Vermessung* (BFR Verm) sowie weiteren Regelwerken des Bundes (z. B. Arbeitshilfen Abwasser für Daten zu abwassertechnischen Anlagen, Arbeitshilfen Boden- und Grundwasserschutz für Daten zu Boden- und Grundwasserkontaminationen, Arbeitshilfen Kampfmittelräumung für Daten zur Kampfmittelräumung und Entmunitonierung). Die Zuständigkeit für die Primärnachweisführung der Liegenschaft obliegt dem Maßnahmen- bzw. Bedarfsträger. Die Führung des Primärnachweises der geometrischen und alphanumerischen Daten der Außenanlagen mit baufachlichem Bezug wird von der Bauverwaltung gemäß den Leitstellenkonzepten der Länder und des BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) wahrgenommen. Im Rahmen der Liegenschaftsdokumentation ergeben sich für die Bauverwaltung Bezüge zu Geoinformationen z. B. durch Objekte der topologischen Beschreibung der Liegenschaften oder durch die Fortschreibung von Katasterdaten.

6.3.2 RLBau Bayern

Diese Richtlinie [RLBau2011] enthält im Zusammenhang mit Aufbewahrungsfristen keine für digitale Unterlagen spezifischen Vorgaben oder Hinweise. Jedoch beinhaltet jene Verwaltungsvorschrift, die auch die Aufbewahrungsfristen bestimmt, Angaben zur Handhabung digitaler Informationen [AufbewBest, Abschn. 3, 7.]. Das hierzu übergeordnete Thema lautet "Übertragung von Informationen auf andere Speichermedien", wobei sowohl analoge als auch digitale Medien in Frage kommen. Die Vorschrift thematisiert explizit den Informationserhalt und die Sicherstellung der Lesbarkeit, Korrektheit und Vollständigkeit über die gesamte Aufbewahrungszeit und die damit verbundenen Maßnahmen wie das Umspeichern oder den Wechsel von IT-Verfahren sowie durchzuführende Kontrollen. Eine Besonderheit besteht in der Einschränkung, dass Rechnungsbelege, die in Schriftform vorliegen, nur auf Speichermedien übertragen werden dürfen, die eine bildliche Wiedergabe ermöglichen (Ebd., 7.2). Ein eigener Unterabschnitt beinhaltet ergänzende, relativ detaillierte Bestimmungen zu den Speicherungsverfahren Mikroverfilmung von Schriftgut, COM (Computer Output on Microfilm) sowie Übertragung auf magnetische Datenträger und optische Speicherplatten in digitaler Form [AufbewBest, Abschn. 3 10. - 13.].

Diese Vorschrift macht, auch unter dem Gesichtspunkt der Langfristigkeit, zahlreiche Vorgaben für den Informationserhalt, die ggf. durch Dienstvorschriften zu ergänzen sind. Dabei liegt der Schwerpunkt deutlich auf der Handhabung verschiedener Speichermedien. Aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen ist jedoch die Problematik der langfristigen physischen

Speicherung von Daten, auch als Bitstromerhaltung bezeichnet, verglichen mit den anderen Fragestellungen eher untergeordnet, sofern nicht extrem große Datenmengen oder extrem lange Zeiträume in Betracht kommen. Zentral administrierte Speicher- und Backupsysteme entbinden die Endnutzer von den durchaus kritischen Aufgaben der Übertragung auf andere (externe) Speichermedien, der Lagerung und Verwaltung von Datenträgern sowie der regelmäßigen Medienmigration aufgrund physischen Verfalls oder technischer Obsoleszenz.

6.3.3 BFR GBestand

Diese Richtlinien beschreiben die Anforderungen an digitale Bestandsdaten für das Facility Management der Maßnahmen- bzw. Bedarfsträger, insbesondere der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben und des Bundesministeriums der Verteidigung und enthalten hierfür Regelungen für den Inhalt, die Struktur, die Übergabe, die Fortschreibung und Pflege sowie die Qualitätssicherung digitaler Bestandsdokumentationen auf Basis der RBBau, mit dem Ziel eines bundeseinheitlichen Mindeststandards. Diese Richtlinien differenzieren zwischen alphanumerischen und geometrischen Daten und sie machen jeweils detaillierte Angaben zu den fachlichen Konzepten, wie Gebäude, Räume oder Türen, zu deren Identifizierung sowie zur Repräsentation wie zeichnerische und textuelle Darstellungen, Codierungen und Datenformate. Weitere detaillierte Festlegungen betreffen den Aufbau und die Bezeichnung von Plänen sowie die Bildung von Dateinamen. Dort wo die Richtlinien keine Festlegungen für die Prozesse und Inhalte der Bestandsdokumentation treffen können, wird auf die Notwendigkeit projektspezifischer Abstimmungen und Vereinbarungen verwiesen. In den Regeln zur Führung des Primärnachweises wird gefordert, die Verfügbarkeit und Sicherung, die Lesbarkeit und Weiterverarbeitbarkeit der Daten im Sinne einer Langzeitarchivierung sicherzustellen. Weitere Regeln zur digitalen Langzeitarchivierung bzw. -nutzbarkeit, außer der Obliegenheit zur *Datenmigration*, sind nicht Gegenstand dieser Richtlinien.

6.3.4 BFR Verm

Diese Richtlinien dienen als wesentliche Grundlage für ein lebenszyklusorientiertes, wirtschaftliches und ganzheitliches Bau- und Liegenschaftsmanagement für Liegenschaften des Bundes, mit dem Ziel einer bundesweit einheitlichen digitalen Liegenschaftsbestandsdokumentation gemäß der RBBau. Die Richtlinien regeln Grundsätze der Struktur und Inhalte der Liegenschaftsbestandsdokumentation, die Herstellung eines einheitlichen Raumbezugs der Bestandsdaten durch Anschluss der Vermessungen an die Festpunktfelder der Vermessungsverwaltungen sowie durch die Anlage eigener, liegenschaftsbezogener Festpunktfelder, Grundsätze und Genauigkeiten der Objektvermessung sowie den Datenaustausch zur Übernahme vermessungstechnisch erfasster Daten in die Liegenschaftsbestandsdokumentation. Die Bestandsdokumentation enthält insbesondere Daten über ober- und unterirdische bauliche Anlagen, Topographie und Höheninformationen, Verkehrsanlagen, Ver- und Entsorgungsanlagen, Freianlagen, Umweltbewertung, Nutzungs- und Verwaltungseinheiten, Schutzgebiete, vermessungstechnische Objekte sowie Daten aus den Liegenschaftskatastern der Vermessungsverwaltungen. Zur Vereinheitlichung und Strukturierung der Daten dienen definierte Objektarten, die nach dem Folienprinzip (Layer) gegliedert sind. Die Strukturierung erfolgt nach fachlichen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung bestehender (externer) Fachanwendungen sowie fachlicher Regelwerke. Zur Sicherstellung einer einheitlichen grafischen digitalen und analogen grafischen Präsentation der Objekte steht ein *Signaturenkatalog* zur Verfügung. Des Weiteren enthalten die Richtlinien Vorgaben zu den Prozessen wie die Erhebung, den Austausch, die Weitergabe, die Führung, und die Qualitätssicherung der Daten sowie die Bewertung und Übernahme von Daten, die nicht nach dieser Richtlinie erstellt wurden. Bezüglich der Aufbewahrung von Unterla-

gen verweist die Richtlinie auf die analoge Anwendbarkeit der Vorgaben in der RBBau, d. h. die Unterlagen sind mindestens bis zum Ablauf der Aufbewahrungsfrist von drei Jahren nach der Veräußerung der Liegenschaft "dauerhaft aufzubewahren". Ein expliziter Verweis auf diese Regel erfolgt im Zusammenhang mit der Führung der Festpunktakte. Regeln zur digitalen Langzeitarchivierung bzw. -nutzbarkeit digitaler Unterlagen enthalten diese Richtlinien nicht.

6.4 Fazit aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit

Die Erfüllung der Vorgaben zur Archivierung, Aufbewahrung und Pflege von digitalen Unterlagen und Daten stellt die öffentliche Bauverwaltung, aber auch die Vermessungsverwaltungen, Maßnahmenträger bzw. Bedarfsträger und die Archive vor anspruchsvolle Aufgaben. Aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit ist zu den besprochenen Vorgaben folgendes zu bemerken:

- Gesetze, Vorschriften und Richtlinien lassen in der jetzigen Form erkennen, dass kein einheitliches Verständnis und keine einheitliche Begrifflichkeit zum Thema digitale Langzeitarchivierung bestehen. Der Rückgriff auf ein standardisiertes, anerkanntes und verbreitetes Referenzmodell wie OAIS kann Abhilfe schaffen.
- Eine Einheitlichkeit von fachlichen Kernkonzepten (Objekten bzw. Entitäten und deren Beziehungen) ist nicht gegeben. Verständnis-, Abgrenzungs-, Identifizierungs- und Schnittstellenprobleme sind die Folge.
- Der Umfang der Codierungsvorschriften lässt auf eine Datenkommunikation und Datenhaltung schließen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen.
- Die Notwendigkeit einer eindeutigen Objektidentifizierung ist erkannt. Ob die jeweiligen Konzepte und Mechanismen den Anforderungen der Dauerhaftigkeit genügen, ist noch zu prüfen.
- Eine rein zeichnungs- und dokumentenzentrierte statt einer modellbasierten Repräsentation von Bauwerks- und Liegenschaftsinformationen erschwert die Sicherung der Integrität der Daten. Die getrennte Betrachtung von geometrischen und alphanumerischen Daten kann insbesondere bei der vorgegebenen organisatorisch verteilten Aktualisierung zu Abgrenzungsproblemen führen, welche u. a. die durch die Primärnachweisführung geforderte Vermeidung von Redundanzen gefährdet. Anmerkung: Das Bauwerksmodell in IFC nimmt ebenfalls eine strikte Trennung zwischen Geometrie und Objekten, z. B. Bauwerksteilen, vor, wobei jedoch das Objekt als eine semantische Entität modelliert wird, der als führendes Modellierungselement über definierte Beziehungsobjekte eine oder mehrere geometrische Repräsentationen zugeordnet werden können.
- Insgesamt sollte einer einheitlichen und hinreichend formalen konzeptionellen Modellierung von Bauwerken und Liegenschaften einschließlich der damit verbundenen Prozesse mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden, um eine nachhaltige IT-Architektur, die den Anspruch eines dauerhaften Informationserhalts genügt, zu entwerfen. Auf Basis der bisher analysierten Grundlagen ist dies nur eingeschränkt möglich. Dennoch steht in Verbindung mit weiteren Dokumenten, wie den Dokumentationsrichtlinien des BBR [DRL2008] oder den CAD-Pflichtenheften der Landesbauverwaltungen, eine umfangreiche, in Teilen qualitativ hochwertige Ausgangsbasis für den Entwurf einer nachhaltigen IT-Architektur zur Verfügung.
- Schließlich sollte die Grundsatzfrage diskutiert werden, ob eine vorzeitige Vernichtung von Unterlagen, insbesondere mit technischen Inhalten, nicht mit einem Verlust von Wissen einhergeht, welches für die Planung, die Ausführung, den Abriss und das Betreiben von Bauwerken noch nützlich sein könnte. Angesichts der Verfügbarkeit großer und kostengünstiger Speicherkapazitäten und den Möglichkeiten einer strukturierten Ablage sowie eines schnellen Zugriffs könnten die Regeln aus dem analogen Zeitalter, die für eine Entlastung der Registraturen bzw. Altregistraturen sorgen sollten, überprüft werden. Außerdem besteht zusätzlich die Perspektive, Informationen aus relativ unstrukturierten Datenbeständen zu gewinnen.

7 Kernaspekte einer IT-Architektur zur digitalen Langzeitnutzbarkeit

Die Ausgangssituation für eine Langzeitnutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen ist in mehrfacher Hinsicht als problematisch einzustufen. Schwerwiegende Gründe sind vor allem;

- das bisher unzureichende Datenmanagement: Es fehlt an klaren und einheitlichen Ablagestrukturen und an Konzepten und Werkzeugen, um die Daten über die gesamte Lebensdauer von Bauwerken in einem aktuellen und konsistenten Zustand zu halten
- die Problematik der Daten- bzw. Dateiformate: Die Vielzahl der Formate und deren teilweise Geschlossenheit sowie fehlerhafte oder unvollständige Implementierung von Standards bergen ein erhöhtes Risiko für Informationsverluste.

Diese zwei Aspekte sind von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung eines IT-Konzeptes einschließlich der damit verbundenen organisatorischen Fragen. In diesem Kapitel werden verschiedene Ansätze des Datenmanagements sowie Formate vorgestellt und speziell unter dem Gesichtspunkt der Langzeitnutzbarkeit diskutiert, um daraus Vorschläge zu entwickeln, wie eine IT-Architektur in einer öffentlichen Bauverwaltung aussehen könnte und welche organisatorischen Voraussetzungen dafür gegeben sein sollten.

7.1 Datenmanagement

Risiken für ein lebenszyklusbegleitendes Datenmanagement liegen in den bestehenden Ablagestrukturen, da sie eine Wiederauffindbarkeit, eine einfache Navigation und eine Sicherstellung der Konsistenz und Kohärenz der Daten sowie eine Planung und Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen, wie Formatmigrationen, und eine Reorganisation der Daten aufgrund sich ändernder rechtlicher, organisatorischer, nutzungsbedingter oder bautechnischer Anforderungen erschweren.

Maßgeblichen Einfluss auf die Langzeitnutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen haben die Paradigmen, Konzepte, Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung der Zusammenarbeit der Beteiligten vor allem während der Planungs- und Ausführungsphase sowie die verwendeten Daten- und Informationsmodelle. Für eine Kollaboration, welche im Bauwesen eine besondere Herausforderung darstellt, existiert eine Reihe von Ansätzen, die im Folgenden vorgestellt und unter dem Gesichtspunkt der Langzeitnutzbarkeit diskutiert werden. Breiteren Raum nimmt dabei der im Rahmen des Projekts Mefisto entwickelte Multimodellansatz ein, da er relativ neu ist und einen holistischen Blick auf die Modelle und IT-Systeme des Bauwesens wirft.

Maßstäbe für eine Bewertung des langfristigen Datenmanagements liefern das OAIS-Referenzmodell sowie die DIN 31644:2012-04 Information und Dokumentation – Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive. Ein wesentliches Ziel ist die Sicherstellung der dauerhaften Interpretierbarkeit der gespeicherten Bitsequenzen und der Datenobjekte, so dass daraus Informationen gewonnen werden können, die den Anforderungen einer definierten Nutzerschaft entsprechen. Weitere Ziele umfassen die Vertraulichkeit, Integrität, Authentizität, Verfügbarkeit und Wiederauffindbarkeit von Daten bzw. Informationen. Zur Erreichung dieser Ziele dient das Konzept der Informationspakete und funktionalen Einheiten des OAIS-Referenzmodells mit einer angemessenen technischen und organisatorischen Implementierung.

7.1.1 Gemeinsame Dateiablage

Charakteristisch für diese Lösung ist, dass den Benutzern in einem Rechnernetzwerk ein gemeinsamer Zugriff auf Dateien bzw. Dateiordnern gewährt wird, wobei die Zugriffsrechte mit verschiedenen Mechanismen festgelegt werden können, z. B. relativ feingranular mit Zugriffskontrolllisten (ACL – Access Control List). Der Zugriff auf die Dateien kann sowohl zentral organisiert sein (Client-Server-Architektur, wobei die gemeinsame Ablage auch ein Cloud-Dienst erbringen kann) als auch dezentral mittels Rechnerknoten, die gleichzeitig als Konsumenten und Dienstanbieter auftreten können (Peer-to-Peer-Netzwerk). Je nach Protokoll werden eine Versionierung, ein Sperrmechanismus und eine Synchronisation für Dateien unterstützt. Damit stehen rudimentäre Funktionen für eine Kollaboration zur Verfügung, die jedoch keine domänenspezifischen Prozesse bzw. Workflows und Dateiformate kennen. Eine Diskussion dieses Ansatzes im Kontext der Kollaboration im Bauwesen findet sich u. a. in [Borr2015, Kap. 12.5.1].

Fazit

Aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit ist positiv zu vermerken, dass diese Lösung auf weitverbreiteten und häufig standardisierten Komponenten beruht, die darüber hinaus auf unterschiedlichen Betriebssystemen meist als kostenfreie Zusatzprodukte oder als integraler Bestandteil verfügbar sind und somit den Umgang mit technischer Obsoleszenz im Bereich der Dateisysteme erleichtern. Bei Cloud-Lösungen ist die Verwendung standardisierter Protokolle jedoch aktuell weniger ausgeprägt¹⁹. Die fehlende Unterstützung bauspezifischer Prozesse bzw. Workflows und Dateiformate erfordert den Einsatz zusätzlicher, ggf. eigenentwickelter Komponenten, um Anforderungen an eine Kollaboration zu erfüllen und die nötige Datenqualität für eine Langzeitnutzbarkeit sicherzustellen. Bei einer Eigenentwicklung besteht die Gefahr nicht standardisierter, schlecht dokumentierter und in größeren Organisationen divergierender Lösungen. Ein gravierender Nachteil liegt in der fehlenden Möglichkeit zur Definition von Metadatenschemata und zur Vergabe und Pflege von Metadaten, um die Dateien bzw. Dateiverzeichnisse in inhaltlicher, technischer und administrativer Hinsicht langfristig zu beherrschen. Diese Lösung eignet sich daher nur für einfach strukturierte Datenbestände, d. h. im Wesentlichen, dass nur wenige unterschiedliche Dateiformate bzw. Versionen und Varianten enthalten sind, die Dateien keinen inhaltlichen Änderungen unterliegen und sich die Beziehungen zwischen den Dateien einheitlich und direkt mit den Mitteln eines Dateisystems nachbilden lassen.

7.1.2 Dokumentenmanagementsysteme

Weitergehende Möglichkeiten zum Verwalten elektronischer Dokumente bieten Dokumentenmanagementsysteme (DMS). Der Dokumentenbegriff ist im Kontext dieser Systeme sehr weit gefasst. Vom Grundsatz her sind alle Arten von Dokumenteninhalten und Dateiformaten möglich, da die Erstellung und das Editieren von Dokumenten nicht zu den Kernfunktionen eines DMS gehören. DMS können jedoch Viewer beinhalten (ggf. durch Plugins bzw. Web Services), die unabhängig von der originären Software das Betrachten von Inhalten erlauben. Solche Viewer werden auch für zahlreiche CAD-Formate einschließlich IFC angeboten. Charakteristisch für ein DMS ist eine datenbankgestützte Verwaltung von Dokumenten auf Basis von Metadaten. Diese gestatten das Anlegen virtueller Container zur Zusammenfassung logisch zusammengehöriger Dokumente nach unterschiedlichen Gesichtspunkten, die flexible Auswahl und Sortierung von Dokumenten nach inhaltlichen, administrativen oder technischen Aspekten sowie das Ma-

¹⁹ Amazon S3, RackSpace Cloud Files, Microsoft OneDrive oder Dropbox bieten z. B. keine native Unterstützung von WebDAV (Web-based Distributed Authoring and Versioning).

nagement von Zugriffsrechten. Eine Volltextindexierung kann die Suche erleichtern. Zur Unterstützung einer Zusammenarbeit beinhaltet ein Teil der DMS-Mechanismen zur Konsistenzsicherung wie Check-in/Check-out und Versionierung, Möglichkeiten zur Annotation von Dokumenten sowie Benachrichtigungsfunktionen z. B. via E-Mail oder Messenger-Diensten. Darüber hinaus erlauben integrierte Workflowsysteme die Abbildung, Ausführung und Kontrolle mehr oder weniger komplexer Workflows. Der Markt für DMS ist breit gefächert. So existieren Systeme, die speziell für bestimmte Dokumente und Umgebungen zugeschnitten sind wie dem Maschinen- und Anlagenbau, dem Gesundheitswesen oder der öffentlichen Verwaltung.

Die Archivierung bzw. Langzeitspeicherung kann integraler Bestandteil eines DMS sein. So spielen DMS eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der E-Government-Gesetze des Bundes und der Länder. Demnach sollen Behörden des Bundes und der Länder ihre Akten und Register elektronisch führen, wobei die Grundsätze einer ordnungsgemäßen Aktenführung auch für E-Akten zu wahren sind. Dazu zählt die Einhaltung der festgelegten Aufbewahrungsfristen und sonstigen Forderungen zur Aufbewahrung wie Unveränderlichkeit und Schutz vor unberechtigtem Zugriff. Im privatwirtschaftlichen Bereich unterstützen DMS die Erfüllung formaler Vorgaben wie die GoBD (Grundsätze zur ordnungsmäßigen Führung und Aufbewahrung von Büchern, Aufzeichnungen und Unterlagen in elektronischer Form sowie zum Datenzugriff) [GoBD2014]. Die GoBD nennen Quellen, aus denen sich Aufzeichnungs- und Aufbewahrungspflichten ergeben, und machen Vorgaben zur maschinellen Auswertbarkeit, zur elektronischen Aufbewahrung, zur elektronischen Erfassung von Papierdokumenten (Scanvorgang) sowie zur Auslagerung von Daten aus dem Produktivsystem und zum Systemwechsel bzw. Systemänderungen [GoBD2014, Kap. 9]. Zur letzten Vorgabe enthalten die GoBD weitere Ausführungen, um ein Vorhalten der ursprünglichen Hard- und Software des Produktivsystems (vgl. Museumsansatz) zu vermeiden. So muss beispielsweise ein neues oder anderes System, auch ein Archivsystem, in quantitativer und qualitativer Hinsicht die gleichen Auswertungen der aufzeichnungs- und aufbewahrungspflichtigen Daten ermöglichen wie ein Produktivsystem oder bei einer erforderlichen Datenumwandlung (Migration) darf ausschließlich das Format der Daten (z. B. Datums- und Währungsformat) umgesetzt, nicht aber eine inhaltliche Änderung der Daten vorgenommen werden, wobei die vorgenommenen Änderungen zu dokumentieren sind. Eine Aufbewahrung in Form von Datenextrakten, Reports oder Druckdateien ist unzulässig, soweit nicht mehr alle aufzeichnungs- und aufbewahrungspflichtigen Daten übernommen werden.

Bei der Auswahl eines DMS kann die Fähigkeit zur Kopplung mit anderen Systemen ein entscheidendes Kriterium sein. Neben Fachanwendungen sind Kollaborationsplattformen und Portalsysteme wichtige Kandidaten für eine Integration. Zahlreiche DMS-Hersteller bieten beispielsweise Schnittstellen zu Microsoft SharePoint an, um eine Archivierung der dort verwalteten Dokumente und sonstiger Items zu übernehmen. Ein Whitepaper der Firma SER mit dem Titel „Doxis 4 Share Point ILM Manager“ zählt eine Reihe von Restriktionen auf, die eine Archivierung mittels SharePoint 2010 und 2013 behindern bzw. einschränken: keine Unterstützung verschiedener Speichertechnologien für „fixed content“ und somit keine unveränderliche Speicherung (WORM – write once read many) als Voraussetzung einer revisions sicheren Archivierung, keine Unterstützung von Cloud-Storage-Services, so dass keine hybride Speicherinfrastruktur für eine On-premises-Installation (In-house-Installation) aufgebaut werden kann, des Weiteren keine Speichervirtualisierung, so dass eine Migration auf neue Speichersysteme oder eine Aufteilung auf verschiedene Speichersysteme erschwert wird, hoher Aufwand für Backup und Recovery aufgrund großer Datenvolumina im Microsoft SQL Server. Hierzu ist anzumerken, dass derartige Aussagen durch eine Weiterentwicklung der externen Komponenten zu ak-

tualisieren sind, was ggf. dazu führen kann, dass bestimmte Entscheidungsgrundlagen hinsichtlich einer IT-Architektur hinfällig werden.

Fazit

DMS mit Archivierungsfunktionalität können als Basis für eine Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen dienen. Voraussetzung hierfür ist eine Implementierbarkeit der Informationspakete entsprechend dem OAIS-Referenzmodell, welche im Bauwesen äußerst komplex und groß ausfallen können. Ein weiteres Kriterium bildet die Exportierbarkeit der Dokumente und der Metadaten, welche die OAIS-Informationspakete bzw. OAIS-Sammlungen repräsentieren. Idealerweise sind die zugrundeliegenden Datenbankschemata und die Regeln zur Verwaltung der Dokumentdateien und Hilfsdateien offengelegt.

7.1.3 Managementsysteme für Produktdaten und Produktlebenszyklen

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von PDM-Systemen (Produktdatenmanagementsysteme) gegenüber DMS liegt in der der Ausrichtung an einem Produktmodell, welches häufig aus einem oder auch mehreren domänenspezifischen CAD-Systemen, wie Elektronik und Mechanik, stammt. Die Produktstruktur bildet die Grundlage zur Organisation der CAD-Daten und der produktnahen Daten und Dokumente. Wesentliche Ziele der Systeme sind die Sicherung der Konsistenz der Modelle und Dokumente, die Steigerung der Effektivität und Effizienz der Entwicklung durch verteilte und parallele bzw. phasenüberlappende Bearbeitung (Concurrent oder Simultaneous Engineering) und die Wiederverwendung von Bauteilen, die rechnergestützte Zusammenarbeit mit externen Partnern bei gleichzeitigem Schutz des geistigen Eigentums. Die Systeme unterstützen diese Ziele auf Basis der Produktstruktur durch Recherche- und Visualisierungsmöglichkeiten, ein Versions- und Variantenmanagement, ein Zugriffsmanagement sowie durch Kollaborationsfähigkeiten insbesondere zum Austausch von Daten und Dokumenten sowie zur Information über produktbezogene Statusänderungen. Workflow-Komponenten unterstützen dabei die koordinierte Durchführung von Arbeitsschritten.

Das Ziel von PLM (Produktlebenszyklusmanagement)-Systemen ist die Unterstützung aller Prozesse im Lebenszyklus eines Produkts mit Mitteln der Informations- und Kommunikationstechnologie. Zu den Prozessen zählen vor allem dem Entwurf und der Konstruktion nachgelagerte Prozesse wie Produktionsplanung, Produktion (digitale Fabrik), Vertrieb, Monitoring und Wartung Service, Recycling und Veräußerung, aber vorgelagerte Prozesse, wie Marktanalysen und Requirements-Engineering, als auch prozessübergreifend, wie Governance und Compliance, die auch Vorgaben zur "Archivierung" umfassen.

Trotz aller branchenspezifischen Unterschiede in der Prozess- und Produktmodellierung (siehe [Eign2016]) ist die Integration der unterschiedlichen Fachdomänen und Organisationseinheiten bzw. Unternehmen mit ihrer Vielfalt an IT-Systemen ein gemeinsames Anliegen. So gilt es, die fachspezifischen Sichten auf ein Produkt entsprechend den anliegenden Aufgaben im Produktlebenszyklus bereitzustellen und nach Änderungen in ein digitales Gesamtmodell (Digital Twin – Digitaler Zwilling) zu integrieren. Die Digitalisierung der Geschäftsprozesse, so wie für Industrie 4.0 gefordert, setzt ein vollständiges, digitales Produktmodell voraus, das den gesamten Produktlebenszyklus abbildet. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen an eine PLM-Architektur. Ein White Paper der Firma PROSTEP AG identifiziert hierzu folgende strategische Themengebiete als Handlungsfelder [Stri2017]: agile Produktentwicklungsprozesse und modulare PLM-Architekturen, Integration von ALM (Application Lifecycle Modeling)-, PDM- und ERP (Enterprise Resource Planning)-Systemen, Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering (MBSE), interdisziplinäres Varianten-, Konfigurations- und Änderungsma-

nagement, kollaborationsfähige PLM-Prozesse und Realisierung eines digitalen Mastermodells, welches ein vollständiges digitales Produktmodell darstellt, das alle verfügbaren Produktinformationen zusammenfasst und als Basis für einen digitalen Zwilling dient. An diese Aufzählung schließen sich die Aussagen an, dass sich mit den bestehenden PLM-Lösungen diese Handlungsfelder nicht oder nur mit einem hohen Implementierungs- und Administrationsaufwand adressieren lassen und dass sich PLM-Experten weitgehend einig darüber sind, dass föderative Systeme mit einer modularen und offenen Architektur benötigt werden, um systemübergreifende Datenverknüpfungen zu ermöglichen. Die Notwendigkeit föderativer Systeme entspricht damit auch dem im Projekt Mefisto verfolgtem Paradigma, das im Folgenden ausführlich vorgestellt und diskutiert wird. Die mehr oder weniger tiefe Verlinkung bestehender Systeme bzw. Modelle und ein expliziter dateibasierter bzw. containerbasierter Datenaustausch bilden daher die wesentlichen Mittel einer Integration. Für den Datenaustausch zwischen den Systemen unterschiedlicher Domänen bzw. unterschiedlicher Softwarehersteller spielen neutrale Formate (Austauschformate) eine zentrale Rolle. Dieser föderative, dateibasierte Ansatz spiegelt sich auch mehr oder weniger in den aktuell angebotenen Softwareprodukten wider.

Fazit

PDM-Systeme können eine tragende Funktion für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement einnehmen. Die Standardisierungsorganisation LOTAR (Long Term Archiving and Retrieval) hat für dieses Thema eine eigene Arbeitsgruppe eingerichtet (Product Data Management Working Group), um Standards zu entwickeln, veröffentlichen und zu pflegen, die dazu dienen, PDM-Informationen aus dem Luftfahrzeugbau in einer Form zu archivieren und wiederzugewinnen, so dass sie während des gesamten Lebenszyklus gelesen und wiederverwendet werden können unabhängig von den IT-Umgebungen mit der sie erstellt wurden. Die angenommenen Lebensdauern bzw. Aufbewahrungsfristen liegen über 50 Jahre! Als Basis für die Standardisierung dienen das OAIS-Referenzmodell und ISO 10303 AP 239 Product life cycle support (PLCS) [ISO 10303-239:2012]. Dieser PCLS-Standard adressiert verschiedene Aspekte eines lebenszyklusbegleitenden Informationsmanagements für komplexe Produkte mit langem Betreuungsaufwand. Zum Umfang des Standards zählen die Repräsentation von Produktstrukturen und Bauteilgruppen und deren Zerlegung einschließlich der Identifikation und Darstellung von Teilen und deren Versionen, Definitionen und Dokumentation, sowie Managementinformationen wie Daten und Zulassungen. Der Standard thematisiert die Darstellung von verschiedenen Sichten (View) auf eine Produktstruktur sowie eine Zerlegung in funktionaler, physikalischer, systemischer und räumlicher Hinsicht sowie die Klassifikation von Teilen, Baugruppen und Dokumenten. Zum Standard gehört auch die Spezifikation, Planung und Organisation von Aktivitäten und Aufgaben, die während eines Produktlebens durchzuführen sind. Ein weiterer Gegenstand der Standardisierung betrifft die Aufzeichnung einer Historie des Produktes und der produktbezogenen Aktivitäten. Ein Anliegen der PDM-Arbeitsgruppe ist die Bestimmung von Informationen mittels entsprechender Sichten (Views) auf das Produktmodell, die den einzelnen Lebensphasen eines Produkts gerecht werden. Dabei wird berücksichtigt, dass sich fertige Produkte von geplanten Produkten unterscheiden können und im weiteren Leben zusätzliche Änderungen erfahren können, die zu dokumentieren sind. Voraussetzung hierfür bildet ein wohl definiertes und strukturiertes Produktmodell, wie es die ISO-Reihe 10303 bietet. Ein enger Bezug besteht auch zur LOTAR-Arbeitsgruppe Meta data for Information Package, die sich mit der Definition von Prinzipien, Prozessen, Informationsstandards und Qualitätskriterien von Metadaten für Informationspakete entsprechend dem OAIS-Referenzmodell beschäftigt. Als Basis dient auch hier das Informationsmodell aus der ISO-Reihe 10303.

PDM-Systeme können das Rückgrat für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement bilden. Der große Vorteil gegenüber DMS liegt an der Ausrichtung an einer definierten Produktstruktur, was insbesondere langfristig eine automatisierte Auswertung und eine Sicherung der Konsistenz der Daten erleichtert. Entscheidend für den langfristigen Einsatz eines PDM-Systems sind Standards, die die Informationsanforderungen abdecken, eine breite Akzeptanz besitzen und korrekt implementiert sind. Die Verständlichkeit und Implementierbarkeit von Standards sind wesentliche Kriterien für den Erfolg eines Standards. Die Erfüllung dieser Kriterien stellt bei der Überarbeitung von ISO 103030 AP 239 ausdrücklich ein Ziel dar [WP ISO 103030 AP 239, Kap. 1.6].

Für das Bauwesen kann als Orientierung und konzeptionelle Grundlage das Standardisierungsvorhaben LOTAR dienen, das sich explizit der Langzeitnutzbarkeit widmet und dafür auf das standardisierte Referenzmodell OAIS sowie auf standardisierte Lebenszyklus- und Produktmodelle setzt.

7.1.4 Modellorientierung, Produktmodellserver und Kollaborationsplattformen

Produktmodellserver vollziehen den Übergang vom dokumenten-, plan- bzw. dateizentrierten zum modellbasierten Datenmanagement. Diese Lösung erlaubt grundsätzlich den direkten Zugriff eines Clients auf alle modellierten Elemente eines Produkts. Liegt der Modellierung ein strukturell objektorientiertes (also Klassen ohne Methoden) Datenmodell zugrunde, wären dies die Instanzen der Klassen (auch Entitäten genannt) mit ihren Attributwerten und die Beziehungen der Instanzen, die ebenfalls mit Attributwerten versehen sein können. Je nach Mächtigkeit der Abfragesprache bzw. sonstiger Zugriffsmechanismen wie APIs können auf dem Modell mehr oder weniger komplexe Abfragen durchgeführt werden, um ein Produktmodell zu analysieren, um domänen- und aufgabengerechte Sichten zu erstellen und um die Konsistenz der Daten zu sichern, sofern sich die Konsistenzregeln entsprechend formalisieren lassen. Von Prinzip her ist auch eine Modifikation des Produktmodells möglich. Zur Sicherung der Persistenz (Dauerhaftigkeit) werden die Modellelemente auf die Elemente eines Datenbankmodells abgebildet, wobei verschiedene Datenbankparadigmen zum Einsatz kommen können, vor allem jene, die eine effiziente Abbildung komplexer Datenstrukturen der Produktmodelle unterstützen wie objekt-relationale, objektorientierte oder key-value-basierte Systeme. Somit kann ein Produktmodellserver auch die Dienste von Datenbankmanagementsystemen nutzen. Dazu zählen u. a. die transparente Verteilung der Daten auf mehrere Server, die regelbasierte Replikation von Daten oder – eine Kernaufgabe dieser Systeme – die Ausführung gesicherter Transaktionen z. B. nach dem ACID-Prinzip, welches besagt: für A (Atomicity), dass logisch zusammengehörige Einzeloperation entweder vollständig oder gar nicht ausgeführt werden, für C (Consistency), dass nach einer Transaktion die Konsistenz der Daten entsprechend den Integritätsregeln erhalten bleibt, also z. B. keine Referenzen verloren gehen, für I (Isolation), dass sich nebenläufig durchgeführte Operationen nicht gegenseitig oder nur in einem definierten Maß beeinflussen, für D (Durability), dass die Daten nach Abschluss einer Transaktion dauerhaft gespeichert werden. Hierzu ist anzumerken, dass dieses Prinzip in verteilten oder polyglotten Umgebungen, also beim Einsatz unterschiedlicher Speichertechnologien und Datenbankparadigmen, bzw. bei bestimmten Anwendungen schwer zu realisieren bzw. ungeeignet ist und daher Aufweichungen des Prinzips erfolgen.

Produktmodellserver sind auch im Bauwesen verfügbar. Ein prominenter und gut dokumentierter Vertreter ist der BIMserver, den das BIMCollective als Open-Source-Software entwickelt²⁰. Hierbei handelt es sich nicht um eine Endnutzeranwendung sondern um eine Entwicklungsplattform für spezialisierte BIM-Online-Werkzeuge, die als Kern eine Reihe von Grundfunktionen bietet, wobei der IFC-Standard die Basis für die Produktmodelle bildet. Zu den Kernfunktionen zählen eine verlustfreie Speicherung der mit EMF (Eclipse Modeling Framework) generierten Java-Klassen mittels dem Open-Source-Datenbanksystem Berkeley DB Java Edition, eine durchgängige Versionierung und Revisionierung auf Objektebene sowie ereignisgesteuerte Notifikationsmöglichkeiten. Das zugrunde liegende Datenbanksystem gehört zu den Key-Value-Systemen und realisiert das ACID-Prinzip. Zur Erleichterung des Aufbaus föderierter bzw. cloudbasierter Architekturen unterstützt der BIMServer standardisierte APIs für BIM-Webservices entsprechend BIMSie (BIM Service interface exchange)²¹. Der Netzwerkzugriff auf die Schnittstellen des BIMServers kann mit JSON, SOAP oder zur Vermeidung des XML-bedingten Overheads mit PB (Protocol Buffer)²² erfolgen. Eine spezielle Schnittstelle unterstützt die Entwicklung von Plugins. Der BIMServer kann einschließlich Plugins als Alternative zur Server-Lösung auch direkt in eine Anwendung eingebettet werden. Auf die Produktmodelle kann mittels der Abfragesprache BimQL (Query Language) oder feingranular mittels einer Low-Level-Schnittstelle unter Nutzung der internen Identifikationsmechanismen zugegriffen werden. Des Weiteren lassen sich IFC-Modelle importieren (Check-in, Upload) bzw. exportieren (Check-out, Download). Für die Überführung der Objektstruktur in eine transportierbare Form und umgekehrt (Serialisierung bzw. Deserialisierung) werden unterschiedliche Formate unterstützt. Die Installation enthält bereits den webfähigen, von bimvie.ws als Plugin entwickelten 3D-Viewer²³.

Produktmodellserver existieren im Bauwesen auch als kommerzielle Lösung. Die koordinierte und räumlich verteilte Entwicklung eines Produkts steht dabei im Mittelpunkt. Ein zentrales und in einer Datenbank oder Zentraldatei gespeichertes Produktmodell bzw. Projektmodell dient auch hier der Koordinierung der Zugriffe und somit der Sicherung der Konsistenz der Modelldaten. Dazu kann der Nutzer Teile des Modells für eine Bearbeitung reservieren, sperren und wieder freigeben. Die anderen Nutzer erhalten Informationen über diese Ereignisse, die sich mit individuellen Nachrichten ergänzen lassen, und die anderen Nutzer können die Ergebnisse einer Modellbearbeitung einsehen. Diese Mechanismen sind dabei eng in die Funktionalität des jeweiligen Autorensystems integriert. Zu dieser Produktkategorie gehören z. B. der Revit Server von Autodesk oder der Bim Server von GRAPHISOFT als Bestandteil des Produkts ArchiCAD.

Das Thema der Produktmodellserver und BIM-Server im Bauwesen wird auch in der Fachliteratur diskutiert, z. B. in [Borr2015, Kap. 12], [Sche2015a, Kap. 1]. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht jedoch die kollaborative Projektbearbeitung und nicht der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerks. Eine erweiterte Sichtweise einschließlich Archivierung ist vor allem in der Luft- und Raumfahrtindustrie zu finden, was sich, in der Standardisierung (vgl. LOTAR) und konkret in der Entwicklung von Softwareprodukten niederschlägt. Die norwegische Firma Jotne²⁴ IT unterstützt mit der Software TruePLM, die auf deren EXPRESS Data Manager (EDM) beruht, den Austausch, die gemeinsame Ablage, die Integration und schließlich eine Archivierung von Daten, die sich nach Angaben der Firma nach LOTAR bzw. OAIS richtet. Das Softwaresystem verwaltet nicht nur das Produktmodell, sondern auch Dokumente und sonstige Da-

²⁰ <http://bimserver.org>

²¹ http://www.nibs.org/?page=bsa_bimsie

²² <https://developers.google.com/protocol-buffers>

²³ <http://bimvie.ws>

²⁴ <http://www.jotneit.no>

teilen, die wie bei einem PDM-System den Elementen einer standardisierten oder selbstdefinier- ten Produktstruktur zugeordnet werden können. Dokumente können auch zu Paketen (TDP – Technical Data Package) zusammengefasst und exportiert werden. Als Basis für TruePLM die- nen die ISO-Standards STEP und PCLS. Die Firma Jotne bietet mit EDMmodelServer(ifc) auch eine Variante von EDM für IFC und ifcXML als Entwicklungswerkzeug an, sowie das Zusatz- produkt EDMmodelServerManager für ein Check-in/Check-out, eine Modellverschmelzung, Modellvalidierung bezüglich Schemata oder Austauschforderungen (Exchange Requirements) und Ausführung von Methoden zur Überprüfung von Regeln. Ein bauspezifisches PLM-System bietet Jotne IT nicht an.

Systeme, die unter den Begriff Kollaborationsplattform, Virtuelle Projekträume, internetbasierte Projektplattformen oder CDE (Common Data Environment) fallen, stützen sich für eine Koor- dination der Prozessbeteiligten zunehmend auf Bauwerksmodelle ab. Durch einen mehr oder weniger feingranularen Zugriff und eine Verknüpfung (Überlagerung) von Modellen- und Mo- dellelementen aus unterschiedlichen Domänen bzw. Softwareprodukten soll eine gezieltere Ab- stimmung der Beteiligten gegenüber der bisherigen dokumenten-, plan- bzw. dateiorientierten Sichtweise dieser Systeme erreicht werden. Mit Hilfe sogenannter Koordinationsmodelle sollen die einzelnen Fachmodelle ein konsistentes und vollständiges Bauwerksmodell ergeben. Ver- knüpfungsmöglichkeiten bestehen auch mit Termin- und Kostenmodellen (5D). Weitergehende und vereinheitlichte Verknüpfungsmöglichkeiten bietet der nachfolgend vorgestellte Multimo- dellansatz aus dem Projekt Mefisto. Darüber hinaus können die Modelle bzw. ihre Elemente mit Dateien verknüpft werden, die Dokumente, Annotationen, 2D-Pläne oder sonstige Informatio- nen repräsentieren. In dieser Hinsicht überschneiden sich diese Systeme konzeptionell mit PDM-Systemen.

Zur Kategorie der modellunterstützenden Kollaborationssysteme im Bauwesen zählen z. B. die Softwarewerkzeuge Allplan BIMplus der Nemetschek Group oder think project! der tp Holding. Beide erleichtern die Integration bzw. Überlagerung von Modellen aus unterschiedlichen Fach- domänen und unterstützen die Standards IFC und BCF. Die öffentlich dokumentierten APIs von BIMplus erlauben einen vertieften Einblick in den aktuellen Entwicklungsstand solcher Systeme²⁵.

Den Ansatz, modellorientierte Komponenten des Bauwesens in ein bereits etabliertes und weit verbreitetes kommerzielles Produkt zur Kollaboration, nämlich Microsoft SharePoint, zu integ- rieren, verfolgt die Firma novaCAPTA. Für eine Integration sind folgende Werkzeuge vorgese- hen: Allplan BIMplus, DESITE MD von ceapoint aec technologies, bei der BRZ als strategi- scher Partner beteiligt ist, und BIM4You von BIB, das der BRZ Gruppe angehört. DESITE MD dient der Visualisierung und Analyse von 3D-Bauwerksmodellen und der Verknüpfung von Bauwerkselementen mit Terminen (4D). Der Import von Modellen kann mit den Formaten 3DS, OBJ, DWG, DXF, DWF/x, VRML, IFC2x3, LandXML, CPI XML und der Export mit CPI XML zur Weiterverarbeitung in RIB iTWO erfolgen. Für den bidirektionalen Datenaustausch mit Revit existiert ein Plugin. Für eine Kollaboration wird das Format BCF unterstützt. BIM4You ermöglicht eine modellbasierte Kosten- und Terminplanung auf Basis importierter IFC- oder sonstiger CAD-Bauwerksmodelle. Der Zugriff auf eine Baubjekt Datenbank unter- stützt diese Aufgaben. Die Objekte repräsentieren semantische Räume und umfassen Materia- lien, Löhne, Gerätekosten und Bewirtschaftungskosten. Für eine Weiterverarbeitung mit gängi- gen Projektmanagementsystemen bietet die Software einen bidirektionalen Austausch von Bau- abläufen (4D Timelines) an.

²⁵ <https://doc.bimplus.net/pages/viewpage.action?pageId=4459171>

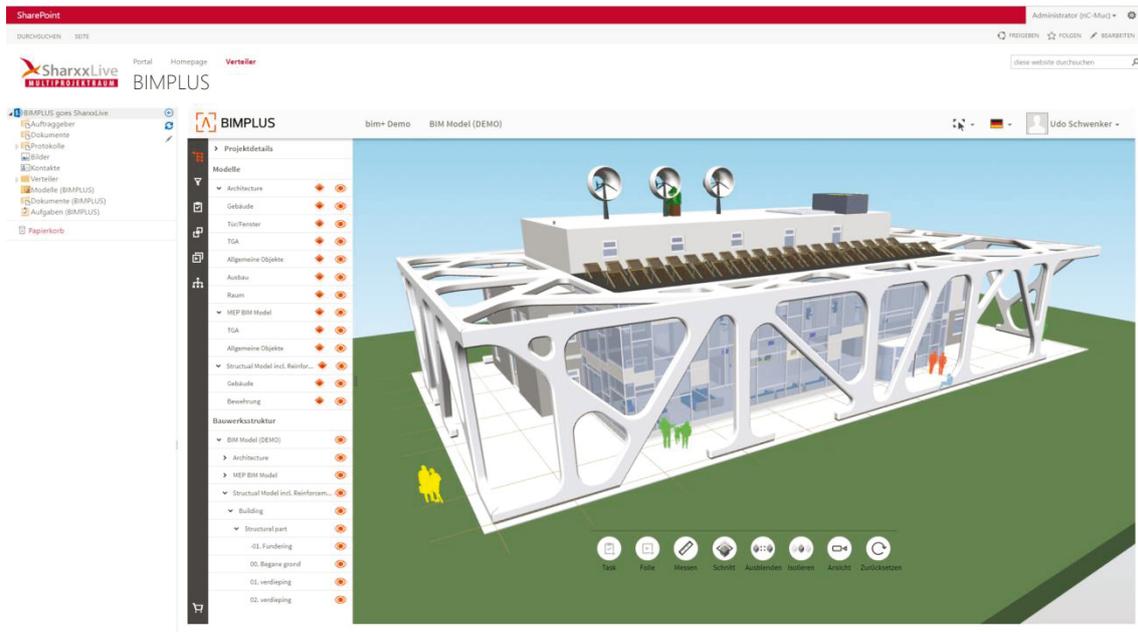


Abb. 4: Integration modellbasierter Ansätze und generisches Kollaborationssystem [novaCAPTA]

Fazit

Der große Vorteil dieser Systeme liegt aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit von Bauwerksinformationen in der Unterstützung zur Erlangung konsistenter Bauwerksmodelle insbesondere nach der Planungs- und Ausführungsphase. Eine nachträgliche Feststellung von softwaretechnischen und baufachlichen Fehlern und deren Korrektur ist aufwendig, vor allem wenn die ursprünglich Beteiligten oder die erzeugenden Softwarewerkzeuge (Autorensysteme) nicht mehr zur Verfügung stehen. Produktmodellorientierte Systeme bieten vom Konzept her das Potenzial, das Bauwerksmodell über den gesamten Lebenszyklus in einem konsistenten Zustand zu halten und unmittelbar Analysen und Modifikationen des Modells entweder mittels einer Abfragesprache (QL – Query Language) bzw. DML (Datenmanipulationssprache) oder APIs vorzunehmen. Dazu müssten die Systeme über die gesamte Produktlebenszeit am Laufen gehalten werden, was mit einer Portierung der Systeme auf neue Betriebssysteme bzw. Datenbanksysteme oder einer Anpassung der Anwendungen an geänderte oder wegfallende APIs verbunden wäre. Um den Aufwand hierfür in Grenzen zu halten, wäre ein hohes Maß an Abstraktion, Formalisierung, Modularisierung und Standardisierung nötig, was gegenwärtig im Bauwesen nicht gegeben ist. Der Emulationsansatz als Alternative zu einer Systemmigration scheidet als umfassende Erhaltungsmethode aus, da die Anwender eine Unterstützung der jeweils aktuellen Interaktionstechniken erwarten und eine vollständige Emulation derartiger Systeme mit noch nicht tiefer untersuchten Risiken behaftet ist. Ein wesentliches Kriterium aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit bildet daher die Exportierbarkeit bzw. Serialisierbarkeit der Modelle, Dokumente und Metadaten, um OAIS-konforme Informationspakete bzw. Sammlungen erzeugen zu können. Idealerweise sind die zugrundeliegenden Datenbankschemata und die Regeln zur Verwaltung der Modellelemente, der Dateien und Hilfsdateien offengelegt. Wie bei allen anderen Systemen des Datenmanagements besteht auch hier eine elementare Abhängigkeit von den unterstützten Formaten und der Implementierungsqualität.

7.1.5 Multimodelle und Multimodellcontainer

Das Projekt Mefisto

Der Multimodellansatz wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Mefisto unter Koordination des Instituts für Bauinformatik der TU Dresden entwickelt und erprobt. Das vom BMBF geförderte Projekt mit einer Laufzeit 01.04.2009 - 30.09.2012 hatte als übergeordnetes Ziel, „ die Entwicklung eines auf BIM basierenden Managementführungssystems für die partnerschaftliche, prozessgesteuerte und risikokontrollierte Abwicklung von Bauprojekten.“ Eine ausführliche Dokumentation findet sich in einem zweibändigen Werk des Springer-Verlags aus dem Jahr 2014 mit dem Titel Informationssysteme im Bauwesen und mit einem Gesamtumfang von ca. 950 Seiten [Sche2014a], [Sche2014b]. Die buildingSmart(bS)-Projektgruppe Multimodel Container verfolgt im Rahmen des bS-Arbeitsraums BIM-Datenaustausch den Ansatz weiter²⁶. Unter GitHub²⁷ kann das XML-Schema (XSD) der Version 2.0, als generischer Multimodellcontainer (MMC) bezeichnet, abgerufen werden. Die Version 1.0, als bauspezifischer MMC benannt, welcher von verschiedenen Bausoftwareprodukten unterstützt wird, stellen die Entwickler in [Sche2014a] ausführlich vor.

Der Kern des Ansatzes

Da nach Ansicht der Mefisto-Studienautoren die bisherigen Ansätze die mangelnde Integration von Modellen, insbesondere in den Bereichen Bauausführung, Baumanagement und Controlling nicht beseitigen konnten, schlagen sie als Lösung Multimodelle vor, die vor allem im Vergleich zu den häufig verfolgten Projekt- oder Produktmodellservern einen Paradigmenwechsel darstellen. Im Gegensatz zu einem Gesamtmodell mit einem einheitlichen Schema für Produkte und Prozesse werden die einzelnen Fachmodelle je nach Aufgabe und Projektzeitpunkt durch Linkmodelle, die jeweils zusammengehörige Elemente der beteiligten Fachmodelle verknüpfen, integriert. Diese externe Verlinkung der unabhängigen Fachmodelle erlaubt [Sche2014a, Kap. 1.5.2]:

- Abhängigkeiten zwischen den Fachmodellen zu repräsentieren, ohne die Fachmodelle transformieren, physisch integrieren, ergänzen oder verändern zu müssen
- Zusammenhänge zwischen mehreren Planungsmodellen aufzuzeigen und damit komplexe interdisziplinäre Planungen, z. B. der Bauproduktion, transparent darzustellen
- zusammengehörige Modelle zu vergleichen und die Konsistenz interdisziplinärer Planungen sowie ihrer Erfüllung in Soll-Ist-Vergleichen zu überprüfen
- weiterführende Analysemodelle, z. B. für die Bauablauf- oder Risikosimulationen, auf der Grundlage mehrerer verlinkter Fachmodelle aufzubauen
- Abhängigkeiten nicht nur zwischen den Fachmodellen unterschiedlicher Anwendungsbereiche, sondern auch zwischen den unterschiedlichen Detaillierungen und Versionen explizit aufzuzeigen.

Weiterhin ermöglicht dieses Vorgehen, etablierte Datenmodelle und Datenstandards im Bauwesen unverändert weiter zu verwenden. Darüber hinaus können die Projektbeteiligten im Gegensatz zu zentralen Lösungen die Modelle verteilt und asynchron bearbeiten und der Zwang zur unmittelbaren Sicherstellung der Konsistenz in einem zentralen System entfällt. Außerdem lassen sich neue Modelle flexibler integrieren. Für diese Art der Bearbeitung sind jedoch Mechanismen erforderlich, um die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Fachmodellen identifizie-

²⁶ <http://www.buildingsmart.de/mitarbeiten>

²⁷ <https://github.com/BuildingSMART/MMC>

ren und verfolgen zu können. Das Mefisto-Projekt nennt drei grundlegende Arten von Abhängigkeiten, die zu berücksichtigen sind:

- horizontale Interdependenzen: zwischen Fachmodellen unterschiedlicher Domänen oder zwischen Fachmodellen bei unterschiedlicher Formalisierung (Formatierung) bzw. unterschiedlicher Visualisierung
- vertikale Interdependenzen: zwischen zwei Modellen mit unterschiedlicher Detaillierung, (LoD – Level of Detail)
- longitudinale Interdependenzen: zwischen verschiedenen Versionen eines Fachmodells im Verlauf seines Lebenszyklus, Level of Development, LoD, zeitliche Änderungen.

Strukturierung und Auszeichnung von Modellen

Für die Strukturierung und Auszeichnung von Fachmodellen, Linkmodellen und Multimodellen stellt Mefisto Leitlinien bereit. Das Vorgehen im Mefisto-Projekt erfolgte in drei Schritten.

Schritt 1: Zunächst wurden in der Bauplanung und im Baumanagement gebräuchliche Modelle identifiziert und in neun Fachmodelldomänen eingeordnet. Ein Fachmodell wird als Informationsressource bezeichnet, die eine Annotation erhalten, die sechs unabhängige Aspekte berücksichtigt, auch fachliche Grundannotationen genannt, darunter die oben aufgeführten drei Interdependenzen:

- Modelldomäne
- Level of Detail
- Phase (Level of Development)

und ergänzend:

- Status
- Sachgebiet
- Datenformat, welches zur Vereinfachung auch das Datenmodell umfasst.

Zur Beschreibung des Entstehungskontextes kommen als organisatorische Grundannotation noch hinzu:

- Softwarewerkzeug zur Erstellung
- Ersteller
- Erstellungsdatum.

Linkmodelle stellen ebenfalls Informationsressourcen dar, für die Mefisto folgende Annotationen vorsieht:

zur fachlichen Gliederung:

- Status
- Phase
- Sachgebiet
- Liste der beteiligten Domänen.

für den Entstehungskontext:

- Softwarewerkzeug zur Erstellung
- Ersteller
- Erstellungsdatum.

für die Auszeichnung von Multimodellen als Informationsressource sind vorgesehen:

- Status
- Phase
- Sachgebiet
- Liste der beteiligten Domänen
- Level of Detail
- Anwendungsbereich bzw. Domänenraum, da ein Multimodell mehrere Modelldomänen umfassen kann.

Schritt 2: Der zweite Schritt betrifft die Identifikation der bestehenden, standardisierten und etablierten Datenspezifikationen für die Fachmodelldomänen. Die ausgewählten Datenschemata bzw. Datenmodelle und -formate spezifizieren die Grundkonzepte für die Modelle der Fachmodelldomänen. Für die Domänen ohne etablierte Spezifikationen wurden im Projekt Mefisto neue Datenschemata definiert.

Schritt 3: Im dritten Schritt wurden schließlich die Anforderungen an die in Multimodellen kombinierten Fachmodelle untersucht. Multimodelle sind die als Einheit zusammengefassten Eingabeinformationen für Aktivitäten, die sich aus Fachmodellinformationen zusammensetzen. Ebenso sind sie die Ergebnisinformationen von Aktivitäten und stellen im Sinne der Betriebswirtschaft Geschäftsobjekte dar.

Ein Beispiel zur Erläuterung: Ein Multimodell Vertrag kann die Fachmodelle Bauwerk, Mengen, Kosten und Termine in den Datenmodellen IFC, CPIxml und GAEB enthalten sowie Linkmodelle, die u. a. die Zuordnung von Bauteilelementen zu Mengenelementen der zugrunde liegenden Fachmodelle aufzeigen. Bei CPIxml handelt es sich um ein Schnittstellenformat zur Weiterverarbeitung von Daten aus SolidWorks in RIB iTWO. SolidWorks unterstützt das parametrische Modellieren geometrischer Körper, so dass sich z. B. Änderungen am Bauwerk in abhängigen Größen, wie Volumina oder Oberflächen, bzw. in abhängigen Elementen, wie Schalungen oder Rüstungen, widerspiegeln.

Datenspezifikationen für Multimodelle

Um einen produktunabhängigen Austausch von Multimodellen zwischen den Projektpartnern zu ermöglichen, liefert Mefisto ein objektorientiertes konzeptuelles Modell (UML – Unified Modeling Language) und ein objektorientiertes Datenmodell (XSD – XML Schema Definition) für einen generischen, domänenunabhängigen, also auch außerhalb des Bauwesens anwendbaren Multimodellcontainer (MMC Version 2.0). Mefisto zeigt ergänzend Methoden für eine bauspezifische Spezialisierung auf, die das Verständnis, die Auswertung, die Erstellung und die Wiederverwendung von Multimodellen unterstützen.

Generisches Multimodell

Dem generischen Multimodell liegen folgende Definitionen zugrunde [Sche2014a, Kap. 2.2.1]:

- Ein Elementarmodell (als Verallgemeinerung eines Fachmodells) ist eine übertragbare Instanz eines Datenmodells, das einen abgegrenzten Informationsraum mittels einer vereinbarten Semantik beschreibt, der nicht weiter unterteilt wird.
- Ein Linkmodell ist eine serialisierbare, übertragbare Instanz eines Datenmodells mit zugehörigem Schema, das Referenzen zwischen Elementen verschiedener Elementarmodelle, sogenannte Links, speichert.
- Ein Link ist eine Menge von Identifikatoren von Elementen aus verschiedenen Elementarmodellen, die miteinander verknüpft sind.
- Ein Multimodell ist eine serialisierbare, übertragbare Zusammensetzung aus einer nicht leeren Menge von Elementarmodellen und einer leeren oder nichtleeren Menge von Linkmodellen mit Elementen von Elementarmodellen als Subjekt.

Die Verlinkung basiert auf der eindeutigen Identifizierung von Elementarmodellelementen. Falls die Elementarmodelle hierfür keine Mechanismen bieten, ist jedoch eine Abweichung vom Grundsatz der Unveränderlichkeit der Elementarmodelle nötig. Mefisto zeigt für diesen Ausnahmefall Ausweichlösungen auf. Für den Austausch von Multimodellcontainern zwischen Anwendungen und Projektbeteiligten muss die Dauerhaftigkeit (Persistenz) der Identifikatoren über die Grenzen von Programmen und Organisationen sichergestellt sein. Links sind mehrwertig, d. h. ein Link kann n Elemente aus m Elementarmodellen beinhalten. Multimodelle, Elementarmodelle, Linkmodelle und Links können jeweils mit beliebig vielen Metadaten in der Form von Schlüssel-Werte-Paaren annotiert werden, jedoch nicht die referenzierten Elementarmodellelemente. Abb. 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Multimodellcontainers gefüllt mit Link- und Fachmodellen sowie spezifischen Metadaten.

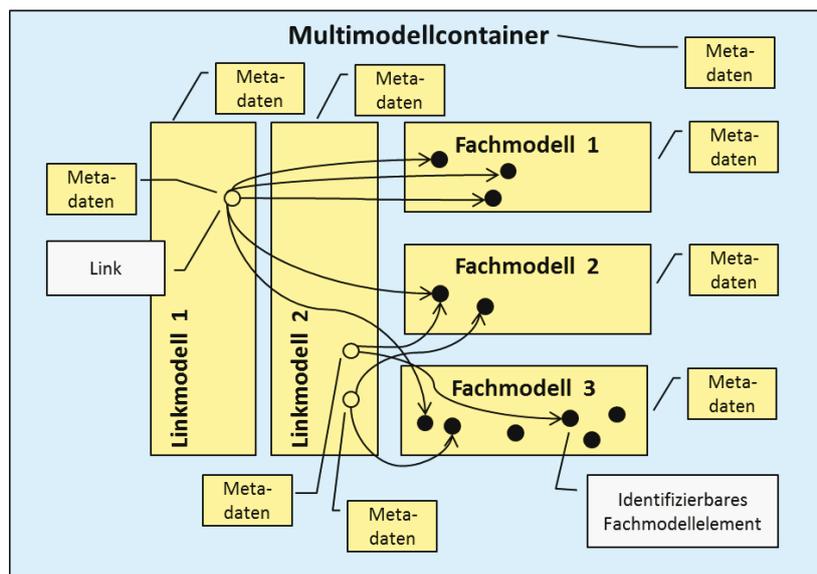


Abb. 5: Prinzipieller Aufbau eines Multimodellcontainers

Multimodellspezialisierung

Im Rahmen der Spezialisierung des generischen Multimodells für das Bauwesen nimmt Mefisto eine Gliederung der Modelltypen vor.

Dabei bildet das generische Modell den abstrakten Ausgangstyp, der mehrere Multimodellräume, ebenfalls als abstrakter Typ, enthalten kann. Abstrakt bedeutet hier, dass keine Instanz, also kein konkretes Modell, existiert. Multimodellräume können beliebige Multimodelle zusammenfassen. Die Multimodelle wiederum können beliebig viele Fachmodelle enthalten, die selbst wieder in beliebig viele Teilfachmodelle untergliedert sein können. Teilfachmodelle können

schließlich beliebig viele Elementarmodelle beinhalten. Multimodelle, Fachmodelle und Teilfachmodelle können jeweils beliebig tief geschachtelt sein. Beispielsweise kann ein Multimodell aus mehreren Multimodellen bestehen. Elementarmodelle sind objektorientierte Modelle mit einer Objektmenge und einer Menge von Relationen, die abgesehen von der Referenzierung externer Informationsquellen, z. B. Kataloge, abgeschlossen sind. Im Kontext anderer Multimodellräume können Elementarmodelle durchaus in weitere Fachmodelle bzw. Teilfachmodelle aufgespalten sein. Darüber hinaus definiert Mefisto Sichten (Views) als durch Filter erzeugte Teilmengen von Fach- bzw. Teilfachmodellen, welche dann als Teilmodelle bzw. Fachteilmodelle bezeichnet werden und nicht durch einen Informationsraum vollkommen abgeschlossen sein müssen.

Ein spezialisiertes Multimodell sollte ein übergreifendes Fachgebiet, z. B. Baumanagement abbilden, in dem verschiedene Multimodelle existieren wie die Multimodelle Ausschreibung, Angebot, Vertrag, Bauübergabe. Das Multimodell Ausschreibung kann Fachmodelle beinhalten wie Bauwerksmodell, Rahmenterminplan, Ausschreibung-Leistungsverzeichnis, Mengenmodell, Ausschreibungskalkulation. Der Rohbau könnte dabei ein Teilfachmodell des Bauwerksmodells bilden.

Der Mefisto-Multimodellcontainer

Für den Austausch von Multimodellen für Bauprojektmanagementinformationen wurden im Projekt Mefisto ein spezialisiertes Mefisto-Multimodellschema mit einem expliziten Linkmodell und ein spezialisierter Mefisto-Multimodellcontainer als Austauschformat entwickelt.

Die Spezialisierung sieht eine weitere Formalisierung bzw. Spezifikation vor:

- Formalisierung der Metadaten: Sie betrifft die Fachmodelle, die Linkmodelle sowie den Container selbst und seinen Kontext.
- Formalisierung der Fachmodelle: Sie betrifft die Angabe des eigentlichen Modellinhalts, der in verschiedenen Formaten vorliegen darf, sowie weitere Optionen zu den Formaten als auch Regeln zur Bildung von Teilmengen eines Modells. Durch die Formalisierung der Regeln, kann deren automatische Erkennung und Auswertung erfolgen.
- Formalisierung der Linkmodelle: Sie betrifft die Bezeichnung der beteiligten Fachmodelle sowie eine Typisierung der Linkmodelle.
- Spezifikationen für Fachmodelle: Auf der Grundlage einer Szenarioanalyse wurden sieben Fachmodelldomänen und entsprechende Datenformate ausgewählt. [Sche2014a, Kap. 2.7.4], z. B. Bauwerksmodelle mit den Formaten IFC2×3 bzw. CPIxml oder Risikomodelle mit selbstdefinierten Formaten in XML
- Spezifikationen für Linkmodelle: Sie konkretisieren die Modellierung von vertikalen, horizontalen und longitudinalen Links einschließlich zusätzlicher Angaben, z. B. falls nur Teile eines Objekts referenziert werden (Mengensplit) oder falls bei alternativen Formaten eines Fachmodells die IDs voneinander abweichen.
- Spezifikationen für Multimodellvorlagen: Hierzu wird der Multimodellcontainer auf Metadaten reduziert. Diese machen Vorgaben für die aufzunehmenden Daten der Fach- und Linkmodelle und stützen sich dazu auf einen Vokabularkatalog des Ontologiemodells ab. Darüber hinaus erlaubt das Schema die Angabe von freien Parametern (Variablen), um den Einsatz von Multimodellvorlagen flexibler zu gestalten. Diese Parametrisierung ermöglicht u. a. eine Vorkonfiguration von Filtermethoden.

Das Mefisto-Ontologieframework

Zur Verbesserung der gemeinschaftlichen Nutzung von Multimodellen entstand im Rahmen des Projekts Mefisto ein Ontologieframework, das der semantischen Anreicherung der Multimo-

dellcontainer dient und somit die Kombination von Fachmodellen und die Auswertung von gegenseitigen Abhängigkeiten erleichtern soll, was bisher die unterschiedlichen Inhalte, Strukturen und Begrifflichkeiten der Modelle erschweren. Als Motivation für ihre Entwicklung nennen die Autoren [Sche2014a, Kap. 4.1.1]:

- Die Generizität der Multimodellcontainer und die fehlende Ergänzung bisheriger Metadaten durch kontrollierte Vokabularien und semantische Systeme zur eindeutigen Bezeichnung und zur maschinellen Interpretation von Fachmodellinhalten
- Analoges gilt für die Linkmodelle. Die Semantik der verlinkten Fachmodellelement bleibt verborgen.
- Einschränkungen bei einer integrierten Sicht auf Modelle durch fehlende Berücksichtigung von Modellen aus anderen Fachdisziplinen und Projektphasen aufgrund lokaler Erstellung der Modelle. Kein semantisches System zur Beschreibung von Modellkontexten.
- Formalisierung der Multimodellcontainer, der Linkmodelle und der Fachmodelle teilweise in Datenformaten mit mangelnder semantischer Ausdrucksstärke und somit kein praktisch durchführbares Verfahren zum direkten Validieren und Integrieren der Modellinhalte sowie zur Identifizierung und Verifizierung neuer Modellaussagen und -abhängigkeiten.

In der Projektdokumentation findet sich nach einer kurzen Vorstellung verschiedener Ontologieanwendungen im Bauwesen auch ein Hinweis, dass bisher eine breite Nutzung ausblieb, da das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen für eine notwendigerweise durchgängige Anwendung nicht attraktiv war [Sche2014a, Kap. 4.1.3.2].

Das in Mefisto entwickelte Rahmenwerk definiert eine semantische Grundlage für die einheitliche Beschreibung der verteilten Multimodellinhalte und ihrer Anwendungskontexte. Um die durchgängige Nutzung der Modelle bei allen Projektteilnehmern zu unterstützen, nimmt es eine ganzheitliche Perspektive auf die modellbasierte Projektzusammenarbeit ein. Um einheitliche Bezeichnungen und Ordnungsstrukturen für die heterogenen Fachmodelle des Bauwesens festlegen zu können, gliedert sich das Rahmenwerk in vier Ebenen, die offen für Erweiterungen sind. Das Rahmenwerk ist in der logikbasierten Ontologiesprache OWL 2 (Web Ontology Language) spezifiziert.

1. Ebene (Baukernontologie): Sie definiert allgemeine Konzepte der Modellierung und modellbasierten Zusammenarbeit und gründet auf dem Konzept des generischen Multimodells. Gegenstand dieser Teilontologie sind demnach die Informationsressourcen Multimodell, Fachmodell und Linkmodell mit ihren jeweiligen Elementen. Zur Repräsentation von Eigenschaften von Modellen und Elementen dienen *Qualitäten*. Außerdem besitzen alle Modelle und Elemente in der Modellbasis einen eindeutigen Identifikator und mindestens einen Typ.

2. Ebene: Sie erweitert die Baukernontologie, um die Integration von Fachmodellen des Bauwesens zu unterstützen. Die Spezialisierung umfasst drei Erweiterungen. So erfolgt erstens eine Differenzierung der Qualitätskonzepte, um Ordnungssysteme für Fachmodelle und Elemente definieren zu können. Sie bilden die Grundlage für nominale, ordinale und taxonomische Annotationsvokabulare für die Fachmodelle in der Prozessmodellierung und für die Verwaltung von Multimodellen und Multimodellvorlagen. Zur Differenzierung von Qualitätskonzepten zählen objektbeschreibende Qualitäten, z. B. zur Beschreibung von räumlichen Strukturen eines Bauwerks oder zur Benennung von Sachgebieten in Anlehnung an DIN 276, sowie temporale Qualitäten, die den Bearbeitungsstatus einer Informationsressource und deren Zugehörigkeit zu einer Projektphase angeben.

Die zweite Erweiterung führt das Konzept des Systemelements als besondere Form der Elementarelemente ein. Systemelemente fassen mehrere Elementarelemente zusammen, die vereinfacht von einem System repräsentiert werden können, ohne dass sich das Verhalten des Modells verändert. Mit der Identifikation von Systemelementen werden modellinterne und modellübergreifende Abhängigkeiten unterschieden und Teilmodelle können einfacher referenziert werden. Bei einer systemischen Sicht liegt der Fokus dabei auf den Eigenschaften eines Systems und auf den Auswirkungen von Änderungen von Systemeigenschaften auf die Systemelemente, die auch aus einem anderen Fachmodell stammen dürfen oder selbst wieder ein System darstellen können (Subsystem). Beispielsweise wären bei einem Wärmebedarfsmodell für ein System Raum die Auswirkungen auf die Systemelemente Wände zu betrachten und zu beschreiben, falls eine Änderung des Wärmebedarfs gefordert wird.

Die dritte Erweiterung widmet sich der Klassifizierung von Links. Auf generischer Stufe und auf Grundlage der Kernqualitäten Identifikator, Typ, Akteur und Zeitpunkt werden hierfür mengentheoretische Abhängigkeiten als Linktypen eingeführt. Die vier generischen Beziehungstypen sind Identität, Komposition, Intersektion und, falls diesen drei Beziehungen nicht zuordenbar, Assoziation. Diese Linktypen dienen der Darstellung einfacher Modellzusammenhänge sowie als Grundlage für eine anwendungsbezogene Spezialisierung.

3. Ebene: Sie definiert anwendungsspezifische Informationstypen und zugehörige Attributsysteme auf der Grundlage bauspezifischer Begriffs-, Organisations- oder Datenmodelle. Die Teilontologien dieser Ebene lassen sich für verschiedene Branchensegmente und Projektarten vordefinieren. In konkreten Projekten können dann passende Teilontologien ausgewählt und für die jeweilige Projektorganisation und insbesondere für die eingesetzten Dateiformate der Fachmodelle angepasst werden.

4. Ebene: Auf dieser Ebene sollen schließlich ontologische Informations- und Wissensbasen aufgebaut werden, die die Informationen der in den Projekten erstellten Multimodelle integrieren, überprüfen und auswerten. Hierzu ist es nötig, die Informationen aus den Multimodellen durch weiteres Fachwissen in Form von ergänzenden Fachinformationen, Integritätsbedingungen oder Ableitungsregeln zu erweitern.

Spezialisierung der Ontologie

Um die Fachmodelldomänen für ein konkretes Projekt zu erfassen und zu spezifizieren und sie für regelbasierte Analysen nutzbar zu machen, bedarf es der weiteren Spezialisierung der Multimodellontologie mittels projektspezifischer Klassen und Ausdifferenzierung der Linktypen.

In den Fachmodellen sind jene Klassen zu identifizieren, die für einen Informationsaustausch relevant sind, und als Kernelement zu bestimmen und in die Ontologie einzuordnen. Für eine Gebäudemodellierung sieht die Bestimmung von Kernkonzepten der Ontologie mit dem Datenschema IFC beispielsweise wie folgt aus. Dem Mefisto-Kernkonzept Raumstrukturelement werden folgende IFC-Konzepte zugeordnet: IfcSite (Baustelle), IfcBuilding (Gebäude, Gebäudekomplex oder Gebäudesektion), IfcBuildingStorey (Stockwerk oder Geschoss), IfcSpace (Raum), IfcSpatialZone (Raumzone), dem Kernkonzept Bauwerkselement: IfcBuildingElement (Kernelemente eines Gebäudes), IfcElementComponent (Teilelemente eines Elements), IfcDistributionElementen (Element eines Versorgungssystems), IfcTransportElement (Elemente zum Transport von Personen, Gütern), IfcFurnishingElement (vor Ort gefertigte oder montierte Ausbauelemente) [Sche2014a, Kap. 4.5 Tab. 4.1]. Im Projekt Mefisto formen diese Elemente den Kern des ontologischen Bauwerksmodells und die Anschlusspunkte zur Vernetzung

der Baudomäne mit den übrigen Domänen. Die Verlinkung nach außen kann dabei sowohl über Gebäudeelemente als auch über Raumstrukturelemente erfolgen.

Die Ausdifferenzierung von Linktypen wird beispielhaft anhand zweier Fachmodelle aus den Domänen Bauwerk, im Format IFC, und Kosten, im Format GAEB DA XML, demonstriert. Dafür erfolgt zunächst die Feststellung der Identität zweier Elemente aus den beiden Modellen, was zu einer gemeinsamen Identität im Ontologieschema führt, wobei vorab ein Element bereits als Mefisto-Kernelement, z. B. Leistungsposition, identifiziert wurde und somit eine Zuordnung zur entsprechenden Kernelementklasse möglich ist. Das Mefisto-Konzept Leistungsposition wird im Format IFC als `IfcCostItem` bezeichnet und in GAEB DA XML `<Item ID="Positions-Id" RNoPart="OZ">`. [Sche2014a, Kap. 4.5 Tab. 4.2]. Im Weiteren folgt in diesem Beispiel die Konstruktion einer Modellverlinkung. Das im Kostenmodell als mit dem im Bauwerksmodell identisch erkannte Kernelement steht dort mit einem ebenfalls als Kernelement identifizierten Element in Verbindung. Daraus lässt sich nun eine Verknüpfung der beiden Modelle herleiten und in das Ontologieschema aufnehmen. Der Typ der Verknüpfung der beiden Kernelementklassen aus den beiden Modellen entspricht dabei dem Typ des Links aus dem Kostenmodell, also einer Komposition, einer Intersektion oder einer Assoziation. Ein derartiges Vorgehen zur formalen semantischen Anreicherung unterstützt die maschinelle Erzeugung, Überprüfung und Analyse von Linkmodellen.

Folgende Bereiche waren in Mefisto Schwerpunkt der Anwendung des Ontologierahmenwerkes:

- Begriffssysteme für die Modellannotation (siehe die oben vorgestellte Ebene 2 und 3)
- Koordination multimodellbasierter Koordinationsprozesse
- Verwaltungsdienste der Mefisto-Plattform
- Beschreibung und Analyse interdependenter Modellelemente (siehe oben unter Spezialisierung der Ontologie).

Die Vorstellung des Ontologierahmenwerkes in [Sche2014a] endet mit der Feststellung der Autoren, dass es Aufgabe zukünftiger Forschung sei, die Spezifikationen des Ontologieframeworks insbesondere der vierten Ebene zu ergänzen, um weitere Vokabulare, Modellvorlagen und Prüfredeln für die Übernahme, die weitere Modellvalidierung und auch die Modellverifikation von Projektinformationen zu ermöglichen.

Weitere Entwicklungen des Projekts Mefisto

Das Projekt umfasst weitere Komponenten, die den Umgang mit Multimodellen unterstützen und sich folgenden Bereichen widmen:

Filterung von Modellen: Zur Erstellung von Modellsichten, die den unterschiedlichen fachlichen Anforderungen genügen, wurde ein generisches Filterframework mit modularen Filtermethoden entwickelt, das die strukturelle und semantische Vielfalt und die große Menge der Daten im Bauwesen berücksichtigt. Das Rahmenwerk modularisiert die Filterung in vier Ebenen:

- Ebene Schema: Durch die Filterung auf dieser Ebene entstehen Subschemata bzw. Mefisto-Teilfachmodelle, die in der Regel wieder valide Modelle bilden. In der IFC-Welt wäre `mvdXML` das entsprechende Beschreibungsmittel für Sichten.
- Ebene Klassen: Das Filtern auf Klassenebene definiert die Reduktion des Modellgehalts um Informationen, die in den Klassen definiert sind. Im Gegensatz zum Filtern auf Schemaebe-

ne wird die Filterung während der Laufzeit durch die Anwendung präskriptiver Filtermethoden im Kontext einer spezifischen Aufgabe durchgeführt. Die Filterung auf Schemaebene erfolgt in der Regel vorab und deskriptiv und sie deckt eine bestimmte vordefinierte Fachaufgabe ab, z. B. die Tragwerksplanung.

- Ebene Objekte: Das Filtern auf Objektebene reduziert den Informationsgehalt des Modells um einzelne Objekte oder Objektmengen, die spezielle Eigenschaften durch die Werte ihrer Attribute aufweisen, z. B. alle Wände mit einer Höhe über 3,00 m.
- Ebene Schlussfolgerung: Beim Filtern auf Schlussfolgerungsebene bzw. erweiterter Objektebene handelt es sich um eine weitere Spezialisierung des Filterns auf Objektebene, die auch wissensbasierte Funktionen in den Filterprozess mit einbezieht, und somit Informationen liefert, die nicht explizit modelliert sind, z. B. alle Bauteile einer Nordfassade.

Wegen der Vielzahl der in der Praxis vorhandenen Anwendungsfälle sind die vier genannten Ebenen nur bedingt für eine Strukturierung der Filterfunktionen des Rahmenwerks geeignet. Daher erfolgt eine hierarchische Gliederung nach anwendungsbezogenen Aspekten wie folgt:

- Neutrale Ebene: Diese Ebene umfasst eine Menge vordefinierter Filterfunktionen, die domänen- und anwendungsunabhängige Basisfunktionen für die Definition von Filterfunktionen für die übergeordneten Ebenen bereitstellt. Die Funktionen erlauben die Identifikation, Selektion, Berechnung und Extraktion der für eine spezifische Filteraufgabe erforderlichen Modelldaten sowie verschiedene Datentransformations- und Manipulationsoperationen, z. B. Koordinatentransformationen.
- Domänenebene bzw. Fachmodellebenen: Die Filteroperationen dieser Ebene adaptieren die Funktionen der neutralen Ebene auf die spezifischen Filteraufgaben der betreffenden Domäne in einer anwendungsunabhängigen Form.
- Anwendungsebene: Auf dieser Ebene werden die Filterfunktionen der Domänenebene durch Kombination, Modifikationen und Restriktionen für konkrete Anwendungssoftware weiter spezialisiert.

Der Schwerpunkt der Entwicklung des Frameworks lag auf der neutralen Ebene, deren Funktionalität in drei hierarchisch aufgebauten Typen von Basisfunktionen gegliedert ist:

- Metafunktionen: Diese Funktionen dienen der Realisierung eines schema-, domänen- und anwendungsunabhängigen Zugangs zum Informationsraum. Sie stützen sich auf die Sprache des zugrunde liegenden Metamodells, z. B. die Modellierungssprache EXPRESS. Eine Metafunktion kann sowohl auf Klassen- als auch auf Objektebene definiert werden. Eine noch weitere Verallgemeinerung auf generische Funktionen stellt MMQL dar (siehe nachfolgenden Abschnitt).
- Kernfunktionen: Die Kernfunktionen basieren auf der Semantik eines Datenmodells. Sie spezialisieren die Metafunktionen unter Berücksichtigung der betreffenden semantischen Konzepte eines konkreten Datenmodells, z. B. IFC4. Die Definition der Kernfunktionen erfolgt dabei auf der Grundlage einer facettierten Strukturierung des Informationsraums, die eine datenmodellunabhängige Neuordnung der Modellelemente vornimmt und durch die dynamische Bildung von Multifacetten auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Fachdisziplinen ausgerichtet werden kann. Sie bildet die Grundlage von anwenderorientierten Abfragesprachen. Die Filterfacetten sind nach folgenden Aspekten gegliedert: systemisch, physikalisch, funktional, räumlich, temporal, monetär, organisatorisch und prozessual sowie ergänzend quantitativ, qualitativ und repräsentativ (die Darstellung betreffend).
- Schlussfolgerungsfunktionen: Die algorithmischen Funktionen und Schlussfolgerungsfunktionen erweitern den Funktionsumfang der neutralen Ebene, indem sie Pre- und Postproces-

singfunktionalität bereitstellen. Im Vordergrund steht der Zugang zu Informationen, die in dem betrachteten Datenmodell nur implizit definiert sind und erst durch Ableitung oder Schlussfolgerung erschlossen werden können. Die Transformation von Modelldaten erfolgt abgetrennt von den Filterfunktionen ausschließlich durch die algorithmischen oder Schlussfolgerungsoperationen, was die Einbindung externer Bibliotheken bzw. Algorithmen ermöglicht.

BIMfit (BIM Filter Toolbox) dient als Referenzimplementierung für das generische Rahmenwerk und realisiert eine Grundmenge von Metafunktionen sowie darauf aufbauend verschiedene Kern- und Schlussfolgerungsfunktionen. BIMfit nutzt das Framework JSDAI (Standard Data Access Interface)²⁸ zum Parsen und Exportieren von EXPRESS-basierten Modellen im Datenformat STEP-file sowie zur Übersetzung von EXPRESS-Schemata in eine Java-Klassenstruktur. Die eigentliche Filterlogik wird durch Java Interfaces auf Meta-, Kern- und Schlussfolgerungsebene spezifiziert und durch entsprechende Klassen auf der zugeordneten Modellebene implementiert. BIMfit unterstützt aktuell auf der neutralen Ebene alle EXPRESS-basierten Schemata sowie auf den höheren Ebenen IFC2x3²⁹. BIMfit selbst ist kein eigenständiges Werkzeug und besitzt somit auch keine (grafische) Oberfläche. Als anwendungsspezifische Oberfläche wurde VBQL (Visual BIM Query Language) realisiert. Hierbei handelt es sich um eine fachspezifische und intuitiv nutzbare grafische Abfragesprache zur Generierung dynamischer Modellsichten. VBQL trennt zwischen abstrakter und konkreter Syntax. Somit können die grafischen Elemente der konkreten Syntax den jeweiligen Anforderungen angepasst werden, ohne die Sprachelemente verändern zu müssen. Die Elemente der abstrakten Syntax werden ein oder mehreren Filteroperationen zugeordnet, die aus der neutralen Ebene, der Kern- oder Domänenebene stammen können. Die mit VBQL extrahierten Teilmodelle können dann mit einem Viewer betrachtet oder deren objektbeschreibende Daten exportiert werden.

Auf Basis des generischen Rahmenwerks lassen sich standardisierte, sich wiederholende Austauschszenarien durch vordefinierte Modellausschnitte einschließlich Multimodelle bis hin zu Modellvalidierungen oder hochgradig komplexen und individuellen (Ad-hoc-)Anfragen zur Analyse eines konkreten Bauwerks beschreiben. Als Anwendungsbereiche der entwickelten Basisfunktionen zur Definition und Ausführung komplexer Filteroperationen nennen die Autoren anwendungsspezifische (visuelle) Abfragesprachen, konfigurierbare Filterbausteine innerhalb externer Dienste, wie Webservices, oder integrale Bestandteile von Modellservern.

MMQL: Eine weitere Entwicklung von Mefisto beinhaltet die Abfrage- und Manipulationssprache MMQL (Multimodell Query Language). Sie unterstützt die anwendungsneutrale Abfrage, Änderung und Erststellung von Multimodellen und erlaubt somit insbesondere eine domänenübergreifende Abfrage von beliebigen Fachmodellen. Hierzu sind zwei wesentliche Aspekte zu betrachten, nämlich der Zugriff auf die Originaldaten der Fachmodelle und das Auswerten von Links.

Der Zugriff auf Fachmodelle, der möglichst abstrakt sein soll, um eine möglichst große Anzahl von Modellen zu erschließen. Hierzu besteht die Forderung, dass sich die teilnehmenden Datenmodelle in eine *ideelle Elementarmodellstruktur* in der Form *Element* → *Property* → *Value* überführen lassen. Für folgende Metadatenstrukturen bzw. Formate listen die Autoren in [Sche2014a, Tab 15.1] Überführungsmöglichkeiten auf: relationale Datenbanken, EXPRESS, XML, CSV (Comma Separated Value), INI (Microsoft Initialisierungsdatei) und JSON (JavaScript Object Notation). Die Auswertung der Anfragen an die Originaldaten wird an einen

²⁸ <http://www.jsdai.net>

²⁹ <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/cib/forschung/downloads>

entsprechenden Parser delegiert. Externe Dokumente beliebigen Inhalts können ebenfalls Bestandteil eines Multimodells sein, indem ein spezieller Container die teilhabenden Dokumente kapselt und die geforderte *ideelle Elementarmodelldatenstruktur* bereitstellt. Das Dokument kann somit beliebigen Fachmodellelementen zugeordnet werden, entweder als Ganzes oder auf der Ebene interner Strukturelemente, sofern diese vorhanden bzw. bekannt sind, z. B. Seiten oder Kapitel. [Fuch2015, Kap. 3.4.4]. Die Syntax und Semantik der einzelnen Fachmodelle berücksichtigt MMQL nicht, jedoch lassen sich vom Konzept her Filterfunktionen aus BIMfit einbinden.

Der zweite wesentliche Aspekt betrifft die Auswertung der Verlinkung der beteiligten Elementarmodelle. Die zugrunde liegende Datenstruktur entspricht dem Datenschema des generischen Multimodells. Erstens bestimmt die *Elementkombination*, welche Elemente aus welchen Fachmodellen kombiniert werden sollen und wie diese Kombination zu erfolgen hat. Hierbei wird festgelegt, inwieweit nichtverlinkte Elemente in eine Ergebnismenge aufgenommen werden sollen. Zweitens bestimmt die *Linkinterpretation*, welche Bedeutung ein gegebener Link für eine korrespondierende Menge von Elementen hat. Zur Erinnerung: In einem generischen Multimodell kann ein Link n Elemente aus m Elementarmodellen verknüpfen, wobei n größer als m sein darf (mehrwertiger Link). Es muss also bestimmt werden, wie bei fehlenden Elementen, z. B. aufgrund vorangegangener Filterung auf Elementarmodellebene, oder wie bei transitiven, also indirekt verlinkten Beziehungen zu verfahren ist.

MMQL ist deklarativ und mengenorientiert und lehnt sich bezüglich Semantik und Syntax an die Datenbankmanipulationssprache SQL an. Die wesentliche Erweiterung betrifft die Auswertung, Erstellung und Änderung von Links und dient somit zur Ergänzung der Filterung auf Fachmodellebene. Die textuelle Syntax erlaubt im Gegensatz zu grafischen Oberflächen oder APIs eine höhere Flexibilität. Die Sprache richtet sich nach Angaben der Autoren an Anwendungsentwickler oder ambitionierte Endanwender.

Einbettung von Multimodellen in die Prozesse des Bauwesens: Der kollaborative Umgang mit Multimodellen und der darin enthaltenen Fachmodelle erfordern entsprechende prozessorientierte Modelle, um Projektinformationen gezielt abfragen, verlinken, visualisieren, überprüfen, detaillieren, aggregieren und filtern zu können.

Als Basis definiert Mefisto-Elementaroperationen als domänenneutrale, datentechnische Operationen, die aus den Strukturen des generischen Multimodells ableitbar sind. Diese betreffen das Erzeugen, Lesen, Aktualisieren und Löschen der Elemente Multimodell, Fachmodell, Linkmodell, Link und Metadatum und sind einschließlich der Abhängigkeiten, die sich durch die Struktur des Multimodells ergeben, streng formal definiert. Beispielsweise wird vorgegeben, dass beim Löschen eines Fachmodells auch alle beteiligten Links zu beseitigen sind.

Des Weiteren thematisiert Mefisto die Nutzung von Referenzmodellen zur effizienteren Erstellung von Multimodellen, wobei eine Unterscheidung in fünf elementare Formen der Modellanpassung vorgenommen wird: Modellübernahme, kompositorische Modellanpassung (Zusammensetzung aus Referenzbausteinen), generische Modellanpassung (Instanziierung bzw. Spezialisierung), deterministische Modellanpassung (Konfiguration nach spezifizierten Regeln) und Analogiebildung (beliebig änderbares oder kombinierbares Vorbild).

Für ein kollaboratives, prozessorientiertes Vorgehen sind eine Identifizierung und Differenzierung der einzelnen Modelltypen und insbesondere eine Beschreibung der Semantik der Fachmodelle nötig. Hierzu steht ein Annotationsvokabular bereit, wie bereits oben vorgestellt, also Modelldomänen, Projektphasen, Detailstufen und Bearbeitungsstände von Projekten usw.

Auf Basis dieser drei Entwicklungen stellt Mefisto Multimodelloperationen für das Bauprojektmanagement vor, nämlich

- Anfrage: Konstruieren von Referenzmodellen
- Erstellen: Erstellen von Fach-, Link- und Multimodellen
- Freigabe und Austausch: Annotation und Freigabe von Fachmodellen
- Prüfung: Visualisierung und Vergleich von Fachmodellen
- Verwertung: Filtern von Fach-, Link- und Multimodellen, Mappen, Detaillieren (Expandieren) und Aggregieren (Verdichten) von Fachmodellen.

Die einzelnen Operationen werden auch hier in einer stark formalisierten Form beschrieben. Der insgesamt hohe Formalisierungsgrad soll die Entwicklung eindeutiger, vergleichbarer Werkzeuge von verschiedenen Softwareherstellern fördern sowie möglichst viele und eindeutige Konfigurationen und Anwendungen von Operationen ermöglichen.

Viele der aufgezeigten Modelloperationen wurden im Projekt Mefisto im Rahmen prototypischer und kommerzieller Softwarekomponenten umgesetzt. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass für eine durchgängige Bearbeitung der Multimodelle diese weiter ausgearbeitet und erprobt werden müssten, und dass weitere Untersuchungen insbesondere für die Überprüfung, den Vergleich, die Synchronisation, die Integration und die Versionierung der interdependenten Fachmodelle erforderlich seien.

Mefisto-Plattform: Diese Plattform liefert die IT-Infrastruktur für eine kollaborative Nutzung der Multimodelle. Sie wird als semantische Dienstplattform bezeichnet, die die eingesetzten Softwaresysteme der Bauprojektpartner vernetzt und den koordinierten Austausch von Multimodellcontainern unterstützt. Dazu folgt sie dem Architekturmuster der Serviceorientierung SOA – Service Oriented Architecture).

Die grundlegende Annahme für das Konzept der Mefisto-Plattform ist, dass die Modellinformationen in einem Bauprojekt bei den einzelnen Projektpartnern dezentral gespeichert sind und dort in unterschiedlichen Granularitäten, Fachsichten und proprietären Dateiformaten vorgehalten werden. Durch die Erweiterung der Fachanwendungen um einheitliche Webservice-Schnittstellen oder die Externalisierung einzelner Komponenten als Webservices entstehen fachspezifische Anwendungsdienste, die über die zentralen Plattformdienste interagieren können. Im Projekt Mefisto wurden prototypisch die kommerziellen Fachanwendungen GRANID von der gibGREINER GmbH für den Einsatz beim Auftraggeber und RIB iTWO von RIB Software AG auf Auftragnehmerseite mit den Plattformdiensten verbunden. Die zentralen Plattformdienste stellen Funktionen für das Zusammenwirken der Anwendungs- und Plattformdienste sowie für die Zusammenarbeit der Anwender zur Verfügung. Die Dienste der Informationslogistik verwalten die dezentralen Anwendungsdienste und zentralen Verwaltungsdienste sowie ihre Nutzer, die stets als Teil einer Virtuellen Organisation (VO) von Bauprojekten betrachtet werden. Der VO liegen in Mefisto ebenfalls formal beschriebene Modelle zugrunde. Darüber hinaus ermöglicht die Plattform die Verwaltung der Multimodellcontainer, die über die Plattform ausgetauscht wurden sowie die Steuerung dieser Kommunikation auf der Grundlage von Workflowmodellen. Für die Modellierung der Kollaborationsprozesse wurden die Prozessdiagramme der BPMN (Business Process Model and Notation) ausgewählt. Die Dienste zum Multimodellmanagement umfassen einen zentralen Datenspeicher sowie einen webbasierten Viewer für Multimodellcontainer, als Multimodellnavigator bezeichnet. Darüber hinaus bieten sie zentrale Dienste für das Filtern von IFC-Modellen mit BIMfit sowie von Multimodellen mit der M2A2-Plattform (Multi Modell Analyzing and Assembly Platform), in der MMQL implementiert.

tiert ist. Die Plattformdienste zur Verwaltung der Vorlagen (Referenzmodelle) stellen Vokabulare für eine einheitliche Annotation des Multimodellcontainers im Projekt bereit, indem sie z. B. die Modelldomänen, Projektphasen, Detailstufen und Bearbeitungsstände von Projekten definieren. Zusätzlich verwalten die Dienste zentrale Kataloge mit Modellierungsvorlagen für Multimodellcontainer durch sogenannte Multimodellvorlagen für die Prozessmodellierung mithilfe von Referenzprozessen und für Baugeräte und Baustelleneinrichtungen in einem Baugerätekatalog.

Eine Komponente zur Implementierung der Mefisto-Plattform nutzt Cloud-Lösungen der Firma Microsoft. So sorgen für die Persistenz der zentral abgelegten Daten die relationalen Datenbanken des Dienstes SQL Azure und für die als *Blob* abgelegten Multimodellcontainer der Dienst Azure Storage. Anmerkung: Der Begriff BLOB steht für Binary Large Object und bezeichnet, im Kontext von relationalen Datenbanksystemen einen eigenen Datentyp für große Datenobjekte, deren Instanzen der Kontrolle des Datenbankmanagementsystems unterliegen und eine beliebige interne Struktur aufweisen dürfen.

Sonstiges: Weitere Teile der Studie beschäftigten sich mit den Themen Visualisierung von Multimodellen, wissensbasierte Modellierung von Bauprozessen auf Basis von Referenzmodulen sowie die Filterung von IFC-Fachmodellen. Das Thema Filterung findet sich in aktualisierter im weiteren Verlauf des Berichts unter dem Punkt Formatfrage – IFC.

Diskussion des Multimodellansatzes

Das Projekt Mefisto thematisiert zahlreiche Aspekte, die sich mit einer organisatorischen und informationstechnischen Verbesserung der Abwicklung von Bauprojekten beschäftigt. Im Zentrum eines Lösungsansatzes stehen Multimodelle und Multimodellcontainer und deren Verwendung in einer kollaborativen und prozessorientierten Organisationsform. Die folgenden Abschnitte heben einzelne Aspekte des Ansatzes aus dem Blickwinkel der digitalen Langzeitnutzbarkeit hervor und stellen als Fazit kritische und positive Gesichtspunkte zusammen.

Multimodelle und Multimodellcontainer: Der Multimodellansatz soll die im Bauwesen stark ausgeprägte Heterogenität der Fachanwendungen im Bauwesen überwinden, wobei domänenübergreifende Analysen bei Mefisto im Fokus stehen. Anstatt eines hochgradig integrierten Datenmodells werden die einzelnen Fachmodelle über eine explizite Verlinkung ihrer Elemente ID-basiert zu einem Multimodell verbunden. Linkmodelle fassen die einzelnen Verlinkungen nach aufgabenspezifischen Kriterien zusammen. Die Fachmodelle und die dazugehörigen Datenstrukturen bleiben bei diesem Ansatz unverändert und die internen Elementverlinkungen dürfen durch ein Linkmodell nicht dargestellt werden. Deren Auswertung und Verarbeitung bleibt den jeweiligen Fachanwendungen vorbehalten. Die Einführung von Multimodellen hat Einfluss auf die Projektbearbeitung. Mefisto zeigt, wie die Verwendung von Multimodellen mit Unterstützung von Ontologien den Übergang von einer plan- bzw. bauwerksorientierten Bearbeitung zu einer prozessorientierten, kollaborativen Projektentwicklung unterstützt.

Die Einführung von Multimodellen hat ebenfalls Auswirkung auf ein lebenszyklusbegleitendes Management von digitalen Bauwerksinformationen. Langfristige Aspekte finden jedoch keine ausdrückliche Beachtung, außer dass die Mefisto-Plattform einen Basisdienst zur Backup- und Projektarchivierung besitzt. Eine grundsätzliche Frage betrifft einerseits den langfristigen Nutzen feingranularer Modellverlinkungen für die öffentliche Bauverwaltung – speziell aus der Projektentwicklung, deren Handhabung detailliert untersucht und deren Vorteile gut erkennbar sind – und andererseits den Aufwand für die Erstellung und langfristige Pflege der Multimodel-

le und der hierfür nötigen IT-Infrastruktur einschließlich MMQL-Engine, Multimodellvorlagen und ergänzenden Ontologien.

Projektorientierung und virtuelle Organisationsform: Der Fokus der Untersuchungen von Mefisto liegt auf der Durchführung, sowie dem Management und Controlling von Bauprojekten. Projekte sind per Definition zeitlich begrenzt. Darüber hinaus sollen die Bauprojekte im Rahmen von virtuellen Organisationen durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass auf eine Institutionalisierung zentraler Funktionen weitgehend verzichtet wird und sich eine Organisation mit Abschluss eines Projekts auflöst und sich bei anderen Projekten mit geänderten Beteiligten neu bildet. Die Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen benötigt jedoch ein bestimmtes Maß an Institutionalisierung verbunden mit einer Übernahme der Verantwortung für den Informationserhalt. Zwar gibt es auch in der Langzeitarchivierung Modelle der Verteilung und Dezentralisierung, die das OAIS-Referenzmodell z. B. unter der Bezeichnung kooperierende oder föderierte Archive beschreibt und dabei verschiedene Stufen der Autonomie berücksichtigt, doch die Partner bilden bei allen Varianten eine OAIS-konforme Organisation [ISO14721:2012, Kap. 6].

Demzufolge bräuchte der Ansatz von Mefisto aufgrund der virtuellen Organisationsform eine spezifische organisatorische und technische Ergänzung, um u. a. folgende Aufgaben durchzuführen. Sicherstellung der dauerhaften Verfügbarkeit der dezentralen, ursprünglich von den Teilnehmern der virtuellen Organisation bereitgestellten Webservices, Übergang von einer lokalen Speicherung und Verantwortung [Sche2014a, Kap. 1.3] zu einer institutionalisierten Lösung, Durchführung von Formatmigrationen der Fachanwendungen sowie Überprüfung der Korrektheit der Linkmodelle nach jedem Versionswechsel der Fachanwendungen bzw. nach jeder Formatmigration, Umgang mit redundanten Formaten, die die Multimodelle zulassen und deren Widerspruchsfreiheit in der Verantwortungen des Senders des Multimodellcontainers liegt [Sche2014a, Kap. 2.7.2]. Die für den Multimodellansatz spezifischen Aufgaben fallen an, sofern die Dienste bzw. Fachanwendungen für eine Auswertung oder Anpassung der langfristig benötigten Multimodelle erforderlich sind.

Eine Nachnutzbarkeit bzw. Weiterverwendung (Editierbarkeit) von Fachmodellen wird von der Bauverwaltung ausdrücklich gewünscht, so dass das ursprüngliche Anwendungsprogramm oder ein dazu kompatibles Programm bei proprietären Formaten oder bei fehlerhaft bzw. fragmentarisch implementierten Standardformaten verfügbar sein muss. Der Mefisto-Ansatz beschränkt sich bei Fachmodellen auf einen lesenden Zugriff und definiert auch keine generischen Methoden zu deren Editierbarkeit bzw. zur Propagation von Änderungen.

Die Rolle von Bauwerksmodellen: Obwohl das Multimodellkonzept kein führendes Fachmodell voraussetzt, zeigt sich, dass das Bauwerksmodell auch in der Domäne Bauprojektmanagement, die Mefisto schwerpunktmäßig behandelt, eine zentrale Rolle einnimmt. In nahezu allen vorgestellten Multimodellcontainern ist das Bauwerksmodell enthalten und außerdem wird dem Bauwerksmodell explizit eine zentrale Funktion zugeordnet, z. B. als zentraler Informationsträger und Grundlage für weitere Fachmodelle [Sche2014a, Kap. 7.2.1], als zentrales Modell im kollaborativen Arbeiten [Sche2014a, Kap. 4.5.2] oder als zentrales Medium für die Visualisierung [Sche2014a, Kap. 16.3.1].

Den Aufgaben der Bauverwaltung entsprechend kommt dem Bauwerksmodell, u. a. durch die Verpflichtung zur Bauwerksdokumentation, eine zentrale Bedeutung zu, sodass diesem Fachmodelltyp konzeptionell und datentechnisch eine führende Rolle zugeordnet werden kann. Die Verfügbarkeit eines standardisierten, stabilen und leicht transformierbaren bzw. filterbaren Formats für die Bauwerksmodellierung ist daher essenziell, insbesondere wenn ein lebenszyk-

lusbegleitendes Informationsmanagement wie in der öffentlichen Bauverwaltung gefordert wird. Als einziger Kandidat kommt hierfür nur IFC in Frage.

Standardisierung: Die Erstellung von Multimodellen und die Sicherung von deren Dauerhaftigkeit werden erheblich erleichtert, falls beteiligte Fachmodelle, wiederkehrende Sichten, semantische Anreicherungen und die eindeutige Identifikation von Modellelementen in einer standardisierten Form vorliegen. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich durch eine Standardisierung des Containerformats. Einen Beitrag zur Standardisierung (im weiteren Sinne) liefern zwei technische Dokumente vom Typ DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren (Publicly Available Specification)³⁰, bei dem jedoch im Gegensatz zu Normen keine *Konsenspflicht* besteht.

DIN SPEC 91400:2017-02 Building Information Modeling (BIM) – Klassifikation nach STLB-Bau: Diese Spezifikation legt einen Katalog klassifizierender Bauteilgruppen mit ihren wesentlichen charakteristischen Beschreibungsmerkmalen und Ausprägungen fest. Damit können IFC-Modelle entsprechend der in Deutschland üblichen Nomenklatur angereichert werden. Bauteilgruppen, Beschreibungsmerkmale und Ausprägungen besitzen eine eindeutige Identifizierung mittels GUID, welche eine stabile Referenzierung von externen Katalogdaten sowie eine dauerhafte Verlinkung mit anderen Fachmodellen, insbesondere Leistungs- und Kostenmodellen, unterstützen. Das DIN verspricht die dauerhafte und kostenlose Bereitstellung der zugehörigen Katalogdatei zum Download.

DIN SPEC91350:2016-11 Verlinkter BIM-Datenaustausch von Bauwerksmodellen und Leistungsverzeichnissen: Diese Spezifikation definiert Anforderungen an die Datenstruktur der beteiligten Fachmodelle, des Linkmodells sowie des Multimodellcontainers (BIM-LV-Container) und der beschreibenden Metadaten in Form eines XML-Schemas. Als Formate sieht die Spezifikation IFC bzw. GAEB DA XML vor. Die Austauschprozesse nach GAEB und deren Bezeichnung spiegeln sich in den festgelegten Metadaten wider. Eine Reihe von Softwareherstellern hat eine Unterstützung dieses Containerformats zugesagt³¹.

DIN EN ISO 19650-1:2017-04 Organization of information about construction works – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles³²: Dieser Entwurf (Draft International Standard) führt ebenfalls den Begriff Container ein. Die Definition eines Containers fällt wesentlich allgemeiner aus wie bei Mefisto, nämlich als benannte, dauerhafte Menge (Set) von Daten und Informationen innerhalb einer Datei oder Speicherhierarchie eines Systems oder Anwendung. Die Container können geschachtelt sein und unterschiedliche Arten von Daten und Informationen enthalten. Darauf aufbauend wird ein container-basiertes kollaboratives (collaborative) Arbeiten definiert, welches die Nutzung dieser Container zur Zusammenarbeit (cooperation) der Beteiligten umfasst, um Informationen zum Projekt oder Bestand (Asset) zu teilen. Dem Datenmanagement liegt in diesem Standard für das Informationsmanagement ein föderiertes Informationsmodell zugrunde. Als bisher noch nicht erreichte und noch zu standardisierende weitere Entwicklungsstufe wird ein datenbankgestütztes Informationsmodell gesehen. Eine Beschreibung der Modelle enthält der Standard nicht. Es wird lediglich eine Reihe von Grundprinzipien aufgeführt, die für eine container-basierte Kollaboration gelten sollen. Hierzu zählt die Bereitstellung einer *administrierten Umgebung* (mana-

³⁰ <http://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-spec>

³¹ Vortrag „BIM-Lieferprozesse – Standards für die Datenübergabe von Modellen und Multimodellen“ von Sven-Eric Schapke anlässlich des 15. BIM-Anwendertages, Mainz, 09.05 2017

³² Zur Ablehnung dieses Standards durch die deutsche Bundesarchitektenkammer siehe deren Stellungnahme vom 07.04.2017: <https://www.bak.de/bundesarchitektenkammer/stellungnahmen-1/pool-stellungnahmen/bak-stellungnahme-zu-e-din-en-iso-19650-1.pdf>

ged environment) bzw. einer gemeinsamen Datenumgebung (CDE – Common Data Environment), um geteilte Daten und Informationen zu speichern und den Beteiligten geeignet und sicher für eine Erzeugung, Nutzung und Pflege bereitzustellen. Innerhalb von CDE sind für die Container vier Bearbeitungsstände definiert, nämlich Work in Progress, Shared, Published und Archive. Im Zustand Shared soll für Änderungen des Inhalts der Container in den Zustand Work in Progress zurückgesetzt werden.

Fazit

Der nachfolgende Abschnitt enthält zusammenfassend risikobehaftete bzw. nicht behandelte sowie positive Aspekte des Multimodellansatzes aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit in der öffentlichen Bauverwaltung.

Risikobehaftete bzw. nicht behandelte Aspekte:

- Die Verminderung der für die Langzeitnutzbarkeit in der Bauverwaltung kritischen Vielfalt an Formaten ist nicht Gegenstand des Ansatzes.
- Der Aufwand für eine semantische Homogenisierung mittels Multimodellen einschließlich Erstellung von Sichten und begrifflicher Vereinheitlichung bleibt hoch.
- Der Multimodellansatz geht mit einer stark dezentralen und projektorientierten Organisationsform sowie einer dezentralen IT-Infrastruktur einher. Die Angemessenheit dieses Vorgehens lässt sich mit den spezifischen Anforderungen der (deutschen) Bauproduktion begründen. Die Sicherstellung der digitalen Langzeitnutzbarkeit erfordert jedoch ein gewisses Maß an Institutionalisierung und Zentralisierung.
- Der Umgang mit Links nach Änderung der beteiligten Fachmodelle bleibt insbesondere unter Langzeitaspekten problematisch. Änderungen können sowohl fachlich bedingt sein, z. B. durch ein Bauen im Bestand, als auch dv-technisch, z. B. durch Formatmigrationen.
- Möglicherweise ergibt sich über einen längeren Zeitraum eine zunehmende und ungewollte Vielfalt an Versionen und Varianten von Containerformaten. Ggf. entstehen proprietäre Multimodellformate für marktrelevante Verlinkungen, z. B. für 5D-Anwendungen.
- Die vorgeschlagene Abweichung von bereits standardisierten Ordnungssystemen, obwohl zweckmäßig und begründet, erfordert ergänzende Absprachen und stößt in der Verwaltung ggf. auf Ablehnung.
- Das Containerformat besitzt konzeptionelle Überschneidungen mit OAIS-Informationspaketen oder anderen in der Langzeitarchivierung gebräuchlichen Containern. Ein paralleler Einsatz führt zu redundanten Datenstrukturen. Eine Erweiterung des Multimodellcontainerformats zu einem universellen Containerformat, das dem OAIS-Referenzmodell genügt, wird als eine mögliche Lösung seitens des Studienteams der UniBwM jedoch nicht empfohlen, da schon verschiedene Formate aus der Langzeitarchivierung verfügbar sind und das MMC-Format nicht mit Metadaten überfrachtet werden soll, die in der Projektphase nicht nötig oder nicht verfügbar sind. Im Sinne von OAIS wäre ein Multimodellcontainer *als Digitales Objekt* zu behandeln.

Positive Aspekte und Potenziale:

- Mefisto bietet eine ganzheitliche Sicht auf Produkt- und Prozessmodelle des Bauwesens und liefert Ordnungsstrukturen für die vorhandene komplexe Modell- und IT-Landschaft. Einheitliche Metadatenschemata einschließlich kontrollierter Vokabularien vereinfachen nicht nur eine projektbezogene Kollaboration, sondern auch den langfristigen Umgang mit großen Mengen von Modelltypen und Modellinstanzen.

- Mefisto setzt auf Abstraktion (vgl. Ebenenmodelle) und Formalisierung (vgl. die Nutzung formaler Sprachen). Dies führt zu stabileren und präziseren Modellen und verbessert die Portierbarkeit und Anpassungsfähigkeit von Softwaresystemen.
- Die (semiautomatische) Verlinkung von Modellen führt zu einer besseren Qualität der einzelnen Fachmodelle durch eine einfachere und rechtzeitige Aufdeckbarkeit von Unvollständigkeiten und Widersprüchen. Eine nachträgliche Beseitigung von Mängeln an den Modellen seitens der Bauverwaltung, insbesondere bei baufachlichen Defiziten und nach Auflösung der virtuellen Organisation, ist praktisch nicht leistbar. Eine Multimodellbetrachtung, auch temporärer Art, kann daher den langfristigen Wert von Modellen steigern.
- Der Multimodellansatz erlaubt eine systematische Modularisierung von Modellen. Insbesondere kann das komplexe IFC-Format verschlankt sowie mit einheitlichen Konzepten und Werkzeugen um nationale bzw. verwaltungsspezifische Modelle ergänzt werden. Vom Grundsatz her kann eine Modularisierung gegenüber einem hochintegrierten Format das langfristige Risiko eines Informationsverlustes verringern, da sich manipulative Operationen einschließlich eventueller Migrationen auf Teile des Informationsraums beschränken und sich absehbar nicht längerfristig benötigte Teile frühzeitig risikoarm abspalten lassen.
- Die Ergebnismengen von MMQL-Abfragen besitzen wegen ihrer Tabellenform eine einfache Struktur, die sich daher für eine Langzeitnutzbarkeit eignet und somit zumindest einen eingeschränkten Informationserhalt gewährleistet insbesondere wenn die Ergebnisse aus proprietären, hochspezialisierten oder ungebräuchlichen Formaten stammen.

Konkrete Anwendungsmöglichkeiten für die öffentliche Bauverwaltung:

- Unterstützung einer langfristigen, kooperativen Datenpflege durch nutzende Verwaltungen bzw. FM-Abteilungen insbesondere beim Einsatz heterogener FM-Systeme
- methodische Unterstützung – auch unabhängig von einem Einsatz von Multimodellen – bei der Überführung der natürlich-sprachlichen oder uneinheitlich strukturierten Vorschriften, Richtlinien und sonstige Vorgaben in eine formale und einheitlichere Darstellung, z. B. durch eine durchgängige Nutzung der Baukernontologie
- langfristiges Monitoring von Bauwerken durch einheitliche Verlinkung von Bauwerksmodellen mit heterogenen spezialisierten Verhaltens-, Verbrauchs- und Schadensmodellen.

7.1.6 Fazit zum Datenmanagement

Für ein Datenmanagement im Bauwesen stehen unterschiedliche Konzepte und Produkte zur Verfügung. Die wesentlichen Merkmale der verschiedenen Ansätze sowie deren Vor- und Nachteile insbesondere aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit wurden in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben und diskutiert. Große Differenzen bestehen im Grad der technischen und organisatorischen Verteilung, also zentral vs. dezentral, in der Kollaborationsfähigkeit und in der Formalisierung bzw. Granularität der Bauwerke und der damit verbundenen Fachmodelle. Inwieweit sich ein digitales Bauwerksmodell über die gesamte Lebensdauer in einem konsistenten und aktuellen Zustand erhalten lässt, hängt stark von der Qualität der Modellierung der Produkte und Prozesse und einer Implementierung der Modelle ab. Eine zentrale Rolle spielen dabei die verwendeten Daten- und Dateiformate zur Modellierung der Bauwerke und zum expliziten Austausch von Informationen und Nachrichten. Der nachfolgende Abschnitt widmet sich daher ausführlich der Formatfrage.

7.2 Die Formatfrage

Daten- und Dateiformate spielen für den langfristigen Erhalt digitaler Informationen eine entscheidende Rolle. Die Beherrschung der Vielfalt an Formaten und deren meist rasche Überalterung gehören zu den größten Herausforderungen. Gründe liegen in den divergierenden Zielvorstellungen und Randbedingungen bei deren Entwicklung wie:

- zeitliche Stabilität versus Unterstützung neuester Hardwaretechnologien und immer spezifischeren Nutzerforderungen
- Schutz geistigen Eigentums (Marktvorteile) versus Offenheit
- Ausdrucksstärke und damit verbundene Komplexität versus Einfachheit
- Konsens (Standardisierung) versus schnelle Entwicklung
- Speicher- versus Laufzeiteffizienz versus Einfachheit.

Von diesem Spannungsfeld ist auch das Bauwesen betroffen, insbesondere wegen der Produkt- und Prozesskomplexität.

Gedächtnisorganisationen, aber auch technische Industriezweige außerhalb des Bauwesens, schenken der Formatfrage im Zusammenhang mit der Langzeitarchivierung schon seit längerer Zeit erhöhte Aufmerksamkeit. Die damit verbundenen Aktivitäten und Ergebnisse lassen sich auch im Bauwesen direkt oder in konzeptioneller Hinsicht nutzen wie nachfolgend aufgezeigt.

7.2.1 Formatregister

Formate enthalten im hohen Maße Repräsentationsinformationen im Sinne des OAIS-Informationsmodells. Daher bemühen sich Gedächtnisorganisationen, Formate zu identifizieren, möglichst formal zu beschreiben und die Informationen in öffentlichen Registern (Format Registry) bereitzustellen. Einen hohen Grad an Formalisierung strebte die Harvard Library mit GDFR (Global Digital Format Registry)³³ an. Dieses Projekt wird jedoch nicht mehr fortgeführt, die Dokumentation steht jedoch noch im Netz und erlaubt einen detaillierten Einblick in die syntaktischen und semantischen Aspekte von Formaten. Ein Open-Source-Projekt der University of California zur Vereinheitlichung von GDFR und dem Verzeichnisdienst PRONOM mittels semantischer Techniken in einen UDFR (Unified Digital Format Registry)³⁴ wird wegen geänderter Prioritätensetzung ebenfalls nicht mehr fortgesetzt und die Bibliothek der Harvard Universität hat den entsprechenden prototypischen Dienst im Jahr 2016 eingestellt und empfiehlt PRONOM zur weiteren Nutzung. Dieses bezüglich der Formalisierung reduzierte und eher pragmatisch ausgerichtete öffentliche Register betreibt und entwickelt das Nationalarchiv des Vereinigten Königreichs (The National Archives)³⁵. Es enthält bereits Informationen von über 1.300 Formaten, darunter auch Formate aus dem technischen Bereich wie IFC, DWG oder RFA (Revit Family File). Einige Formate fehlen bisher oder sind noch nicht vollständig dokumentiert z. B. bezüglich ihres Lebenszykluses oder möglicher Migrationspfade. Ein Ziel von PRONOM ist die dauerhafte und eindeutige Identifizierung von Formaten, um dadurch die Mängel bestehender Mechanismen zu überwinden, wie die ursprünglich aus der Unix-Welt stammenden magischen Nummern (magic number) oder die im Internet gebräuchlichen Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) and Media Types der IANA (Internet Assigned Numbers Authority)³⁶. Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt der Benutzeroberfläche von PRONOM, der Auskunft zum Format DWG Version 1.0 gibt einschließlich des eindeutigen Identifikators (PUID – PRONOM Unique

³³ http://library.harvard.edu/preservation/digital-preservation_gdfr.html

³⁴ <http://www.udfr.org>

³⁵ <http://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM/Default.aspx>

³⁶ <https://www.iana.org/protocols> Internet Assigned Numbers Authority

Identificator). Ausführliche Informationen zu Dateiformaten und deren Beständigkeit erhält man auch bei der LOC (Library of Congress), die auf dem Gebiet der digitalen Langzeitarchivierung zu den führenden Institutionen gehört. Hier der Link zu einem Beispiel zu STEP-21³⁷.

7.2.2 Nachhaltigkeitsbewertung von Formaten

Ein weiteres Anliegen von Gedächtnisorganisationen und deren Dienstleistern ist die Erarbeitung von Maßstäben zur Beurteilung der Risiken von Formaten für einen langfristigen Informationserhalt. So hat hierzu die DPC (Digital Preservation Coalition) eine Reihe von Nachhaltigkeitskriterien aufgestellt:

- Stand der Entwicklung (Development Status)
Überblick über die Geschichte, Eigentumsverhältnisse sowie aktueller Satus des Formats.
- Einführung und Nutzung (Adoption and Usage)
- Eindruck über die Verbreitung eines Formats mit einem Verweis der Nutzung in anderen Gedächtnisorganisationen und deren praktische Erfahrungen im Umgang damit.

The screenshot shows the PRONOM technical registry website. The page title is "The technical registry PRONOM". The main content area displays "Details for: AutoCAD Drawing 1.0". Below this, there is a navigation bar with tabs for "Simple search", "File format", "PRONOM Unique Identifier", "Software", "Vendor", "Lifecycles", and "Migration Pathways". The "File format" tab is selected. The main content area contains a table with the following data:

Summary	
Name	AutoCAD Drawing
Version	1.0
Other names	DWG (1.0)
Identifiers	PUID: fmt/21 MIME: image/vnd.dwg
Family	DWG
Classification	Image (Vector)
Disclosure	None
Description	The AutoCAD Drawing format is a vector graphics format, and is the native file format of AutoDesk's AutoCAD family of products. The format is proprietary and AutoDesk does not make details of its structure public. The information contained here is derived primarily from the OpenDWG Alliance's reverse-engineered documentation of the format, and should not therefore be regarded as definitive. The basic structure of a DWG file comprises a header section, a drawing class definitions section, the drawing object data, a drawing object map, which contains the locations of all the objects in the drawing, and an image data section, which may contain a raster image of the drawing in either Windows Bitmap (BMP) or Windows Metafile (WMF) format. DWG version 1.0 is the version of the format associated with Version 1.0 of AutoCAD.
Orientation	Binary
Byte order	Little-endian (Intel)

Abb. 6: Bildschirmabzug zum Formatregister PRONOM

³⁷ <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000448.shtml>

- Unterstützung durch Software (Software Support)
Gesamteindruck zur Unterstützung von Software zur Wiedergabe (Rendering) in Bezug auf typische PC-Software sowie aktueller Unterstützung auf PCs. Gesamteindruck zu einer Softwareunterstützung zur Verwaltung und Erhaltung von Dateien in einem bestimmten Format einschließlich Formatidentifikation, Validierung und Aufdeckung von Erhaltungsrisiken, Konformitätsprüfungen, Extraktion von Metadaten, Migration.
- Dokumentation und Anleitungen (Documentation and Guidance)
Hinweise zur Verfügbarkeit praxisgerechter Dokumentation oder Anleitungen mit Verweisen auf Vorschläge zu empfohlenen Maßnahmen.
- Komplexität (Complexity)
Eindruck über die Komplexität eines Formats in Hinblick auf die wahrscheinlichen Auswirkungen auf die Organisationen, die die Inhalte verwalten oder damit arbeiten. Grad der Expertise, die für eine vertrauenswürdige Verwaltung und Erhaltung nötig ist.
- eingebettete oder angehängte Inhalte (Embedded or Attached Content)
Die Möglichkeit, Dateien mit gleichem oder anderem Format einzubetten oder anzuhängen, sowie die voraussichtlichen Auswirkungen davon.
- externe Abhängigkeiten (External Dependencies)
Hinweise auf mögliche externe Inhalte einer Formatinstanz, die der Ergänzung oder dem essenziellen Verständnis der intellektuellen Inhalte eines Formats dienen.
- rechtliche Fragen (Legal Issues)
Rechtliche Hindernisse zur Nutzung, Verwaltung und Erhaltung von Dateiformatformatinstanzen.
- technische Schutzmechanismen (Technical Protection Mechanisms)
Verschlüsselung, Digitales Rechtemanagement (DRM – Digital Rights Management) oder andere technische Mechanismen, die eine Nutzung, Verwaltung und Erhaltung von Dateiformatformatinstanzen einschränken.
- weitere Risiken für eine Erhaltung (Other Preservation Risks)
Weitere belegbare Risiken, die berücksichtigen, dass viele Risiken formatspezifisch sind und sich nicht den genannten Nachhaltigkeitskriterien zuordnen lassen.

Weitere Kriterien nennt die Library of Congress (LOC)³⁸, nämlich (zur Nutzung solcher Kriterien s. auch Kap. 4.1.4 Sustaining Engineering Informatics):

- Selbstdokumentation (Self-documentation)
Selbstdokumentierende digitale Objekte werden voraussichtlich langfristig leichter zu erhalten sein und sich im Katastrophenfall als weniger verletzlich erweisen als Datenobjekte, die getrennt von all den Metadaten gespeichert sind, die zur Wiedergabe der Daten als nützliche Information und zum Verständnis der Zusammenhänge (vgl. Kontextinformation im OAIS-Referenzmodell in Kap. 3.2) nötig sind.

³⁸ <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/sustain/sustain.shtml>

- **Transparenz (Transparency)**

Transparenz betrifft den Grad, zu welchen digitale Repräsentationen einer direkten Analyse mit Basiswerkzeugen zugänglich sind. Dazu zählt die Lesbarkeit durch den Menschen mit einem Text-Editor. Verschlüsselungen, Kompressionen und Informationsreduktionen (z. B. durch diskrete Kosinustransformationen wie in JPEG) widersprechen diesem Prinzip.

Grundsätzlich lassen sich diese Kriterien auch im Bauwesen anwenden, hierzu jedoch einige Anpassungen und Anmerkungen. Zur Softwareunterstützung: Hier sollte die Betrachtung nicht auf PCs eingeschränkt sein, ggf. sollte eine Langzeitstrategie die Verfügbarkeit von Emulatoren in Betracht ziehen. Zur Komplexität: Bei einer Bewertung sollte die fachliche Adäquatheit eines Formats nicht zu gering gewichtet und auch die Nachnutzbarkeit in leistungsfähigen Autoren-systemen berücksichtigt werden. Die Reduktion von Komplexität darf nicht zu Ausweidlösungen mit neuen Risiken oder zu nicht akzeptablen Informationsverlusten führen. Zur Dokumentation und Anleitung: Dieses Kriterium sollte auch die Verfügbarkeit möglichst formaler Formatspezifikationen beinhalten, insbesondere wenn das Prinzip der Transparenz nicht praktikabel ist. Kompressionen und Reduktionen sowie komplexe interne Referenzierungen widersprechen zwar diesem Kriterium, sind jedoch aus praktischen Gründen zweckmäßig, insbesondere bei (bewegten) Bildinformationen. Wie dort die Transparenz erhöht werden kann, ist Gegenstand der aktuellen Forschung [Schen2015], [Schen2016].

7.2.3 Neutrale Formate vs. Formatmigration

In der Luft- und Raumfahrttechnik liegt für eine digitale Langzeitnutzbarkeit eine Produktlebensdauer von 50 bis 100 Jahren zugrunde. Ziel der Initiative LOTAR³⁹ ist es, die Daten über den gesamten Zeitraum verfügbar und nutzbar zu halten. Wie im Bauwesen lösen semantische digitale Produktmodelle (Semantic Representation) herkömmliche Verfahren ab wie reine CAD-Daten, 2D-Pläne (im TIFF-Format oder auf analogen Datenträgern) und separat geführte technische Dokumente. Die maschinell verarbeitbaren semantischen Repräsentationen bilden zusammen mit den durch den Menschen lesbaren Darstellungen (Presentation) die Produkt- und Herstellungsinformationen (PMI – Product and Manufacturing Information). Aus diesem Ansatz ergeben sich ähnliche Fragestellungen wie im Bauwesen. Als erhebliches Problem werden die große Anzahl an CAD-Dateien und die Versionswechsel von CAD-Systemen bzw. Generationswechsel in der IT gesehen. Den daraus folgenden hohen Aufwand für nötige Migrations-schritte und Anpassung der Schnittstellen kann nach Ansicht der Initiative nur die Verwendung neutraler Formate reduzieren. Als weitere Vorteile neutraler Formate sieht die Initiative die Unabhängigkeit von IT-Anbietern, die Nachvollziehbarkeit von Änderungen am Datenmodell sowie eine konsistente und abrufbare Datenbasis. Abb. 7 zeigt eine Abschätzung der Kosten verschiedener Erhaltungsmethoden auf.

³⁹ <http://www.lotar-international.org/why-lotar/technical-it-background.html>

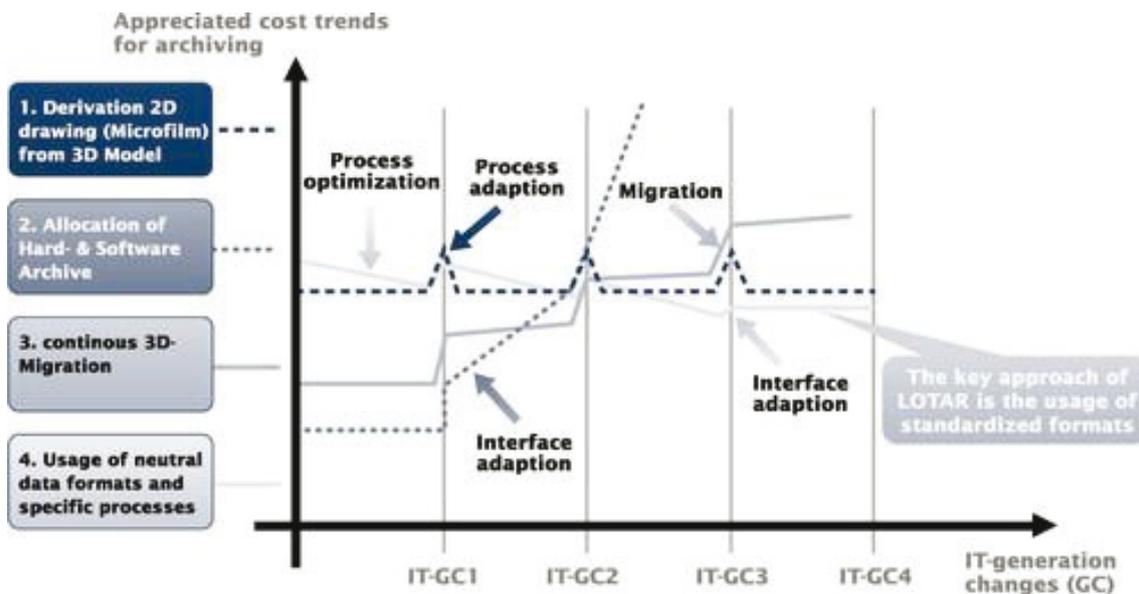


Abb. 7: Aufwandsabschätzung für verschiedene Erhaltungsmethoden [LOTAR]

7.2.4 Formate im Einzelnen

IFC

Dem Format IFC (Industry Foundation Classes) kommt eine Schlüsselrolle auf den Weg zu Open BIM und zur Digitalisierung des Bauwesens zu. Dieses Format erfreut sich breiter Aufmerksamkeit in der Praxis und in der Forschung. Das Format ist in der Fachliteratur ausführlich beschrieben, so dass sich die folgenden Ausführungen auf Merkmale konzentrieren, die zur Einschätzung in Bezug auf eine digitale Langzeitnutzbarkeit wesentlich sind. Als fachlich fundierte, etwas tiefere und dennoch verständliche Einführung kann das VDI-Buch Building Information Modeling empfohlen werden [Borr2015].

Geschichte und Standardisierungskontext

Die erste Version von IFC wurde bereits 1997 veröffentlicht. Im Gegensatz zu anderen Industriezweigen wurde der Standardisierung zum Austausch von Produktmodelldaten außerhalb der ISO-Verfahren von IAI (International Alliance for Interoperability) vorangetrieben. Diese im Jahr 1995 in den USA gegründete Vereinigung nennt sich seit 2005 buildingSMART und setzt sich unter dem Dach von buildingSMART International aus über 30 nationalen bzw. regionalen Chapters zusammen. In Österreich und Deutschland ist buildingSMART als eingetragener Verein (e. V.) aktiv. Die aktuell bedeutendsten Formatversionen sind IFC2x3 (IFC2x Edition 3) und IFC4 (IFC Version 4), wobei IFC4 seit 2013 den Rang eines ISO-Standards bzw. einer Euro- und DIN-Norm besitzt [DIN EN ISO 16739:2017-04]. Die STEP-Standardisierungslinie wurde nicht vollständig verlassen, so stützt sich IFC auf folgende technische Grundlagen: die Sprache EXPRESS zur Modellierung von Datenschemata [ISO 10303-11], die Klartextkodierung zur Implementierung des Modellaustausches, kurz: STEP21 [ISO 10303-21] und die Nutzung von XML-Schema zur Darstellung von EXPRESS-Schemata und -Daten [ISO 10303-28].

Modellierungsmethode

Die Bauwerksmodellierung in IFC folgt dem Paradigma der Objektorientierung und nutzt hierzu die Modellierungselemente von EXPRESS. Dazu zählen im Wesentlichen vereinfacht ausgedrückt:

Entitätstypen (Entity Data Type): (in anderen Sprachen auch als Klassen bezeichnet) Sie dienen der Beschreibung gleichartiger Entitäten bzw. Objekte des zu modellierenden Ausschnitts der realen Welt und dienen der Zusammenfassung bzw. Kapselung von Attributen und Constraints (in anderen Modellierungssprachen auch zusätzlich Methoden).

Generalisierung / Spezialisierung: Entitätstypen können in einer Vererbungshierarchie angeordnet werden. Die Subtypen erben wie in der objektorientierten Modellierung die Eigenschaften ihrer übergeordneten Typen (Supertypes) und unterstützen somit die Erweiterbarkeit von Systemen. Zur Gliederung sind auch abstrakte Obertypen zulässig, sie besitzen keine Entitäten bzw. Instanzen.

Objektbeziehungen / Rollen: Deren Modellierung geschieht in EXPRESS auf Ebene der Entitätstypen mit Hilfe von Attributen, die auf eine Entität zeigen. In einer von einer Assoziation adressierten Klasse kann zusätzlich ein Rückverweis angegeben werden. Das IFC-Schema modelliert Beziehungen zwischen Entitäten mit eigständigen Entitätstypen, die die Verweise auf die verlinkten Entitäten enthalten, die wiederum jeweils einen Rückverweis enthalten. (Das Konzept der Assoziationsklassen wie in UML steht in EXPRESS nicht zur Verfügung).

Algorithmische Randbedingungen (Algorithmic constraints): Auf Klassenebene können mit Hilfe von Where-Klauseln Ausdrücke definiert werden, deren Auswertung für ein valides Modell den Boole'schen Wert Wahr ergeben müssen.

Weitere Modellierungselemente unterstützen den Aufbau ausdrucksstarker strukturell objektorientierter Datenmodelle.

Architektur des Datenmodells

Wie bei komplexen Modellen üblich, sind die Modellierungselemente in Schichten (Layer) eingeteilt. Bei IFC handelt es sich um folgende vier Schichten:

Ressourcenschicht (Resource Layer): Diese Ebene enthält die elementaren Bausteine für den Aufbau eines semantischen Bauwerksmodells. Als grundlegende Datenstrukturen können sie nicht als eigenständige Entitäten (Objekte) auftreten und besitzen im Gegensatz zu den Entitäten der anderen Schichten keine Identität. Zu dieser Schicht zählen die Entitätstypen zur Modellierung von geometrischen Primitiven, Bauwerkstopologien, geometrischen Modellen, wie CSG oder B-Rep, Materialeigenschaften aber auch von Bausteinen zur Verwaltung von Entitäten wie Versionen oder Eigentümerschaft.

Kernschicht (Core Layer): In dieser nächsthöheren Schicht finden sich die Entitätsklassen, die von konkreten Domänen oder Prozessen abstrahieren und von allen darüber liegenden Entitäten referenzierbar sind. Der Kern dieser Schicht (Kernel) stellt grundlegende Konzepte eines Produkt und Prozessmodells wie Objekte, Akteure, Prozesse, Produkte und Beziehungen (vgl. obige Ausführungen zu EXPRESS). Darüber enthält der Kern ein Wurzelement, deren Eigenschaften von allen anderen Entitätstypen außerhalb der Resource Layer geerbt werden. Eine nicht-optionale Eigenschaft ist das Attribut, welches als Wert eine global eindeutige ID fordert (GUID – Globally Unique Identifier) Der Kern bildet die direkte Basis für drei Erweiterungsschemata für Produkte (Produkt Extension), Prozesse (Process Extension) und zur Steuerung, Regelung und Einschränkung bei der Nutzung von Produkten, Prozessen und Ressourcen (Control Extension).

Interoperabilitätsschicht (Interoperability Layer / Shared Layer): Eine weitere Schicht enthält die direkt aus der Kernschicht abgeleitete Entitätstypen, die Kandidaten für eine Ver-

wendung in mehreren Domänen darstellen und daher Relevanz für eine Kooperation besitzen. Beispiele hierzu sind typische Teile eines Rohbaus, wie Wände, Decken oder Treppen, oder sonstige Bauwerksausstattungen von gemeinsamem Interesse, aber auch Elemente aus den Bereichen FM, Baumanagement oder Betrieb (Service).

Anwendungsschicht (Domain Layer): Die Entitätstypen dieser Schicht bilden den Abschluss der Vererbungshierarchie und sind so spezialisiert, dass sie genau zu einer Domäne gehören. Sie bilden die Blattknoten in der Vererbungshierarchie und sind somit abgeschlossen. Sie können nicht aus anderen Schichten heraus referenziert werden.

Der Standard IFC4 umfasst aktuell folgende acht Domänen:

- Architektur (Architecture)
- Gebäudesteuerung (Building Controls)
- Baumanagement (Construction Management)
- Elektrik (Electrical)
- Heizung, Lüftung, Klima (HVAC – heating, ventilating and air conditioning)
- Sanitär und Brandschutz (Plumbing, Fire Protection)
- Statische Berechnungen (Structural Analysis)
- Konstruktive Elemente (Structural Elements).

Die Domänen decken die einzelnen Disziplinen nicht vollständig ab. So können beispielsweise für eine statische Berechnung bisher keine Finite-Element-Netze⁴⁰ oder vorgespannte Bauteile repräsentiert werden. Dennoch erleichtert die Modellierbarkeit von Teilaspekten den Datenaustausch bzw. die Nachnutzung von Daten in spezialisierten Anwendungen.

Trennung von Geometrie und Semantik

Ein Grundprinzip der Modellbildung in IFC besteht in der strikten Trennung semantischer Beschreibung von Bauwerken und deren Darstellung, insbesondere der geometrischen Beschreibung. Die semantischen Beschreibungen übernehmen die Führung, die Entitäten zur Darstellung, welche optional sind, besitzen keine eigenständige Existenz und daher auch keine ID. Den Elementen der semantischen Beschreibung können unterschiedliche Repräsentationen zugeordnet werden, wobei die Formulierung von Regeln und die Realisierung von Mechanismen zur Sicherung der Konsistenz außerhalb von IFC liegen. Insbesondere können Bauwerke auch ohne oder mit mehreren grafischen Repräsentationen modelliert werden.

XML-Variante

Mit ifcXML steht eine Variante von IFC4 als XML Schema Definition (XSD) zur Verfügung, dessen Ableitung dem bereits oben erwähnten Standard aus der STEP-Linie folgt [ISO 10303-28] und voll in die Spezifikation und Dokumentation von IFC4 integriert ist. Damit erschließen sich die IFC-Modelle der XML-Welt mit ihrer vielfältigen Auswahl an Werkzeugen. Diese Repräsentation erleichtert darüber hinaus den Austausch bzw. die Integration mit anderen Daten bzw. Modellen, da diese häufig im XML-Format vorliegen.

⁴⁰ hier ist die STEP-Linie weitergehend, vgl. [ISO/TS 10303-1383:2014]

Erweiterungsmechanismen

Das IFC-Modell lässt sich an spezifische Belange, die sich z. B. aus nationalen, organisatorischen oder projektspezifischen Gründen ergeben, mit definierten Mechanismen anpassen. Außerdem erscheint es unrealistisch, alle möglichen Aspekte in einem Standard festzulegen (vgl. hierzu auch die Argumentation im Projekt Mefisto). Eine Möglichkeit besteht in der Definition von zusätzlichen Merkmalen mit Einzelwerten (Property Single Value), die als Eigenschaftsmengen (Property Set) zusammengefasst den Entitäten zugeordnet werden können. Die global gesetzten Maßeinheiten (Unit) können dabei überschrieben werden. Einen weiteren Erweiterungsmechanismus bieten stellvertretende Entitätstypen, als Proxy bezeichnet, die als eine Art Container dienen, die Objekte beinhalten, die sich durch die zugeordneten Eigenschaften definieren. Eine Typisierung und die Vergabe eines Namens sollen die Bedeutung solcher Klassen beschreiben. Eine spezifische Identifizierung (z. B. Seriennummer) kann über das Attribut *Tag* vergeben werden. Das im Jahr 1998 eingeführte Modellierungselement Proxy ist jedoch als überholt (deprecated) eingestuft.

Um einen Wildwuchs bei den Property Sets zu vermeiden, der dem Ziel eines standardisierten Datenaustauschs widersprechen würde, etablierte buildingSMART ein institutionalisiertes sowie mehrsprachenfähiges und datenbankgestütztes Datenverzeichnis namens bsDD (buildingSMART Data Dictionary) für Objekte und deren Eigenschaften. Es beruht auf einem aktuell gültigen ISO-Standard zur Organisation objektorientierter Daten im Bauwesen [DIN EN ISO 12006-3:2017-04].

Sichten (Views)

Gewichtige Gründe sprechen dafür, nur mit Teilen von Bauwerksmodellen zu arbeiten. Solche Modelle sind naturgemäß äußerst komplex, sodass eine vollständige Implementierung eine große Herausforderung für die Softwareentwickler darstellt. Die Beschränkung auf Teilmodelle begrenzt den Aufwand für eine Implementierung und ggf. für eine Zertifizierung. Darüber hinaus können reduzierte Modelle das in der Praxis vorhandene Problem eingeschränkter informationstechnischer Ressourcen für eine Übertragung, Speicherung und Verarbeitung abschwächen. Ein wesentlicher Aspekt einer Teilmodellbildung ist die prozess- und aufgabengerechte Bereitstellung von Informationen, so wie sie beispielsweise in den AIA (Auftraggeber-Informationsanforderungen) bzw. im BAP (BIM-Abwicklungsplan) festgelegt sein sollten [VBi2016].

mvdXML: Die Organisation buildingSMART unterstützt den Zuschnitt von Modellen sowie deren Validierung und Dokumentation, indem sich in einer strukturierten Weise Subschemata, genannt MVD (Model View Definition), definieren lassen. Hierzu veröffentlichte 2016 als neueste Entwicklung den Standard mvdXML, mit dem MVDs und zugehörige Anforderungen an den Informationsaustausch (ER – Exchange Requirements) in maschinenlesbarer Form im Format XSD (XML Schema Definition) beschrieben werden können [mvdXML2016]. Als Beschreibungsmittel für Sichten dienen Konzeptvorlagen (Concept Template) und Konzepte (Concept). Die Konzeptvorlagen dienen als wiederverwendbare Ausschnitte eines IFC-Modells, die von einem semantisch höherwertigen Wurzelement ausgehen, welches aber nicht von der Entitätsklasse Root ausgehen muss, sondern auch aus der Ressourcenebene (Resource Layer) stammen darf. Diese Vorlagen können nun von den Konzepten auf Ebene der Entitäten referenziert werden. Die Konzepte legen die für einen konkreten Informationsaustausch spezifischen Beschränkungen (Constraints) und Nutzungen im Kontext der jeweiligen Entitäten fest. Die in den Beschränkungen definierten logischen Ausdrücke (Expression), für die der Standard eine Grammatik festgelegt hat, müssen für ein valides Modell erfüllt sein. Die optional verwendbaren Untervorlagen (Sub Templates) dienen der Zusammenfassung bestimmter zusammengehö-

riger Aspekte wie den verschiedenen Möglichkeiten der geometrischen Repräsentation von Produkten. Die Beschreibung der MVD besteht schließlich aus den Konzepten mit den zugehörigen Vorlagen, den ER und die Zuordnung von Konzepten zu ER und ggf. bereits vorhandenen Sichten, die erweitert bzw. eingeschränkt werden sollen. Die Inhalte vom Format mvdXML dürfen sich ggf. auf Konzeptvorlagen beschränken, um diese unabhängig von konkreten MVDs kommunizieren zu können. Die Nutzung von mvdXML ist unabhängig von bestimmten Schema-Varianten bzw. -Versionen. Außerdem unterstützt das Format für eine weitergehende Dokumentation die Referenzierung externer Dokumente mittels URI (Uniform Resource Identifier).

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von IFC veröffentlichte buildingSMART zwei offizielle MVD IFC4 Model View Definitions nämlich IFC4 Reference View und IFC4 Design Transfer View als Nachfolger des IFC2x3 Coordination View jeweils in der Version 1.1. Sie sollen auch als Basis für eine IFC4-Zertifizierung dienen und den aktuellen Standard ISO16739 als Addition ergänzen.

IFC4 Reference View: Der Hauptzweck dieser Sicht ist die Bereitstellung eines standardisierten Teilschemas, das alle BIM-Workflows unterstützt, die auf einem Referenzmodell beruhen, bei dem der Informationsaustausch vorwiegend in einer Richtung stattfindet. D. h., die geforderten Änderungen im Bauwerksmodell nimmt der ursprüngliche Autor auf Basis einer Änderungsanfrage (Change Request) vor, vorzugsweise mit BCF. Es findet kein Zurücksenden eines Modells statt, das durch den Import in eine Anwendung Änderungen erfahren hat. Die Verantwortung für die Korrektheit von Teilmodellen, die Informationsquellen und bestimmtes Konstruktionswissen verbleiben beim jeweiligen Urheber. Als Anwendungsbeispiele nennt buildingSMART:

- Planung der Koordinierung durch die Kombination unterschiedlicher Fachmodelle für eine visuelle Überprüfung
- Kollisionsprüfung (Clash detection)
- Hintergrundreferenz für die Verlinkung von Modellen aus unterschiedlichen Domänen
- Ermittlung von Massen und Mengen aus den verschiedenen IFC-Modellelementen
- Bauablaufplanung durch Verknüpfung des IFC-Modells mit Terminplänen
- Visualisierung eines Bauwerks für ein breiteres Publikum.

Die Referenzsicht umfasst im Wesentlichen die physischen Elemente mit expliziter Geometrie und mit semantischen Beschreibungen, geometrische und topologische Beziehungen, Strukturierung des Bauwerks (Objektkomposition), logische und topologische Strukturen von Systemen, allgemeine Angaben zum Bauwerksmodell wie Maßeinheiten, Koordinatensysteme und GIS-Positionen. Eindeutige Identifikatoren gehören ebenfalls zum Umfang einer Referenzsicht. Um den Implementierungsaufwand und den IT-Ressourcenbedarf zu verringern, sind die geometrischen Repräsentationsmöglichkeiten stark eingeschränkt. Mit Hilfe von mvdXML lässt sich die Referenzsicht einschränken oder erweitern. Der IFC Reference View bildet eine echte Teilmenge des IFC4 Design Transfer Views.

IFC4 Design Transfer View: Der Hauptzweck dieser Sicht liegt in der Bereitstellung von Bauwerksmodellen, in denen ein Editieren gegenseitig abhängiger Elemente unterstützt wird. Als ein typisches Szenario nennt buildingSMART ein Architekturmodell, das an einen Fachingenieur übergeben wird, der ggf. Änderungen an der Geometrie vornimmt. Dabei sind jedoch die wesentlichen Entwurfsparameter einzuhalten, so dass die Parametrisierung beschränkt ist.

Die Verantwortung für die Korrektheit des Modells ist mit der Weitergabe der Design Transfer Views verbunden. Als weitere Anwendungen werden aufgelistet:

- Planung und Durchführung der Koordination durch die Kombination verschiedener IFC-Fachmodelle
- integrierte Referenz durch das Laden von IFC-Fachmodellen in ein integriertes Modell
- Integration von Räumen eines Architekturmodells in ein TGA-Modell und Modifizierung
- Integration tragender Teile eines Architekturmodells in ein statisches Modell und Modifizierung
- Übergabe eines kompletten Fachmodells für eine weitere Bearbeitung oder eine Archivierung
- erweiterte Unterstützung von Anwendungsfällen wie bereits für den IFC4 Reference View identifiziert
- Erkennung und Behebung von Kollisionen, die zwischen verschiedenen Fachmodellen auftreten (Clash detection and resolution)
- Ermittlung von Massen und Mengen aus den verschiedenen IFC-Modellelementen
- Bauablaufplanung durch Verknüpfung des IFC-Modells mit Terminplänen.

Das Hin- und Herreichen (Round Tripping) von modifizierten Modellen ist nicht Gegenstand dieses bSI-Standards. Für eine Abarbeitung von Änderungen wird die Nutzung von BCF Version 2 empfohlen.

IFC4 Design Transfer View erweitert den IFC4 Reference View als Add-on um folgende Aspekte:

- volle geometrische Fähigkeiten einschließlich Sweeps mit Verjüngung und beliebigen Leitkurven, CSG, facettierte B-Rep⁴¹ inklusive NURBS
- Definition parametrisierter Profile
- Definition von Standardfällen und elemented cases für die wichtigsten Bauteiltypen (Elemented-case-Entitäten werden durch eine Komposition von Elementen definiert und erlauben ein bestimmtes Maß an Parametrik, als Beispiel für ein Wandelement siehe Dokumentation⁴²)
- Materialdefinitionen mit Definitionen und Ausrichtung an Referenzgeometrien
- Materialbezogene Darstellungsstile
- Definition und Referenzierung von Bibliotheken
- Vorlagen für die Definition von Property Sets
- Versionskontrolle auf Elementebene.

Die CAD-Stelle Bayern hat die Neuerungen von IFC4 aufgegriffen, um den Datenaustausch mit freiberuflich Tätigen und den nutzenden Verwaltungen in einem ausgeprägt heterogenen Umfeld zu verbessern. Abb. 6 skizziert die die Nutzung von mvdXML Konzeptvorlagen für verschiedene Gebäudeklassen zur Erstellung von maschinell auswertbaren Vorgaben Planungs- bzw. Dokumentationsleistungen und deren Prüfung. CAFM-Connect ist eine Schnittstelle zum Austausch von IFC-Gebäudedaten sowie unter Nutzung von ifcZIP auch von Dokumenten⁴³.

⁴¹ in IFC definiert als: manifold solid brep with the restriction that all faces are planar and bounded polygons

⁴² <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add1/html/schema/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwallementedcase.html>

⁴³ <http://www.cafmring.de/caf-m-connect/>

- physische geografische und bauliche Elemente (Civil Elements).

Ein explizit formuliertes Ziel dieser Sicht ist die dauerhafte Archivierung von Informationsmodellen zur Infrastruktur einschließlich Trassierungsinformationen. Hintergründe und Anleitungen zu diesem Erweiterungsprojekt enthält eine ausführliche Dokumentation [Borr2017].

7.2.5 Fazit zu IFC

Das Format erfüllt die Mehrzahl der für eine Langzeitarchivierung aufgestellten Kriterien (siehe oben). Erhöhte Risiken liegen in der Softwareunterstützung und in der hohen Komplexität des Formats. Diese resultiert aus den fachlichen Anforderungen an ein semantisches Modell im Bauwesen, die zwangsläufig zu einer Vielzahl von Klassen, Attributen, Beziehungen und Restriktionen führen.

Modellmanagement: Nachteilig für eine langfristige Beherrschbarkeit der Datenmodelle und ihrer Instanzen ist die unzureichende Metamodellierung als Teil eines umfassenden System- und Softwareengineerings. Metamodelle tragen dazu bei, das Verständnis von komplexen Modellen, z. B. durch eine Formalisierung und einheitliche Visualisierung der zugrunde liegenden Modellierungskonzepte, zu erhöhen. Eine formalisierte Metamodellierung erlaubt einen erleichterten Vergleich großer heterogener Modelle (z. B. aus dem Bereich GIS oder spezialisierte Modelle aus dem Straßen- und Eisenbahnbau wie OKSTRA oder IDMVU⁴⁶) und unterstützt die maschinelle Transformation von Modellen. Ein weiterer Aspekt betrifft das Management der Modelle (auf Ebene der Modellierungselemente) über einen längeren Zeitraum. Ein praktisches Beispiel ist die Identifizierung und Behandlung obsoleter Modellierungskonzepte oder Modellierungselemente (Entitätstypen bzw. Klassen). Nimmt man zu IFC fachlich benachbarte Modelle hinzu, so ist man schnell mit mehreren Tausend Klassen, bzw. Entitätstypen, Property Sets und weiteren Modellierungsbausteinen konfrontiert.

Die Datenmodellierungssprache von EXPRESS bietet für eine Metamodellierung oder eine standardisierte Anpassung von Modellierungselementen (vgl. z. B. Stereotypen für UML Profile Metaclasses) nicht die nötigen Sprachmittel.

Modelleigenschaften: Kritische Eigenschaften von IFC2x3 sind die Freiheitsgrade bei der Modellierung von Bauwerken und der Aufbau des Datenmodells selbst. Mit IFC4 sind jedoch deutliche Reduzierungen der Risiken für eine digitale Langzeitnutzbarkeit zu erwarten, wozu eine Reihe von methodischen und inhaltlichen Verbesserungen beitragen, die im Folgenden kurz skizziert werden. So können in einer Projektbibliothek alle Objekttypen und ihre Eigenschaftsvorlagen (Property Templates) registriert werden. Weitere methodische Verbesserungen betreffen die Dekomposition von Produkttypen und den Vererbungsbaum für Objektdefinitionen. Dieser Vererbungsbaum enthält die IFC-spezifische Objektklassifikation, die eine wechselseitige Abbildung externer Klassifikationen unterstützt. Eine weitere Vereinheitlichung haben die Komponenten für den Betrieb von Bauwerken (Versorgungssysteme) erfahren. Ein zusätzlicher Vorteil besteht in der Aufnahme neuer und von der Praxis nachgefragter Bauwerkselemente bzw. in der Verbesserung ihrer Modellierung einschließlich Parametrisierung. Diese inhaltliche Anreicherung vermindert die Gefahr individuell modellierter Ersatzlösungen. IFC besitzt nun auch erweiterte Möglichkeiten der geometrischen Modellierung. Dies könnte Transformationen bei der Übernahme von externen Geometrien vermeiden, konkret ist dies der Fall bei tesselierten Repräsentationen wie sie in Formaten außerhalb von IFC üblich sind. Die vorgenommene Verbesserung der Referenzierung externer Bibliotheken und Dokumente ist ebenfalls im Sinne

⁴⁶ <http://www.idmvu.org/was.html>

eines langfristigen Informationserhalts, wobei jedoch Sorge für eine Aufrechterhaltung der Links zu tragen ist.

Trotz Erweiterungen des Modells können die Änderungen von IFC2x3 zu IFC4 insgesamt als vorteilhaft für die digitale Langzeitnutzbarkeit eingestuft werden. Die Änderungen sind vollständig in IFC4 Addendum 2 dokumentiert⁴⁷.

Implementierungsqualität und Zertifizierung: Als erheblichen Mangel sieht die CAD-Stelle Bayern aufgrund praktischer Versuche den aktuellen Stand der Weiterverwendung von IFC-Modellen in fremden Systemen. Hinweise auf Probleme mit den Export- und Importmöglichkeiten von Softwaresystemen finden sich auch in der Literatur. In [Borr2015, Kap. 5] wird die Fehlerhaftigkeit der Export- und Importfunktionen auf die Komplexität des Formats zurückgeführt und als Beispiel für eine Ursache auf die Möglichkeit der verschiedenen Repräsentationsmöglichkeiten von 3D-Geometrien hingewiesen. Als Abhilfe nennen die Autoren den Einsatz von MVDs zur Beschränkung der Modelle auf konkrete Austauscherefordernisse und als Basis für eine Zertifizierung von Softwareprodukten.

Dass bereits bei ganz einfachen Objekten Probleme auftauchen dokumentiert ein Beitrag, der die Nachnutzung von IFC-Modellen für die Indoor-Navigation behandelt. Die Autoren berichten über Abweichungen von IFC-Dateien, die aus Revit und Graphisoft stammen, und die dadurch die Entwicklung zweier Algorithmen erforderten, um das nötige Zielformat zu erzeugen [Muhi2013]. Auch hier setzen die Autoren auf eine Vereinfachung durch die Nutzung von MVDs.

Ein Blog von November 2016, auf den die Seite von bimserver.org verweist, gibt einen Überblick über die Verbesserungen in IFC4 und eine Einschätzung zur Verwendung dieses Formats nach über drei Jahren nach der Veröffentlichung als ISO-Standard⁴⁸. Die Versuche, Exportdateien aus Revit, Archicad und MagiCAD mit dem Solibri Model Viewer v9.7.5 einzulesen, verliefen enttäuschend und führten teilweise zum Absturz der importierenden Software. Was die Unterstützung valider IFC4-Dateien beim Export anbelangt, sieht der Autor den Verdacht erhärtet, dass es sich eher um einen "Kompatibilitätsmodus" handelt als um eine weitergehende Nutzung der neuen und als positiv eingeschätzten Möglichkeiten. Des Weiteren wird der Schwebezustand bei der Zertifizierung erwähnt, der sich aus dem Auslaufen der Prüfung von IFC2x3 und der noch fehlenden Berücksichtigung von IFC4 ergibt. Dadurch wird der Eintritt neuer Marktteilnehmer erschwert, was dem Gedanken von Open BIM widerspricht. Darüber hinaus verursacht nach Meinung des Autors dieses Blogs eine eingeschränkte Rückwärtskompatibilität zu IFC2x3 Unsicherheiten bezüglich der Eignung von IFC als Archivierungsformat. Durch einen klaren und standardisierten Upgrade-Pfad, den die Nutzerschaft oder buildingSMART aufzeigen sollte, ließen sich Zweifel ausräumen.

Zur Zertifizierung ist anzumerken, dass seit März 2017 die IFC4-Zertifizierung anläuft, die in einem ersten Schritt den Test von IFC4 Reference Views mit 45 Testvorlagen (Templates) vorsieht⁴⁹. Die neu entwickelte Testplattform überwindet die Schwierigkeiten bei der Zertifizierung der bisherigen Coordination Views, indem sie die Vorteile einer besseren Strukturierung der standardisierten Sichten und eine formalisierte Beschreibung von MVDs nutzt.

⁴⁷ <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/link/annex-f.htm>

⁴⁸ <http://blog.areo.io/ifc4-is-it-ready-yet>

⁴⁹ <https://www.b-cert.org>

Query Language: Wie beispielsweise im Projekt Mefisto gezeigt, ist nicht nur das Filtern auf Schemaebene nützlich, was im Wesentlichen der Abdeckung sich wiederholender und standardisierbarer Informationsanforderungen dient, sondern auch auf Ebene der Klassen und der Objekte ggf. unter Nutzung von errechneten Größen aus den Werten der Attribute oder von Wissen, das sich durch Schlussfolgerung (Inferenz) herleiten lässt (Kap. 7.1.5, speziell Filterung von Modellen). Abfragesprachen, die vom Nutzungsaufwand her geringer als APIs aber unabhängig von Domänen sind, wären nicht nur für baufachliche Analysen hilfreich, sondern auch für das Management der Modelle. Solch eine Sprache sollte auch erzeugende, löschende oder ändernde Operationen zulassen. Somit ließen sich Modelle nicht nur besser analysieren, sondern auch leichter transformieren, was eine Normalisierung (Vereinheitlichung) und bis zu einem gewissen Grad eine Reparatur oder eine Migration unterstützen könnte. Ein weiteres Anwendungsgebiet wäre die flexible Generierung von Testfällen auf Schema-, Klassen und Objektebene.

Die Entwicklung einer Abfragesprache für IFC-Modelle ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Nicht nur die Konzeptionierung ist eine Herausforderung, insbesondere wenn Schlussfolgerungsmechanismen und manipulierende Operationen zum Sprachumfang gehören sollen, sondern auch eine effiziente und korrekte Implementierung. Einen Eindruck zu den IFC-spezifischen Problemstellungen vermittelt ein technologischer Überblick zum Thema Modellprüfung [Krij2016]. Die dortigen Ausführungen zeigen auch, welche Konsequenzen eine mangelnde formale semantische Beschreibung von Bauwerken für die Sinnhaftigkeit von Abfragen hat. Die Entwicklung der Datenbanksprache Datalog für deduktive Datenbanken gibt Hinweise zum Aufwand für eine Konzeptionierung und Implementierung.

Zusammenfassendes Fazit: IFC ist das einzig ernstzunehmende Format, das eine umfassende und dauerhafte semantische Modellierung von Gebäuden und künftig auch von Infrastrukturbauwerken erlaubt. IFC bietet auch eine Chance, die bisher unbefriedigende Situation bei der Dokumentation von Liegenschaften, zusammen mit anderen Standards aus dem Bereich GIS, besser in den Griff zu bekommen. Als wesentliche Erfolgsfaktoren für den Einsatz von IFC lassen sich identifizieren:

- die präzise und vollständige Beschreibung von Prozessen und Bauwerken einschließlich Umgebung mit möglichst formalen Mitteln zum Zweck der Implementierung in konkreten Anwendungsfällen und der Unterstützung der weiteren Entwicklung und Standardisierung des Formats
- die Unterstützung durch Softwareprodukte für baufachliche Aufgaben, aber auch für das Datenmanagement
- das Aufzeigen einer Entwicklungslinie mit Upgrade-Pfaden.

7.2.6 Weitere Formate

Hier sei auf den in dieser Studie ausführlich besprochenen DPC-Report Preserving CAD verwiesen (Kap. 4.1). Aktualisierungen und ergänzende Hinweise wurden dort eingefügt.

8 Zusammenfassung und Konzept einer IT-Architektur

Die Entwicklung eines Konzepts zur IT und zur Organisation eines lebenszyklusbegleitenden Managements digitaler Bauwerksinformationen unterliegt zahlreichen Einflussfaktoren, die für die weitere Betrachtung in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Randbedingungen für die öffentliche Bauverwaltung
- technische Möglichkeiten der Informationstechnologie.

Anhand dieser Gliederung werden die in den vorangegangenen Kapiteln detailliert dargelegten Sachverhalte und Ergebnisse kompakt zusammengefasst und daraus Konsequenzen gezogen sowie Vorschläge für ein weiteres Vorgehen unterbreitet.

Hinweis: Die Ausführungen können im Sinne eines Handbuchs zur Entwicklung von Konzepten in den jeweiligen Verwaltungen verwendet werden. Ein Studium der vorangegangenen vertieften Ausführungen kann in einem ersten Schritt entfallen.

8.1.1 Vorgaben und Randbedingungen für die öffentliche Bauverwaltung

Die öffentliche Bauverwaltung ist mit komplexen Aufgaben des Planens, Bauens und Betriebs beauftragt und unterliegt zahlreichen formalen Vorgaben (Kap. 6). Diese steigern die vorhandenen Herausforderungen der digitalen Langzeitnutzbarkeit und der spezifischen Schwierigkeiten aus den Anforderungen und Randbedingungen des Bauwesens (Kap. 1.7).

Aufbewahrungs- und Archivierungspflichten:

Zusammenfassung: Diese Pflichten zur Aufbewahrung von Bauunterlagen gehen weit über die an private Unternehmen gestellten Vorgaben hinaus und liegen bis zu mehreren Jahren über der Lebensdauer bzw. Eigentümerschaft von Bauwerken und Liegenschaften. Für ausgewählte Bauwerksakten gilt eine *dauerhafte* Aufbewahrung und Nutzbarkeit entsprechend den Archivgesetzen.

Konsequenz: Diese Pflichten bestehen schon sehr lange, so dass die öffentliche Bauverwaltung mit großen Beständen an Altlasten in analoger und digitaler Form konfrontiert ist. Außerdem werden nicht alle betroffenen Daten in ein einheitliches oder sogar international standardisiertes Format für Bauwerksmodelle passen. Zwischen Archiven und Bauverwaltungen bestehen sowohl gleichgerichtete als auch divergierende Anforderungen und Rahmenbedingungen.

Vorschläge: Digitalisierung aller Bauunterlagen und möglichst deren Strukturierung, um eine maschinelle Auswertung und somit eine zusätzliche Informationsgewinnung, auch mit den Mitteln von Big Data, der künstlichen Intelligenz oder Statistik, zu erleichtern. Abstimmung mit den Archivverwaltungen unter Nutzung des Referenzmodells OAIS. Zusammenfassung, Vereinheitlichung und Aktualisierung der formalen Vorgaben und Überführung der Daten in ein zentrales Repository, Verknüpfung möglichst aller Bauunterlagen mit einem Referenzbauwerksmodell auf Basis von IFC.

Wettbewerbsrecht:

Zusammenfassung: Die öffentliche Hand ist an das Wettbewerbsrecht und insbesondere die Vergabeordnungen für Bau- und IT-Leistungen gebunden. Außerdem sieht sich die Bauverwaltung dadurch mit zahlreichen Marktteilnehmern konfrontiert, die innerhalb ihrer Domäne unterschiedliche (proprietäre) Systeme nutzen. Erschwerend kommt hinzu, dass ein Teil der Auftrag-

nehmer offensichtlich noch nicht auf ein durchgängiges und kooperatives Planen, Bauen und Betreiben im Sinne von BIM mental und materiell vorbereitet ist.

Konsequenz: Eine Implementierung von Closed-BIM-Anwendungen oder das Vorschreiben von Produkten, die eine Standardisierung bestmöglich unterstützen, wie in der Privatwirtschaft, ist wegen formaler Rahmenbedingungen nicht ohne Weiteres möglich.

Vorschlag: Die rechtlichen Möglichkeiten des Vergaberechts sollte die Verwaltung ausschöpfen, um standardisierte Formate und qualitativ hochwertige Daten zu erhalten. Erarbeitung von Lösungen gemeinsam mit den berufsständischen Kammern zur Nutzung von Standards oder einheitlichen Produkten, um eine Normalisierung im Sinne der digitalen Langzeitnutzung zu erreichen. Ein Genossenschaftsmodell, wie es DATEV seit über 50 Jahren erfolgreich praktiziert, könnte angesichts der kleinteiligen Struktur bei den Planern ein Organisationsmodell für die Bereitstellung von IT-Infrastruktur (z. B. Cloud-basiert) sein. Die Frage der Lieferung von As-built-Daten durch freiberuflich Tätige oder durch ausführende Firmen bedarf einer Klärung.

Heterogenität der Bauwerke, Nutzerschaft und Betreiber

Zusammenfassung: Insbesondere der Hochbau zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt der Bauwerke und Nutzerschaft aus. Sie reicht von einfachsten Bauwerken über Spezialbauwerke für die Landesverteidigung, die in ihrer Nutzung und Ausführung wirkliche Unikate darstellen, bis hin zu historischen Bauwerken, die trotz ihres Alters einen hohen Grad an technischer Ausrüstung aufweisen können. Ein Teil der Bauwerke besitzt eine große räumliche, oftmals linienförmige Ausdehnung. Eine Spezialisierung oder zumindest eine Begrenzung des Leistungsspektrums, wie in der privaten Wirtschaft, ist den öffentlichen Bauherren nur bedingt möglich.

Konsequenz: Spezialisierte Software für unterschiedliche Bauwerkstypen, unterschiedliche Anforderung an die FM-Daten und -Systeme, unterschiedliche Zuständigkeiten für die Aktualisierung von Gebäudedaten, uneinheitliche Bauwerks- und Liegenschaftsmodelle (teilweise getrieben von Softwareprodukten und nicht von einer neutralen konzeptionellen Modellierung).

Vorschlag: Nutzung standardisierter Austauschformate, längerfristig Anpassung der Gebäudemodellierung bezüglich Struktur, Bezeichnung und Identifikation; Modellierung der Aktualisierungsprozesse in der Nutzungsphase und ggf. Präzisierung der formalen Grundlagen wie z. B. die Kommunikationsprozesse in der RBBau.

Lebensdauern der Bauwerke

Zusammenfassung: Die öffentliche Hand ist Eigentümer von Bauwerken, die die Lebensdauern von Bauwerken in privater Hand häufig überschreiten, insbesondere im Bereich Infrastruktur sowie denkmalgeschützter und historisch wertvoller Bausubstanz.

Konsequenz: Die Bauwerkslebenszyklen betragen ein Mehrfaches derer von IT-Systemen (Generationenwechsel ca. alle zehn Jahre). Der schnelle Wandel in der IT ist ein generelles Problem der öffentlichen Bauverwaltung und nicht nur auf Einzelfälle beschränkt.

Vorschlag: Bestimmung adäquater Erhaltungsmethoden und Implementierung von Prozessen im Sinne des OAIS-Referenzmodells. Digital Curation beginnt bereits mit dem Entstehen von Daten.

Dauer der Planungen

Zusammenfassung: Die Planungszeiten erhöhen sich in der Regel gegenüber privaten Vorhaben deutlich, u. a. bedingt durch eine langwierige interne Planung (z. B. Koordinierung Bedarfsträger und Bedarfsdecker), durch eine direkte oder indirekte Beteiligung der Öffentlichkeit oder durch die Vergabeverfahren einschließlich der damit verbundenen rechtlichen Auseinandersetzungen.

Konsequenz: Wechsel von Fachpersonal und der damit einhergehende Verlust an Information, Gefahr von Wechseln der IT-Generation oder der Softwareversionen.

Vorschlag: keine personengebundene Datenablage, Vermeidung von Systemwechseln und Versionswechseln während der Projektphasen (Planung und Ausführung), sofern der Einsatz vorwärts- bzw. rückwärtskompatibler Software nicht gewährleistet ist oder keine gravierenden Gründe, wie IT-Sicherheit oder Berücksichtigung neuer Baunormen oder Vorschriften, entgegenstehen.

Vielzahl der Bauwerke

Der zu verwaltende Bestand ist nicht nur durch eine große Heterogenität geprägt, sondern auch von einer großen Anzahl an Liegenschaften und Einzelbauwerken.

Konsequenz: Dieser Parameter hat Einfluss auf die Wahl der grundsätzlichen Erhaltungsmethoden, der Formate und der Bestimmung der aufzubewahrenden Daten.

Vorschlag: Der Datenumfang erschwert die Migration als grundsätzliche Erhaltungsmethode erheblich, da im Gegensatz zur Emulation, jedes digitale Objekt bearbeitet und ggf. geprüft werden muss und die alten Versionen ggf. für einen bestimmten Zeitraum aufzubewahren sind. Der Umfang der Daten ist daher ein weiteres Argument, um auf den Einsatz nachhaltiger Formate zu drängen. Zur Reduzierung des Speicherplatzes sind aus Sicht der Langzeitspeicherung übliche Kompressionsverfahren als eher unbedenklich einzustufen. Falls keine gesetzlichen Gründe dagegensprechen, sollte bei der Auswahl von Art und Anzahl der aufzubewahrenden digitalen Daten und Dokumente ein eher großzügiger Maßstab angelegt werden.

Personelle Unterbesetzung

Zusammenfassung: Angesichts der oben beschriebenen Randbedingungen und der Potenziale einer digitalen Langzeitnutzbarkeit sind nach Auffassung des Studententeams der UniBwM die Bauverwaltungen personell nicht ausreichend ausgestattet.

Konsequenz: Hierin besteht ein erhöhtes Risiko für die Datenqualität (und schließlich für die Bauwerks- und Prozessqualität) sowie für die Einführung von BIM in der Bauverwaltung.

Vorschlag: Nutzung externer Expertise und Setzung von Prioritäten zur Verbesserung des Datenmanagements in folgenden Schritten: Konzeptionierung und Implementierung einheitlicher, rudimentärer OASIS-Informationspakete, welche die elementarsten Zusatzinformationen in Form von Metadaten enthalten. Konzeptionierung von Mindeststandards für den Informationsaustausch und, soweit möglich, deren automatische Überprüfung. Nutzung von Kollaborationsplattformen zum Datenaustausch mit Externen und zur internen Bearbeitung auf Basis eines elementaren Prozess- und Workflow-Modells. Mittelfristig sollte genügend Expertise aufgebaut werden, um die verwaltungsspezifischen Prozesse und die zugehörigen Datenmodelle spezifizieren zu können.

Gewichtige Gründe sprechen für eine Stärkung der Bauverwaltung:

- die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung einer funktionierenden baulichen Infrastruktur
- der zunehmende Grad an Technisierung von Bauwerken (künftig auch Internet der Dinge)
- die hohe Außenwirkung des öffentlichen Bauens (Reputation des staatlichen Handelns)
- der hohe potenzielle Beitrag des Bauens zum nachhaltigen Wirtschaften (Reduzierung des Ressourcenverbrauchs)
- eine schnellere Umsetzung von BIM und damit Lieferung eines Beitrags zur Digitalisierung der deutschen Wirtschaft.

8.1.2 Methodische und technische Möglichkeiten der IT

Die Informationstechnologie bietet zwar zahlreiche methodische und technologische Möglichkeiten, um das Informationsmanagement über den Lebenszyklus von Bauwerken zu verbessern, dennoch sind sowohl Mängel und Probleme in der praktischen Umsetzung als auch in den theoretischen Grundlagen zu erkennen. Das kollaborative Datenmanagement und die Wahl von Erhaltungsmethoden und von Austausch- und Archivformaten bleiben eine Herausforderung.

OAIS-Referenzmodell

Zusammenfassung: Als standardisierte konzeptionelle Grundlage für eine digitale Langzeitnutzbarkeit steht das breit akzeptierte und ISO-standardisierte OAIS-Referenzmodell mit seinem Funktions- und Informationsmodell zur Verfügung (Kap. 3). Weiter zu OAIS ergänzende ISO- bzw. DIN-Standards sind publiziert (s. Übersicht in [UniBwM2014]). Im Gegensatz zu Gedächtnisorganisationen und anderen technischen Domänen hält OAIS im Bauwesen erst langsam Einzug.

Vorschlag: Konsequente Nutzung dieses Referenzmodells für die Langzeitnutzbarkeit (Langzeitspeicherung) digitaler Informationen in der Bauverwaltung.

Prozess- und Lebenszyklusmodelle

Zusammenfassung: Solche Modelle sind unabdingbare Voraussetzung um das Datenmanagement im Bauwesen im Sinne einer Kollaboration zu steuern. Sie sind bisher noch unvollständig und methodisch uneinheitlich. Positive Beispiele liefern Projekte im Kontext von BIM (Projekt BIMiD mit BIM-Referenz-Bau-Prozess⁵⁰, BBSR-Projekt der Bergischen Universität Wuppertal⁵¹) aber auch öffentliche Bauverwaltungen (Brandenburgischer Landesbetrieb für Liegenschaften und Bauen⁵², Bundesanstalt für Wasserbau⁵³). Im Gegensatz zu anderen technischen Domänen befinden sich die bauspezifischen Standards noch in einem rudimentären Zustand.

Vorschlag: Abstimmung, Zusammenführung und Ergänzung der Modelle auf einer formalen Basis. Nutzung vorhandener Grundlagenstandards und Modelle aus anderen technischen Disziplinen, die sich bereits intensiver mit Lebenszyklusmodellen und Langzeitnutzbarkeit auseinandergesetzt haben (Kap. 4.1.3, Kap 4.1.4 LOTAR, VDA).

⁵⁰ <http://www.bimid.de/aktuelles/bim-referenz-bau-prozess?daoref=6757>

⁵¹ Entwicklung einer idealtypischen Soll-Prozesskette zur Anwendung der BIM-Methode im Lebenszyklus von Bauwerken - BIM basiertes Bauen im Prozess
<https://www.forschungsinitiative.de/antragsforschung/projekte/1008187-1521>

⁵² Prozessmodell bereitgestellt im Rahmen der Bund-Länder Expertenrunde zum Datenmanagement und zum langfristigen Umgang mit digitalen Informationen, UniBwM, Neubiberg, 12.04.2016

⁵³ Jiuru Huang, Jörg Bödefeld; Datenfluss im Verkehrswasserbau - BIM-Ansätze für die WSV, Vortrag im Rahmen des Kongresses Infrastruktur Digital Planen und Bauen 4.0, Gießen, 14. 09.2017

Produktmodelle

Zusammenfassung: Sie sollten die Informationsbedürfnisse aller Beteiligten über den gesamten Lebenszyklus erfüllen und stehen damit in enger Beziehung zu Prozess- und Lebenszyklusmodellen. Eine Klassifizierung und Generalisierung der zahlreichen Einzelaussagen zu BIM-Projekten haben bisher noch nicht stattgefunden.

Vorschlag: Abstimmung, Zusammenführung und Ergänzung der Modelle auf einer möglichst formalen Basis.

Die Bundeswehr (Bw) zählt zu den Vorreitern einer formalisierten semantischen Bauwerksmodellierung. Die Vorteile liegen in einer Präzisierung und Überprüfbarkeit von Normen, in einer Systematisierung der Klassifizierung von Bauwerken und einer Unterstützung des System- und Softwareengineerings. Abb. 9 zeigt ein formales Modell eines Wirtschaftsgebäudes der Bw aus dem Jahr 1996 entsprechend der damals gültigen Raum- und Flächennorm in einer UML-Klassennotation.

Datenmanagement

Zusammenfassung: Für ein Datenmanagement stehen verschiedene technische Systeme bereit, die wie dargestellt alle ihre Vor- und Nachteile besitzen. Obwohl sich die Produkte in ihren Funktionalitäten teilweise überlagern, wurden folgende Klassen identifiziert und bewertet:

- Gemeinsame Dateiablagen auf Basis eines Dateisystems (Kap. 7.1.1)
- Dokumentenmanagementsysteme (DMS) (Kap. 7.1.2)
- Managementsysteme für Produktdaten (PDM) und Produktlebenszyklen (PLM) (Kap. 7.1.3)
- Modellorientierung, Produktmodellserver und Kollaborationsplattformen (Kap. 7.1.4)
- Multimodelle (MM), Multimodellcontainer (MMC) und MM-Plattformen (Kap. 7.1.5).

Vorschlag: Aufgrund der zahlreichen Nachteile sollte eine gemeinsame Datenablage auf Basis eines Dateisystems für eine Langzeitnutzbarkeit ungeeignet. Ebenso scheidet nach heutigem Kenntnisstand ein hochgradig verteilter Ansatz auf Basis einer Service-Orientierten Architektur, wie in der Mefisto-Plattform, als generelle Lösung aus.

Ein wesentliches Kriterium für eine Eignung der anderen Lösungen ist die Abbildbarkeit, langfristige Verwaltbarkeit und die Exportierbarkeit von OAIS-Informationspaketen (Kap. 3.2, speziell Informationspakete für die Auslieferung). Als technische Basis eignen sich hierfür relationale Datenbanken oder Systeme mit gleichwertiger Fähigkeit bzw. Systeme, die darauf aufsetzen. Zahlreiche Produkte unterstützen als Erweiterung des relationalen Modells die Speicherung und native Bearbeitung von XML-Objekten, was eine einheitliche Verwaltung gewährleistet. Ob man die eigentlichen digitalen Objekte, z. B. IFC- oder PDF-Dateien, innerhalb eines Systems als BLOB (Binary Large Object), als abstrakten Datentyp oder extern als Einzeldateien speichert, kann nicht generell entschieden werden. Einerseits kann eine interne Speicherung als Datenbanktyp eine Verwaltung weiter erleichtern und von den Eigenschaften konkreter Dateisysteme abstrahieren (z. B. Benennungsmöglichkeiten, Rechtevergabe, Verlinkung), andererseits herrscht in der IT das Dateiparadigma vor, so dass für eine Nutzung in vielen Fällen erst Dateien generiert werden müssten, was die Abhängigkeit von einem konkreten Datenbanksystem bedingt.

Eine konsolidierte, auf Standards basierende und möglichst einfache IT-Lösung ist für eine Langzeitspeicherung vorzuziehen. Aus diesem Grund dürften PDM- und PLM-Systeme wegen

ihrer Komplexität und ihrer Nischenrolle im Bauwesen eher nicht in Frage kommen. Modellserver eignen sich ebenfalls nur sehr eingeschränkt, was an ihrer hohen Spezialisierung, ihrer vorwiegenden Ausrichtung an Projekten und auch an fehlenden Benchmarks (vgl. Vielzahl der Bauwerke und Liegenschaften) liegt.

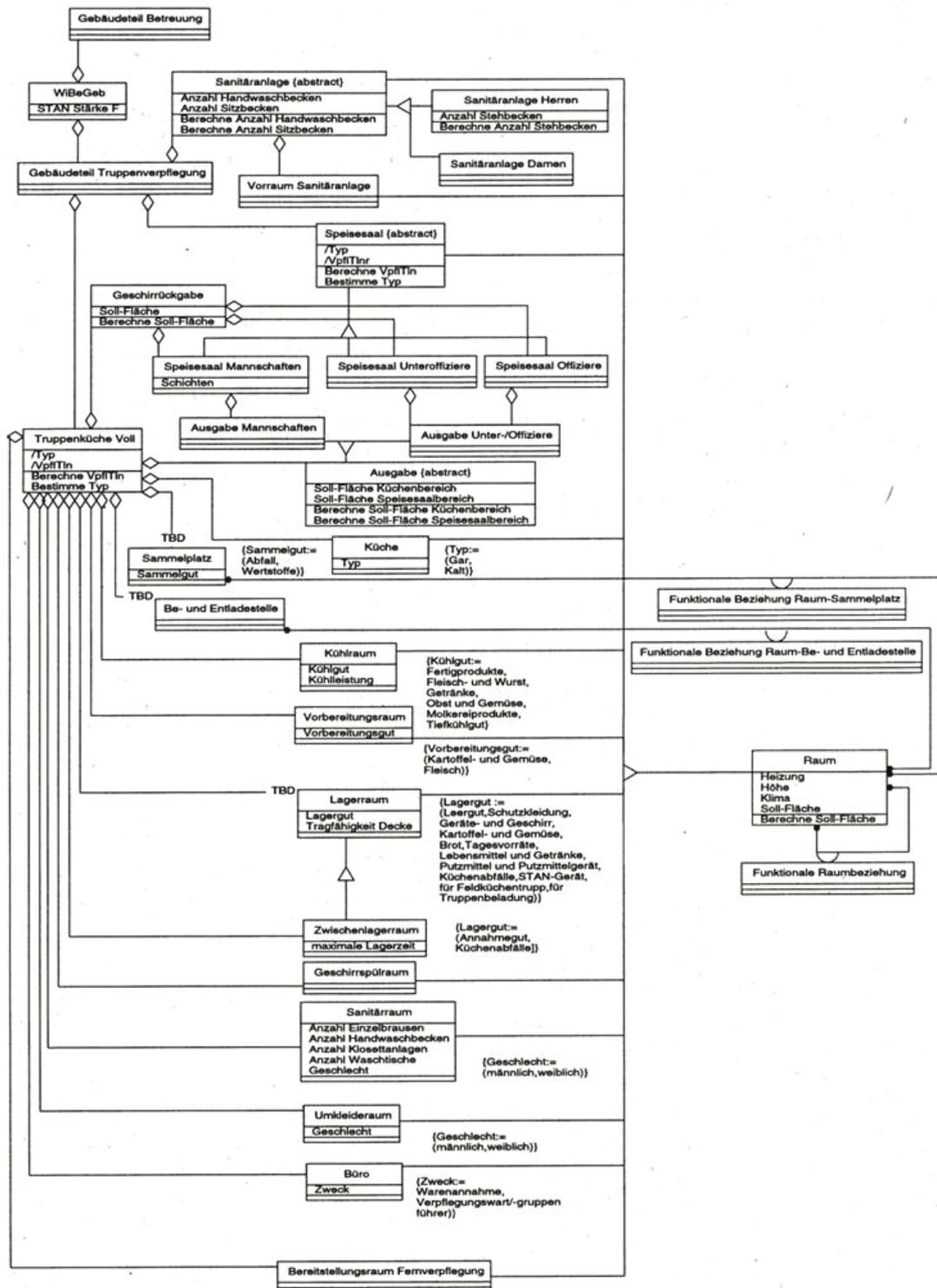


Abb. 9: Semantisches Modell eines Wirtschaftsgebäudes der Bw aus dem Jahr 1996 [UniBwM]

Neben den konzeptionellen Anforderungen muss ein Datenmanagement aufgrund der zahlreichen Projekte, Bauwerke und Liegenschaften für die Speicherung und Verwaltung großer Datenmengen geeignet sein.

Nach jetzigem Stand der Technik ist eine Einführung von zwei Komponenten für eine IT-Architektur zweckmäßig, wobei eine Komponente als Langzeitrepository dient und den genannten Anforderungen entspricht. Die hauptsächliche Aufgabe dieses Systems ist neben der physischen Speicherung (s. Archivablage in Abb. 3) die Erzeugung von Archivierungs- und Auslieferungspaketen (s. AIP und SIP in Abb. 3) sowie die technische Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen. Die externen Schnittstellen sollten auf wenige Nutzergruppen beschränkt sein wie staatliche Archive. Wenn möglich, sollte diese Komponente ohne digitale Signaturen auskommen.

Die zweite Komponente unterstützt die berufliche Kollaboration mit amtsinternen und amts-externen Partnern. Zur Verbesserung der Kollaboration und der Konsolidierung von Bauwerksdaten sollte eine solche Plattform ein modellorientiertes ggf. multimodellorientiertes Vorgehen unterstützen. Durch die Übernahme dieser Aufgaben kann das Langzeitrepository einfacher gestaltet werden. Außerdem entfällt die laufende Anpassung an die Entwicklungen neuer Kollaborationsmethoden. Zur weiteren Vereinfachung sollten feingranulare Verlinkungen, wie im Multimodellansatz, in einem eigenständigen und standardisierten Format gekapselt sein (Multimodellcontainer). Für den langfristigen Umgang mit bauwerks- bzw. liegenschaftsbezogenen Daten, die einer laufenden Aktualisierung unterliegen, ist ein Konzept zu entwickeln. In einem ersten Ansatz sollten sie in den jeweils spezialisierten dezentralen Systemen gehalten werden. Für ein langfristiges Bauwerksmonitoring mit übergreifender Auswertung zur Wissensgewinnung ist eine Aufnahme in ein Langzeitrepository erstrebenswert.

Erhaltungsmethoden und Formatfrage

Zusammenfassung: Als grundsätzliche Lösungen stehen folgende Methoden zur Verfügung:

- Migration (Kap. 3.3.1, speziell *Transformation* im OAIS-Referenzmodell)
- Virtualisierung und als Spezialfall die Emulation (Kap. 3.3.3)
- Standardisierte Formate (Kap. 4.1.5 Normalisierung)
- Museumsansatz.

Vorschlag: Aufgrund der großen Datenmengen, der komplexen Anwendungen und des Aufwands bzw. der Risiken der Erhaltungsmethoden Migration (Kap. 3.3.2 Diskussion, Kap. 4.1.5 Laufende Migration, Kap. 5.5.2 Maßnahmen der Bauverwaltung), Emulation (Kap. 3.3.4 Diskussion) und Museum ist eindeutig standardisierten und nachhaltigen Formaten der Vorzug zu geben. Bei der Emulation treten neben den technischen Risiken auch rechtliche Probleme hinzu, die die Verfügbarkeit und Bereitstellung der Software in einem breiter zugänglichen Emulationsservice betreffen. Für Bauwerksmodelle wäre vom Grundsatz her IFC ein geeignetes Modell. Wegen der bisherigen IFC-Qualitätsmängel (Kap. 7.2.5) sollten die proprietären Formate jedoch aufbewahrt werden. Falls die Rückwärtskompatibilität nicht gegeben ist oder eine Migration bzw. Emulation scheitert, könnte im Notfall die *datArena* an der UniBwM weiterhelfen, sofern die Bauverwaltung im Besitz der Anwendungssoftware ist. Die *datArena* verfügt praktisch über alle Hardwareplattformen einschließlich Lesegeräten und Betriebssystemen in einer lauffähigen Form. Als ergänzende Erhaltungsmaßnahme sollten die Bauwerksmodelle und die weiteren Dokumente in einem vereinfachten und nachhaltigen digitalen Format gespeichert werden, wobei sich PDF/A, PDF 3D bzw. PDF/E als Kandidaten anbieten (zur Aufbewahrung verschiedener Formate vgl. auch die Argumentation im Projekt FACADE in Kap. 4.2).

Reife der Softwareprodukte

Zusammenfassung: Im Bauwesen stehen leistungsfähige Werkzeuge für die fachspezifische Beschreibung und Analyse von Bauwerken bereit und werden ständig weiterentwickelt. Für Analysezwecke kommen laufend neue Anwendungsbereiche hinzu wie Brandschadensfälle, Indoor-Navigation, fortgeschrittener Schallschutz, wissensbasierte Projektabwicklung oder Mustererkennung in gescannten Daten. Eine weitere Produktkategorie bilden die Kollaborationswerkzeuge, die die Erstellung vollständiger Bauwerks- und Projektmodelle unterstützen. Im Kontext von BIM ist hier eine lebhafte Entwicklung zu beobachten. Ihre Effektivität und Effizienz hängt jedoch stark von der Qualität der Formate der importierten Modelle ab. Der größte Mangel der Softwareprodukte bezüglich Kollaboration und Langzeitnutzbarkeit zeigt sich – neben den formatinhärenten Problemen – in der mangelhaften Unterstützung von IFC. Der unbefriedigende Stand der Zertifizierung und die Probleme in der Praxis beim Datenaustausch sind ein deutliches Indiz. Das Potenzial von IFC4 und seiner Co-Standards nutzen die Produkte bisher erst allmählich aus. Die Implementierung von IFC4 in kleinen Schritten mit zahlreichen Zwischenversionen ist aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit unbefriedigend.

Vorschlag: Trotz aller noch bestehenden Mängel, sollte die Nutzung von IFC4 und noch zu erstellender Sichten (Views) vorbereitet und forciert werden und als Kern (Referenz) für alle Bauwerksinformationen und, sobald es der Fortschritt im jeweiligen Bauprojekt zulässt, auch für Projektinformationen dienen.

8.1.3 Konzept für eine IT-Architektur zur digitalen Langzeitnutzbarkeit

Der folgende Abschnitt beschreibt zusammenfassend die wesentlichen Komponenten einer IT-Architektur mit ihren Inhalten, Rollen und Phasen.

Systeme und Rollen

Abb. 10 gibt einen Überblick der wichtigsten Akteure und ihrer IT-Systeme. Entsprechend den vorangegangenen Ausführungen findet innerhalb der Bauverwaltung eine Trennung statt zwischen Kollaborationsplattform und Langzeitrepository (LZN-Repository), welches auf einem für die Langzeitspeicherung geeigneten DMS (Dokumentenmanagementsystem), ECMS (Enterprise Content Management System) oder ähnlichem System beruhen kann, und ggf. für weitere Zwecke innerhalb der Verwaltung dient. Die Nutzer bzw. Betreiber der Gebäude nutzen ihre spezifischen FM-Systeme, wobei die FM-Rolle innerhalb der öffentlichen Bauverwaltung oder bei einer anderen Verwaltung liegen kann. Für vollständige und konsistente Planungsunterlagen ist letztlich die Bauverwaltung zuständig und nutzt daher eine Kollaborationsplattform, um mit allen Baubeteiligten und den Nutzern zu kommunizieren, wobei vorwiegend eine dateibasierte Kommunikation angenommen wird. Teile der Kollaborationsaufgaben können auch freiberuflich Tätige (FBT) wahrnehmen, die dann ggf. auch die einzelnen Fachmodelle zusammenführen. Idealerweise unterstützen die jeweiligen Kollaborationsplattformen modellbasierte Funktionalitäten, insbesondere zur Zusammenführung und Abgleichung von Modellen, wie in der Grafik durch die Nennung von IFC-Referenzmodell und IFC-Koordinationsmodell angedeutet. Eine eigenständige Rolle nehmen die Archive ein, die der Umsetzung der Archivgesetze verpflichtet sind. Aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen werden sich die Archivinformationspakete (AIP) unterscheiden, insbesondere entfällt das Fortschreiben der AIP bezüglich ihrer intellektuellen Inhalte. Die Nennung von Daten und Dokumenten in der Grafik weist darauf hin, dass die Systeme auch in der Lage sein sollten, Informationen die sich nicht durch ein IFC-Modell repräsentieren lassen, integriert zu verwalten und auf geeigneter Aggregationsstufe mit dem Bauwerks- bzw. Projektmodell zu verbinden. Aus Gründen der Zuverlässigkeit (Rückfall-

lösung) und praktischen Handhabung (breite Nutzung) sollte zusätzlich zum Modellformat ein stabiles Archivformat abgeleitet und gespeichert werden.

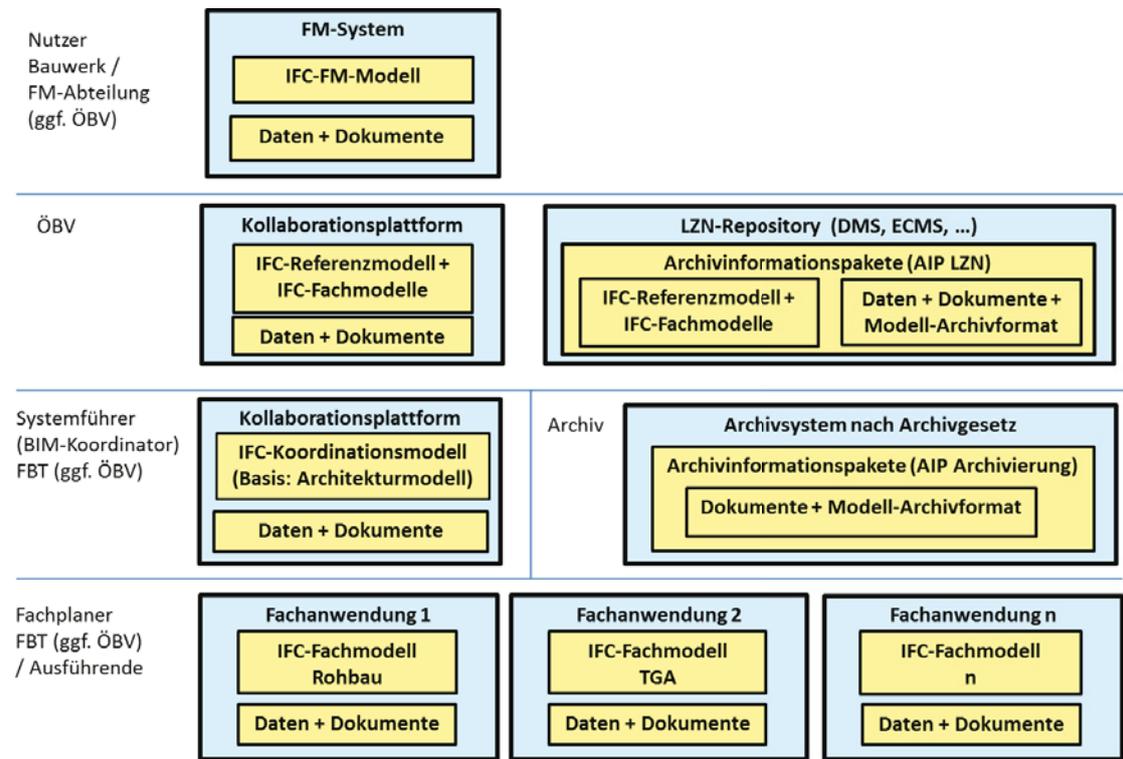


Abb. 10: Komponenten, Inhalte und Zuordnung zu Rollen einer IT-Architektur zur LZN

Komponenten, Kommunikationsbeziehungen und Phasen

Abb. 11 gibt einen Überblick über die wesentlichen Kommunikationsbeziehungen zwischen den oben vorgestellten Komponenten sowie eine grobe Zuordnung zu einzelnen Phasen. In der Projektphase kommen vorwiegend die Fachanwendungen und die Kollaborationsplattformen zum Einsatz. Gegen Ende des Projekts, vorwiegend mit der Übergabe, werden mit Hilfe der Kollaborationsplattform die FM-Systeme bedient, die im Lebenszyklus eines Bauwerks primär Anwendung finden. Die Synchronisation mit den FM-Daten oder bei nutzerseitigen baulichen Änderungen läuft ebenfalls über eine Kollaborationsplattform ab, wobei bestimmte (einfache) Anfragen auch direkt durchgereicht werden können, z. B. unter Nutzung eines Web-Services. Die eher passiven Daten, insbesondere die Bauwerks- und Projektdaten liegen während der Phase der Langzeitspeicherung, die sich nach einem bestimmten Zeitraum der Projektphase anschließt, primär im LZN-Repository (Stichwort Primärdatennachweis). Nach der Langzeitspeicherung schließt sich, ggf. überschneidend, die Archivierung oder auch die Vorarchivierung an. Der Übergang kann durch eine spezielle Schnittstelle direkt erfolgen oder über eine Kollaborationsplattform, die z. B. in Bayern auf die Fachdatenbank Hochbau Zugriff hat, in der die Archivierungswürdigkeit für alle Bauwerke verzeichnet ist. In diesem Fall übernimmt die Kollaborationsplattform zusätzlich die Funktion eines Portals.

Besonderes Potenzial steckt in einem LZN-Repository, wenn die Daten der Bauwerke und Projekte systematisch, bauwerks- und ämterübergreifend und einen längeren Zeitraum abdeckend für Spezialanwendungen auswertbar sind. Somit könnten solche Anwendungen verlässliche Statistiken, Kennwerte oder Aussagen über technische und finanzielle Risiken oder das künftige Verhalten von Bauwerken herleiten.

Die Phase Digital Curation umfasst alle dargestellten Phasen und ist Bestandteil eines Informationsmanagements über den gesamten Informationslebenszyklus, insbesondere setzt diese Phase bereits mit der Projektierung von Bauwerken ein. Daher sollte eine enge Abstimmung mit dem BIM-Management stattfinden. In der Projektphase ist in erster Linie das BIM-Management zuständig. Für die LZN-Phase sollte eine dedizierte Organisationseinheit in der öffentlichen Bauverwaltung installiert sein, die dann für das langfristige Datenmanagement zuständig ist. Wie für das BIM-Management vorgeschlagen, ist eine Einteilung in strategische und operative Aufgaben zweckmäßig. Für eine Strukturierung der Verantwortlichkeiten und Aufgaben kann das OAI-Referenzmodell herangezogen werden. Bei einer projektbezogenen Nachnutzung ist das BIM-Management wieder eng einzubeziehen. Den Übergang in die Phase der Archivierung ggf. Vorarchivierung bestimmen die jeweiligen Archivgesetze und zugehörige Regelungen.

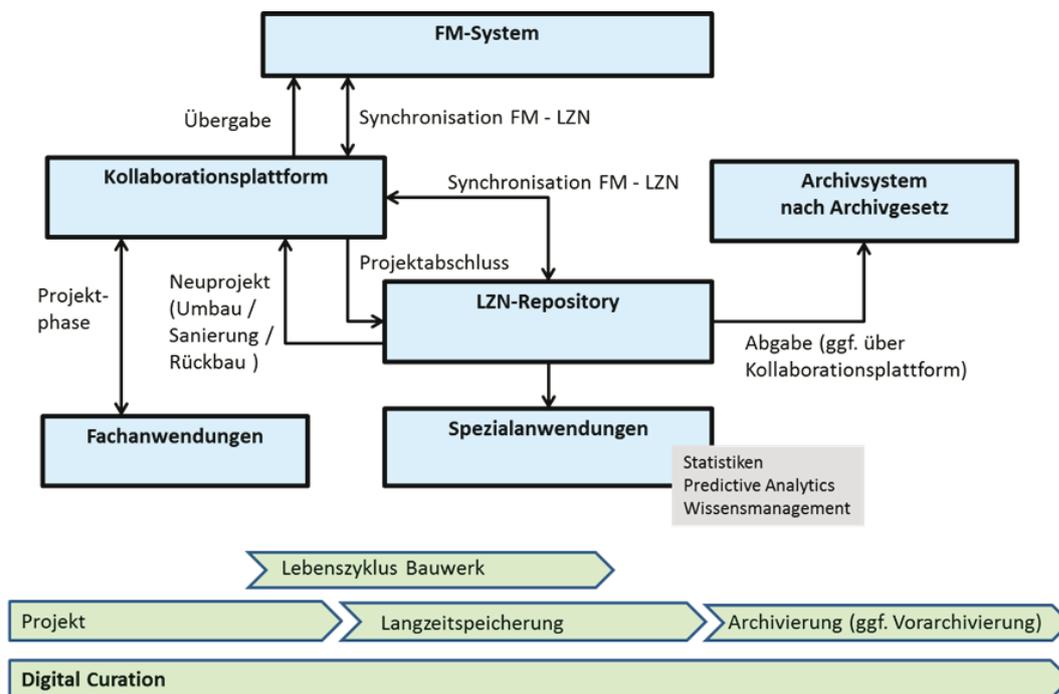


Abb. 11: Komponenten, Kommunikationsbeziehungen und Phasen einer IT-Architektur zur LZN

Digital Curation in der öffentlichen Bauverwaltung

Strategische Ebene: Eine Konkretisierung der in OAI vorgezeichneten generischen Vorgaben könnte auf strategischer Ebene wie folgt aussehen:

- Festlegung und Beschreibung der Ziele und Aufgaben der ÖBV bezüglich eines umfassenden Informationsmanagements sowie Formulierung von Kernprozessen
- Klärung der Stellung gegenüber Nutzern und nutzenden Verwaltungen
- Klärung der Stellung gegenüber anderen Fachverwaltungen (z. B. Vermessung, Geoinformation)
- Klärung der Stellung gegenüber Freiberuflich Tätigen und Ausführenden
- Vertretung der öffentlichen Belange in Standardisierungsorganisationen
- Klärung von IT-Rechtsfragen z. B. Vergabe von IT-Leistungen (Auslegung VGV/VOL), langfristig angelegte Auslagerungen von Leistungen, Gewährleistung der Datensicherheit und Datenhoheit, Realisierbarkeit von Lösungen zum Software-Escrow
- Entwurf einer amtsweiten IT-Architektur und Festlegung von Methoden und Standards zur Modellierung

- Kooperation mit öffentlichen Archiven
- IT- und BIM-Qualifikation der Beschäftigten in der ÖBV.

Neben der strategischen Rolle des Digital Curation sind auch die zwei wesentlichen funktionalen Einheiten *Administration* und *Erhaltungsplanung* des OAIS-Referenzmodells abzudecken (Kap. 3.3.1 und Abb. 3).

Administration: Sie stellt die Funktionen und Dienste für den gesamten Betrieb des Archivs, hier das LZN-Repository, bereit. Hierzu zählen:

- Vereinbarung zur Aufnahme (Submission) von Informationen in das Archivsystem: Sie regelt den zeitlichen Ablauf der Aufnahme, den Ressourcenbedarf und die konkrete Ausgestaltung von Vorlagen (Templates) für Informationspakete. Der Lieferant von *Informationspakete zur Einlieferung* (s. SIP in Abb. 3) ist hier jeweils die Bauverwaltung, die die Kollaborationsplattform betreibt.
- Systemkonfiguration: Sie umfasst Maßnahmen, die die Funktionsfähigkeit und Integrität des kompletten Systems über den gesamten Lebenszyklus sicherstellen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass interne und externe Referenzen funktionsfähig bleiben.
- Änderungen von Inhalten im Archivsystem: Diese erfolgen über einen definierten Prozess der Auslieferung und Wiedereinlieferung (Submission) mit entsprechender Qualitätskontrolle.
- Aufstellung von Standards und Richtlinien zur Umsetzung der Vorgaben der strategischen Ebene: Diese Aufgabe betrifft die Formate, die Dokumentation, den Einlieferungsprozess, die Sicherheit, das Speichermanagement sowie Notfallmaßnahmen.
- Die Prüfung (Audit) der Einlieferung: Diese Kontrolle umfasst die Übereinstimmung der Informationspakete mit den getroffenen Vereinbarungen zur Aufnahme. Insbesondere muss überprüft werden, ob die *Repräsentationsinformationen* und die *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI) ausreichen, um eine dauerhafte Verständlichkeit der Inhalte für die definierte Nutzerschaft unabhängig von den Informationsproduzenten sicherzustellen.

Erhaltungsplanung (Preservation Planning): Sie ist speziell für Langzeitaspekte zuständig und arbeitet sowohl eng mit der *Administration* als auch mit den Produzenten und Konsumenten von Informationen, hier vor allem den Bauverwaltungen, zusammen. Die Aufgaben umfassen:

- Monitoring der Nutzerschaft: Diese Beobachtung bezieht sich auf Änderungen bei den Anforderungen an einen Erhaltungsdienst und bei den Produkttechnologien wie Formate oder bevorzugte Softwareprodukte. Die Beobachtungsergebnisse fließen in die Entwicklung von Erhaltungsstrategien und den Entwurf von Informationspaketen ein.
- Monitoring der Informationstechnologie: In erster Linie soll hiermit frühzeitig die Gefahr einer technischen Überalterung (Obsoleszenz) erkannt werden. Ein systematisches Prototyping kann der Bewertung neuer und verdrängender Technologien dienen. Unter besonderer Beobachtung sollte die Standardisierung und Implementierung von IFC stehen.
- Entwicklung von Erhaltungsstrategien und Standards: Hierin liegt die Verantwortlichkeit für die Entwicklung und Empfehlung von Strategien sowie die Bewertung von Risiken. Diese Funktion soll auch erkennen, ob Migrationsmaßnahmen erforderlich werden (zu den vier verschiedenen Stufen einer Migration im Sinne von OAIS s. Kap. 3.3.1).
- Entwicklung von Informationspaketen und Migrationsplänen: Diese Aufgabe umfasst den Entwurf von Informationspaketen und die Bereitstellung von Vorlagen (Templates) sowie Hinweise zu deren Nutzung. Eine detaillierte Planung von Migrationsmaßnahmen zählt ebenfalls zu dieser Funktion.

Die aufgezählten Teilfunktionen brauchen nicht von jeder einzelnen (Länder-)Verwaltung wahrgenommen werden. So eignet sich z. B. das Monitoring der Informationstechnologie ein-

schließlich Prototyping gut für eine kollaborative Wahrnehmung ggf. unter Einschaltung neutraler externer Dienstleister.

Archivierungspakete (AIP)

Abb. 12 zeigt den Aufbau eines Archivinformationspakets (AIP) entsprechend dem OAIS-Referenzmodell (dick umrandet) (Kap. 3.2 Informationspakete) und eine mögliche Belegung der einzelnen Komponenten mit Metadaten (nicht umrandet). Bei dieser Darstellung handelt es sich um ein konzeptionelles Datenmodell, das somit keine konkrete Implementierung vorgibt, z. B. als Ordnerstruktur in einem Dateisystem oder als ZIP-Datei. Wie dargelegt ist die Realisierung mittels eines relationalen Datenbanksystems auch aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit äußerst vorteilhaft. Die Informationspakete kann man sich als virtuelle Objekte vorstellen. So kann es zur Beschreibung von *Repräsentationsinformationen*, die vielfach vorkommen, wie die Beschreibung von Dateiformaten oder Konzeptvorlagen (mvdXML Concept Templates), auf spezielle Register oder Datenbanken, z. B. PRONOM, verweisen. Dieses Vorgehen vermeidet unnötige Redundanzen und erlaubt eine leichtere Datenpflege. Dem Digital Curation obliegt die Aufgabe, dafür zu sorgen, dass solche Verweise dauerhaft funktionieren und ggf. rechtzeitig Ersatz geschaffen wird.

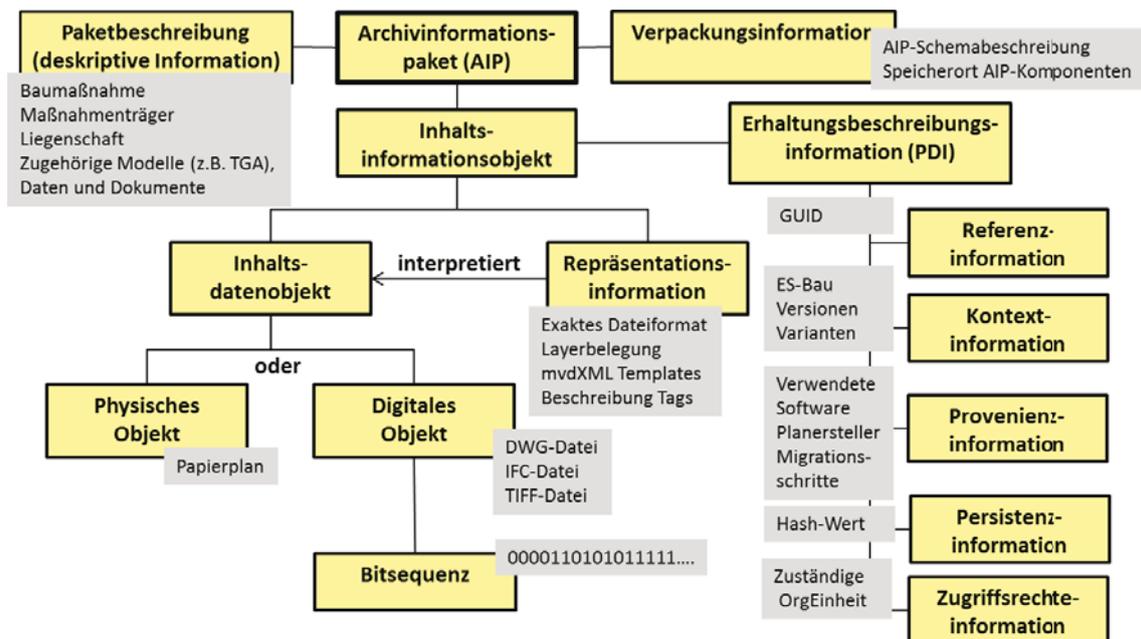


Abb. 12: Aufbau und Belegungsbeispiele für ein Archivinformationspaket (AIP)

Insgesamt sollte die Anzahl der Metadaten, die die einzelnen Informationskomponenten eines AIP repräsentieren, möglichst gering gehalten werden, auch wenn in der Langzeitcommunity äußerst umfangreiche Metadatenmodelle zur Verfügung stehen. Zu den unabdingbaren Metadaten gehören jene, die für den Zusammenhalt, das Wiederauffinden, die Integrität und Sicherheit sowie das inhaltliche und informationstechnische Verständnis der einzelnen Komponenten und insbesondere der digitalen Objekte sorgen. Die Paketbeschreibungen (deskriptive Information), die dem Endnutzer dienen, sollten sich dabei an gewohnten Begrifflichkeiten und Strukturen orientieren. Auch hier ist im Sinne einer Virtualisierung der ggf. wechselseitige Durchgriff auf andere Systeme, z. B. GIS oder Liegenschaftsdatenbanken, zur Navigation und weiteren Informationsgewinnung zweckmäßig. Diese Metadaten sollten in der Kollaborationsplattform sichtbar bleiben, also auch dann, wenn sich die Daten bereits im LZN-Repository befinden.

9 Resümee und Ausblick

9.1 Resümee

Die Sicherung der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen ist und bleibt eine technische und organisatorische Herausforderung. Als Indizien dienen die zahlreichen Forschungsvorhaben und Projekte auf diesem Gebiet sowie die Einstufung der Bewahrung des digitalen Kulturerbes als eine der fünf *Grand Challenges der Informatik* durch die deutsche Gesellschaft für Informatik e. V. Somit steht dieses Thema auf der gleichen Stufe wie das sichere, freie und vertrauenswürdige Internet der Zukunft, die systemischen Risiken in weltweiten Netzen, die allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion sowie die Verlässlichkeit von Software.

Die spezifischen Anforderungen und Randbedingungen des Bauwesens und der öffentlichen Verwaltung, wie in diesem Studienbericht ausführlich dargelegt, erhöhen die Herausforderung bezüglich einer dauerhaften und wirtschaftlichen Nutzbarkeit digitaler Datenbestände. Wesentlichen Einfluss auf eine erfolgreiche Lösung haben das Datenmanagement und die Auswahl geeigneter Erhaltungsmethoden und Formate. Diese Studie untersuchte verschiedene Ansätze zum Datenmanagement im Bauwesen und empfiehlt ein Repository, das sich an den erprobten Fähigkeiten eines Dokumentenmanagementsystems orientiert und das Informationspakete entsprechend dem OAIS-Referenzmodell abbilden und sicher speichern kann. Diesem Repository sollte eine Kollaborationsplattform vorgeschaltet sein, die insbesondere in der Planungs- und Ausführungsphase für die Kommunikation mit allen Projektpartnern sowie einer Konsolidierung der Daten dient. Des Weiteren enthält der Studienbericht eine Darstellung der Vor- und Nachteile verschiedener Erhaltungsmethoden sowie der Notwendigkeit nachhaltiger Formate. Auch aus Sicht der Langfristigkeit kommt dem ISO-standardisierten Format IFC4 und der darauf aufbauenden formalisierten Bildung von Fachsichten eine Schlüsselrolle zu, wobei zu berücksichtigen ist, dass dieses Format nicht alle Informationsbedürfnisse abdecken kann und soll und dass es sich noch nicht um ein ideales Archivformat handelt. Die Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern auch eine organisatorische. Unter dem Begriff Digital Curation gibt die Studie Hinweise, welche spezifischen Funktionen wahrgenommen werden sollten.

9.2 Ausblick auf weiteren Untersuchungsbedarf

Dieses Forschungsvorhaben (vgl. auch die Fazits zu den jeweiligen Abschnitten dieses Berichts) und weitere Studien sowie Berichte aus der Praxis, insbesondere im Zusammenhang mit dem Thema BIM, lassen weiteren Handlungsbedarf erkennen. Aus Sicht der digitalen Langzeitnutzbarkeit besteht Handlungsbedarf sowohl auf praktischer bzw. handwerklicher als auch auf theoretischer und wissenschaftlicher Ebene, wobei eine wissenschaftliche Begleitung praktischer Untersuchungen und Projekte Vorteile böte. Da die digitale Langzeitnutzbarkeit häufig Kernfragen der Informatik betrifft, wäre eine Einbindung dieser Disziplin zweckmäßig, z. B. auf den Gebieten Daten- und Prozessmodellierung, Datenbankmanagementsysteme, künstliche Intelligenz oder Verifikation von Software. Folgende Themenblöcke sollten schwerpunktmäßig weiterbehandelt werden.

9.2.1 Langfristiges Datenmanagement

Ein funktionierendes Datenmanagement ist eine Voraussetzung für einen langfristigen Informationserhalt. Die Sicherung der Konsistenz und Vollständigkeit der Daten stellt wegen der komplexen Produkte und Prozesse im Bauwesen ein Problem dar, das bisher noch nicht befriedigend

gelöst ist. Eine Ursache hierfür sind fehlende oder unzureichende Modelle, die die Entwicklung eines Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus betrachten. Die Gründe hierfür liegen teils in ungelösten oder schwierigen Fragen der Modellbildung und teils in organisatorischen Unzulänglichkeiten (vgl. nachfolgenden Themenblock Modellierung). Auf beiden Gebieten besteht Handlungsbedarf. Neue Herausforderungen bringt der Umgang mit Messdaten aller Art und (bewegten) Bildern. Diese betreffen die Integration in bestehende Modelle, die Aufbewahrung der Rohdaten nach einer Auswertung bzw. Interpretation, die Anwendung von Kompressions- oder Reduktionsverfahren (vgl. nachfolgenden Themenblock Formatfrage) und das Management sehr großer Datenbestände. Eng mit den genannten Problemstellungen ist die Wahl von geeigneten Datenbanksystemen bzw. Datenbankmodellen verbunden. Es fehlt eine systematische Untersuchung, welchen Beitrag neue Datenbankparadigmen (häufig unter dem Begriff NoSQL zusammengefasst), eine Erweiterung herkömmlicher Datenbanksysteme oder eine Kombination von verschiedenen Systemen für ein langfristiges Datenmanagement leisten können. Zu solch einer Untersuchung gehört auch die Frage, wieviel Semantik man einerseits mit einem Datenbankmodell oder andererseits mit einem spezifischen Daten- bzw. Dateiformat abbilden möchte.

9.2.2 Formatfrage

Die Auswahl, Anpassung und Entwicklung von Daten- und Dateiformaten spielen angesichts der Probleme mit alternativen Erhaltungsmethoden eine wesentliche Rolle für eine digitale Langzeitnutzbarkeit. Eine herausragende Stellung kommt dabei dem Format IFC zu. Aus Sicht der Langzeitnutzbarkeit wären folgende Verbesserungen nötig: Erstellung von Fachsichten (mit entsprechend vorgeschalteter konzeptioneller Modellierung von Bauwerken, Bauwerksumgebungen und Prozessen), eine effiziente, ausdrucksstarke und idealerweise standardisierte Abfragesprache, Methoden zur Qualitätssicherung, wozu eine leistungsfähige Abfragesprache einen erheblichen Beitrag liefern kann, und schließlich die Sicherstellung einer Migrationsfähigkeit. Eine wichtige Rolle wird auch dem Format PDF zukommen, insbesondere den Formatvarianten PDF/A-1, PDF/A-2, PDF/A-3, PDF/E-1 und künftig PDF/E-2 (mit dem eingebetteten und eigenständigen 3D-Format PRC). Bei PDF/A-3 wäre beispielsweise zu untersuchen, welche Vor- und Nachteile eine Einbettung beliebiger Dateien, die vorher auf PDF/A beschränkt war, bringt. Eine weitere Fragestellung betrifft die spezifische Qualitätssicherung von PDF-Dateien. Zusätzlicher Klärung bedarf der langfristige Umgang mit proprietären bzw. obsoleten Formaten sowie Formaten außerhalb von IFC und PDF. Hierzu wäre theoretisch, praktisch und ggf. amtsspezifisch u. a. zu untersuchen, inwieweit virtuelle Umgebungen, Emulatoren (und entsprechende Exporte) oder Formatmigrationen Abhilfe schaffen können. Ein weiteres Untersuchungsfeld stellen Formate für Geoinformationen dar, welche bereits im Zusammenhang mit der Langzeitarchivierung im Blickfeld der Vermessungsverwaltungen stehen. Ein Thema hierzu ist die Anwendung und Entwicklung von Kompressionsverfahren, um die großen Datenmengen insbesondere aus der Erdbeobachtung zu reduzieren.

9.2.3 Modellierung

Eine möglichst formale Modellbildung und ein hohes Maß an Abstraktion bilden die Voraussetzungen für sachgerechte, zuverlässige und langlebige IT-Systeme. Auf diesem Gebiet zeichnen sich im Bauwesen und in der öffentlichen Verwaltung positive Entwicklungen ab. Dennoch bestehen Defizite sowohl praktischer als auch theoretischer Natur. Die praktischen Aspekte betreffen die Vollständigkeit insbesondere der Prozessmodelle, den fehlenden Abgleich elementarster Konzepte des Bauens zwischen den einzelnen Verwaltungen, die Nutzung formaler und möglichst einheitlicher Methoden und der entsprechenden Werkzeuge, die Vermischung von

Beschreibung und Identifikation, die Verfügbarkeit der Modelle in einem austauschbaren Format, die Dokumentation der Modelle und ihrer Historie (hierzu kann OKSTRA als positives Beispiel dienen). Eher theoretischer Natur sind die mangelnde Abstraktion und die unzureichende Metamodellierung (Auswahl und Beschreibung von Modellierungselementen und von Modellierungskonzepten wie Bildung von Entitäten, Modulen und Trennung von Modellierungsaspekten). Ein weiterer theoretischer Gesichtspunkt betrifft die Modellierung und Beschreibung von Semantik jenseits einfacher Attribute, Methoden, Regeln und Constraints. Hier stellt sich die Frage, inwieweit sich baufachliches Wissen für eine maschinelle und berechenbare Verarbeitung überhaupt gewinnen und formalisieren lässt und wie die dabei entstehenden großen Wissensbasen langfristig gepflegt werden sollen.

9.2.4 Datenanalyse (Data Science)

Wie eingangs in diesem Bericht zur Motivation für eine digitale Langzeitnutzbarkeit dargestellt, bietet die Verfügbarkeit digitaler Informationen ein erhebliches Potenzial, das weit über die Erfüllung formaler Vorgaben und eine Vermeidung von kostenintensiven Neuerfassungen hinausgeht. So können Berechnungsmodelle bzw. deren Parameter, die meist im Zusammenhang mit digitalen Repräsentationen stehen und häufig den gesamten Lebensweg eines Bauwerks abdecken sollen (wie Standsicherheit, Bauphysik, Betriebskosten, Nutzungsqualität), abgesichert bzw. verbessert werden, sofern sie auch nach langer Zeit noch verfügbar und nachvollziehbar sind. Außerdem enthalten die Daten und Dokumente umfangreiches explizites und implizites baufachliches Wissen, das erschlossen werden sollte. Die Bereiche Statistik, künstliche Intelligenz und Big Data bieten einen reichhaltigen Satz an Methoden und Werkzeugen, die sich auf vielen Gebieten bereits bewährt haben und deren Weiterentwicklungen aktuell auf ein hohes Interesse in der Forschung und in der Industrie stoßen. In ausgewählten Aufgaben des Bauwesens finden sie ebenfalls Eingang. Die öffentlichen Bauverwaltungen bzw. nutzenden Verwaltungen sind im Besitz großer Daten- und Dokumentenbestände, die weitgehend den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken abdecken, was einerseits große Vorteile bietet, aber andererseits auch erhebliche Herausforderungen für eine spätere Auswertung mit sich bringt. Diese sind u. a. bedingt durch die Heterogenitäten auf konzeptioneller und technischer Ebene, durch temporale Aspekte (Langzeit!) und durch unterschiedliche Repräsentationen wie Bilder, Grafiken, freie und vorstrukturierte Texte sowie mehr oder weniger gut strukturierte Datenbanken. Aus diesem Grund sollte zunächst untersucht werden, welche Methoden unter diesen Rahmenbedingungen grundsätzlich geeignet sind und wie sie ggf. zu justieren bzw. zu kombinieren sind. Hierzu kann man sich am Vorgehen in datenintensiven Wissenschaften oder in der Automobilindustrie orientieren. Ein aktuelles Anliegen in diesem Industriezweig ist u. a. die Integration und Analyse von Daten in strukturierter und unstrukturierter Form aus dem gesamten Produktlebenszyklus (PLCA – Product Life Cycle Analytics). Eine konkrete Anwendung im Bauwesen wäre die Fusion von Bauwerksmodellen, Schadensdokumentationen, Messdaten und Schadensdatenbanken, z. B. SCHADIS⁵⁴, um die Qualität der Planung und Ausführung zu erhöhen und um Risiko- und Schadensmodelle zu ergänzen oder zu justieren.

9.2.5 Brückenbauwerke

Diese Bauwerke besitzen eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung, stehen im Blickpunkt der Öffentlichkeit und sollen eine hohe Lebensdauer erreichen. Bezüglich der langfristigen Verfügbarkeit von Unterlagen wurden bereits im Rahmen der Studie ForBAU umfangreiche Forderungen durch die Autobahndirektion Südbayern aufgestellt. Weitere konkrete Anforderungen ergeben sich aus dem Rückbau von Brücken. In einem Beitrag zum Rückbau von Großbrücken

⁵⁴ <https://www.irb.fraunhofer.de/schadis>

[Scha2017] nennen die Autoren für Spannbetonbrücken die unabdingbaren Kenntnisse über das Bauverfahren, die damals gültigen Vorschriften und Rechenmodelle, die vielfältigen Spannsysteme und ihre konstruktiven Details. Außerdem sind für die Rückbauplanung ggf. Informationen über die Zustandsentwicklung des Bestandsbauwerks und durchgeführte Instandsetzungsarbeiten nötig. Um diese langfristig orientierten Informationsbedürfnisse zu befriedigen, sollte ein entsprechendes Datenmodell entwickelt werden, das ein Informationspaket entsprechend dem OAIS-Referenzmodell realisiert und soweit wie möglich auf IFC beruht, aber auch die zahlreichen digitalen und analogen Altlasten berücksichtigt. Ein zugehöriges Prozessmodell, das durch ein Workflowsystem umgesetzt wird, soll zusätzlich die Erstellung, die Pflege und Nutzung über den Lebenszyklus beschreiben und regeln. In diesem Zusammenhang können die neuen Anforderungen, die sich durch sogenannte intelligente Brücken ergeben, berücksichtigt werden. Der Bereich Brückenbau besitzt für eine prototypische Erstellung einer Langzeitlösung im Gegensatz zu den Außenanlagen (Liegenschaftsdokumentation), bei denen ebenfalls Handlungsbedarf besteht, den Vorteil, dass bereits zahlreiche und fundierte Vorarbeiten existieren (z. B. IFC-Bridge) und dass der Kreis der Beteiligten überschaubar ist.

10 Literaturverzeichnis

- AnlVV2005 Anlage zu den VV zu Art. 80 BayHO, BayBSVK 2005 S. 84, StAnz 2005
- ArchivG NRW2010 Gesetz über die Sicherung und Nutzung öffentlichen Archivguts im Lande Nordrhein-Westfalen (Archivgesetz Nordrhein-Westfalen – (ArchivG NRW) vom 16. März 2010
- AufbewBest Anlage 2 zu den VV zu Art. 71 BayHO Bestimmungen über die Aufbewahrung von Informationen des Haushalts-, Kassen- und Rechnungswesens (Aufbewahrungsbestimmungen – AufbewBest –)
- Aussond-Bek2001 Aussonderung, Anbietetung, Übernahme und Vernichtung von Unterlagen (Aussonderungsbekanntmachung – Aussond-Bek), Bekanntmachung der Bayerischen Staatsregierung vom 19. November 1991 Nr. B III 3 – 481 – 17 (StAnz Nr. 48, AllMBl S. 884, KWMBI 1992 S. 30, JMBl 1992 S. 5, FMBl 1992 S. 76), geändert durch Bek. v. 6. November 2001 (StAnz Nr. 46)
- Ball2013 Alex Ball; Preserving Computer-Aided Design (CAD) – DPC Technology Watch Report 13 – 02 April 2013, Great Britain, 2013 <http://dx.doi.org/10.7207/twr13-02>
- BArchG2013 Gesetz über die Sicherung und Nutzung von Archivgut des Bundes (Bundesarchivgesetz – BArchG) vom 06. Januar 1988 (BGBl. I S. 62), zuletzt geändert durch Art. 4 Abs. 38 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154)
- BayArchivG1999 Bayerisches Archivgesetz (BayArchivG) Art. 2 (1) Satz 2 vom 22. Dezember 1989 (BayRS 2241-1- WFK, GVBl S. 710), geändert durch Gesetz vom 16. Dezember 1999 (GVBl S. 521).
- BFR Gbestand2012 BFR GBestand – Version 2 – Baufachliche Richtlinien Gebäudebestandsdokumentation, Ausgabe: Juni 2012, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesministerium der Verteidigung
- BFR Verm2008 Baufachliche Richtlinien Vermessung (BFR Verm) – Grundlagen der Liegenschaftsbestandsdokumentation, Version 3, Stand: September 2007, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesministerium der Verteidigung
- BimAG2009 Gesetz über die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3235), das durch Artikel 15 Absatz 83 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160) geändert worden ist
- Borg2003 Uwe M. Borghoff, Peter Rödiger, Jan Scheffczyk, Lothar Schmitz; Langzeitarchivierung – Methoden zur Erhaltung digitaler Dokumente, dpunkt.verlag, Heidelberg, 2003
- Borr2015 Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Hrsg. André Borrermann, Markus König, Christian Koch, Jakob Beetz, Springer-Vieweg, Wiesbaden, 2015
- Borr2017 André Borrermann, Julian Amann, Tim Chipman, Juha Hyvärinen, Thomas Liebich, Sergej Muhic, Laura Mol, Jim Plume, Paul Scarponcini; IFC-Road, IFC-Rail and IFC-Bridge – IFC Infra Overall Architecture Project – Documentation and Guidelines, 2017
- bsi2016 buildingSMART International, Annual Report 2016

DIN EN 9300-003:2012	Luft- und Raumfahrt – LOTAR – Langzeit-Archivierung und – Bereitstellung digitaler technischer Produktdokumentation, wie zum Beispiel von 3D-, CAD- und PDM-Daten – Teil 003: Grundlagen und Konzepte
DIN EN ISO 12006-3:2017-04	Bauwesen – Organisation von Daten zu Bauwerken – Teil 3: Struktur für den objektorientierten Informationsaustausch
DIN EN ISO 16739:2017-04	Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement
DIN SPEC 91400:2015-01	Building Information Modeling (BIM) – Klassifikation nach STLB-Bau
DIN SPEC 91400:2017-02	Building Information Modeling (BIM) – Klassifikation nach STLB-Bau
DRL2008	Dokumentationsrichtlinie des BBR, Stand 02/2008, Hrsg. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Fuch2015	Sebastian Fuchs, Erschließung domänenübergreifender Informationsräume mit Multimodellen, Schriftenreihe des Instituts für Bauinformatik, Hrsg. Raimar J. Scherer, Institut für Bauinformatik, Fakultät Bauingenieurwesen, TU Dresden, ISBN: 978-3-86780-451-6, 2015
GoBD2014	Grundsätze zur ordnungsmäßigen Führung und Aufbewahrung von Büchern, Aufzeichnungen und Unterlagen in elektronischer Form sowie zum Datenzugriff (GoBD), Bundesministerium für Finanzen, 14. November 2014
Günt2010	Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen – Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Hrsg. Willibald Günther, André Borrmann, Springer Verlag, 2010
Hasp2016	Doris Haspel; Pilotprojekt Langzeitarchivierung in der StBV, 01.02.2016 (Bericht mit den Anhängen A, B, E und F)
ISO 10303-11:2004	Industrial automation systems and integration – Product data Representation and exchange Part 11: description methods: The EXPRESS Language Reference Manual
ISO 10303-21:2016	Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure
ISO 10303-239:2012	Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 239: Application protocol: Product life cycle support
ISO 10303-28:2007	Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas
ISO 14306:2012	Industrial automation systems and integration – JT file format specification for 3D visualization
ISO 14739-1:2014	Document management – 3D use of Product Representation Compact (PRC) format – Part 1: PRC 10001
ISO/TS 10303-1383:2014	Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1383: Application module: Finite elements

ISO14721:2012	Space data and information transfer systems – Open archival information system (OAIS) – Reference model
Kreb2012	Nico Krebs; Universeller Virtueller Computer, Weiterentwicklung der Spezifikation zur effizienteren und vielseitigeren Verwendung in der Langzeitarchivierung. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2012
Krij2016	Thomas Krijnen, L.A.H.M. van Berlo, Methodologies for requirement checking on building models – A technology overview, DDSS conference 2016
Muhi2013	Sergej Muhic, Martin Krammer; Verwendung von bestehenden Gebäudemodellstandards für die Anwendung in Indoor Navigation, Forum Bauinformatik in München, Shaker, Aachen, 2013.
mvdXML2016	Tim Chipman, Thomas Liebich, Matthias Weise; mvdXML version 1.1 – Specification of a standardized format to define and exchange – Model View Definitions with Exchange Requirements and Validation Rules, 2016
RBBau2016	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes – RBBau, Grundwerk bis 19. Austauschlieferung mit Aktualisierungen, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Onlinefassung – Stand 18. April 2016
RBBauAnl2016	RBBau Online-Version Anl. 5 eingeführt mit Erlass BMUB vom 30. März 2016 (01) – B I 1 – 81011.1/0
RLBau2011	Anlage zur Gemeinsamen Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern und des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen vom 25. Mai 2011, Richtlinien für die Durchführung von Hochbauaufgaben des Freistaates Bayern – RLBau 2011 –
RLBau2015	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Landes Niedersachsen, Grundwerk – 9. Austauschlieferung, Onlinefassung, Stand Juni 2015
Sand2015	Peter Sandner; Das Repräsentationsmodell als Konzept für die archivistische Arbeit – Thesenpapier, Konferenz der Leiterinnen und Leiter der Archivverwaltungen des Bundes und der Länder (KLA), 2015
Scha2017	Gregor Schacht, Ludolf Krontal; Rückbau von Großbrücken. Eine Ingenieursaufgabe!, in: DETAILstructure 02/2017, 2017
Sche2014b	Informationssysteme im Bauwesen 2 – Anwendungen, Hrsg. Raimar J. Scherer, Sven-Eric Schapke, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014
Schen2015	Christian Schenk, Sonja Maier, Uwe M. Borghoff; A Model-based Approach for Architecture-independent Video Decoding. Proc. of the 2015 International Conference on Collaboration Technologies (CTS 2015), Atlanta, USA, 2015, IEEE Computer Society Press, 2015
Schen2016	Christian Schenk, Sonja Maier, Uwe M. Borghoff; Model-driven Video Decoding: An Application Domain for Model Transformations. Proc. of the 4 th Workshop on Scalable Model Driven Engineering part of the Software Technologies: Applications and Foundations (STAF 2016) federation of conferences, Vienna, Austria, 2016

- Scher2014 Informationssysteme im Bauwesen 1 – Modelle, Methoden und Prozesse, Hrsg. Raimar J. Scherer, Sven-Eric Schapke, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014
- UniBwM2010 DFG-Projekt Datenbankgestützte Langzeitarchivierung digitaler Objekte – Schlussbericht, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Juli 2005
<https://www.unibw.de/inf2/getFILE?fid=1283785>
- UniBwM2014 Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger; Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen – Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau 14/3, Universität der Bundeswehr München, ISSN 1431-5122, Neubiberg, 2014
- VBI2016 BIM-Leitfaden für die Planerpraxis, Hrsg. Verband Beratender Ingenieure VBI, 2016
- VDI 2552 Blatt 5:2017-10 – Entwurf Building Information Modeling – Datenmanagement 10.2017

11 Abkürzungsverzeichnis

AAA	AFIS, ALKIS, ATKIS
ABD	Autobahndirektion
ACID	Atomicity, Consistency, Isolation, Durability
ACL	Access Control List
ADT	Architectural Desktop
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AIA	Auftraggeber-Informationen-Anforderungen
AIA	Aerospace Industries Association
AIC	Application Interpreted Constructs (STEP)
AIC	Archival Information Collection (OAIS-RM)
AIP	Archival Information Package (OAIS-RM)
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AllMBI	Allgemeines Ministerialblatt (Bayern)
ALM	Application Lifecycle Modeling
ANSI	American National Standards Institute
AP	Application Protocol / Anwendungsprotokoll (STEP)
API	Application Programming Interface
ArchG	Archivgesetz
ArchivG NRW	Archivgesetz Nordrhein-Westfalen
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AufbewBest	Aufbewahrungsbestimmungen (Bayern)
Aussond-Bek	Aussonderungsbekanntmachung (Bayern)
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BArchG	Bundesarchivgesetz
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BayArchivG	Bayerisches Archivgesetz
BayBSVK	Bereinigte Sammlung der Verwaltungsvorschriften der Bayerischen Staatsministerien für Unterricht und Kultus
BayHO	Bayerische Haushaltsordnung
BayRS	Bayerische Rechtssammlung
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BCF	BIM Collaboration Format
BFR GBestand	Baufachliche Richtlinien Gebäudebestandsdokumentation
BFR Verm	Baufachliche Richtlinien Vermessung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGF	Bruttogeschoßfläche
BIM	Building Information Model (buildingSMART) Building Information Model(l)ing (buildingSMART) Building Information Management (buildingSMART)
BImA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben

BIMfit	BIM Filter Toolbox
BIMSie	BIM Service interface exchange
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BLB	Brandenburgische Landesbetrieb für Liegenschaft und Bauen
BLOB	Binary Large Object
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
B-Rep	Boundary Representation
bs	buildingSMART
bsDD	buildingSMART Data Dictionry
bsI	buildingSMART International
Bw	Bundeswehr
CAFM	Computer Aided Facility Management
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems
CDC	Control Data Corporation
CDE	Common Data Environment
CDO	Content Data Object (OAIS-RM)
CDS	Construction Drawing Subset (STEP)
CEN	Comité Européen de Normalisation / Europäisches Komitee für Normung
CNC	Computerized Numerical Control
COM	Computer Output on Microfilm
CSG	Constructive Solid Geometry
CSV	Comma-Separated Values
CTB	Colour-dependent Plot Style Table
CTS	Conference on Collaboration Technologies
DCC	Digital Curation Centre
DDSS	Design and Decision Support Systems (Konferenz)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIP	Dissemination Information Package (OAIS-RM)
DIS	Draft International Standard (ISO)
DML	Datenmanipulationssprache
DMS	Dokumentenmanagementsystem
DPC	Digital Preservation Coalition
dpi	dots per inch
DRL	Dokumentationsrichtlinie (BBR)
DURAARK	Durable Architectural Knowledge (Forschungsprojekt)
DWF	Design Web Format
DWFx	DWF for Microsoft XPS – XML Paper Specification
DWT	Drawing Template
DXF	Drawing Interchange File Format
EDM	EXPRESS Data Manager
EMF	Eclipse Modeling Framework
EN	Euronorm
EPSRC	Engineering and Physical Sciences Research Council
ER	Exchange Requirements

ERP	Enterprise Resource Planing
E-Science	Enhanced Science
ESRCE	Economic and Social Research Council
FACADE	Future-proofing Architectural Computer Aided Design (Forschungsprojekt)
FBT	Freiberuflich Tätige
FDH	Fachdatenbank Hochbau (Bayern)
FEM	Finite-Element-Methode
FM	Facility Management
FMBI	Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen
GDFR	Global Digital Format Registry
GIS	Geographisches Informationssystem
GML	Geography Markup Language
GoBD	Grundsätze zur ordnungsmäßigen Führung und Aufbewahrung von Büchern, Aufzeichnungen und Unterlagen in elektronischer Form sowie zum Datenzugriff
GVBL	Gesetz- und Verordnungsblatt (Bayern)
GZIP	GNU zip
HPGL	Hewlett Packard Graphic Language
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
IAI	International Alliance for Interoperability
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IDMVU	Infrastruktur-Daten-Management für Verkehrsunternehmen
IETF	Internet Engineering Task Force
IFC	Industry Foundation Classes
IFC	Industry Foundation Classes
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IMBY	Immobilien Freistaat Bayern
IMLS	U.S. Institute of Museum and Library Services
IR	Institutional Repository
ISO	International Organization for Standardization
ISYBAU	Integriertes DV-System-Bauwesen
JMBL	Justizministerialblatt
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
JT	Jupiter Tessellation
KEEP	Keeping Emulation Environments Portable (Forschungsprojekt)
KIM	Knowledge Information Management (Forschungsprojekt)
KLA	Konferenz der Leiterinnen und Leiter der Archivverwaltungen des Bundes und der Länder
KWMBI	Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (Bayern)
LBB	Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung (Rheinland-Pfalz)
LBD	Landesbaudirektion (Bayern)
LBIH	Landesbetrieb Bau und Immobilien Hessen
LiMMA	Lightweight Models with Multilayer Annotations
LOC	Library of Congress
LoD	Level of Detail

LoD	Level of Development
LOTAR	Long Term Archiving and Retrieval
LZA	Langzeitarchivierung
LZN	Langzeitnutzbarkeit
M2A2	Multi Modell Analyzing and Assembly Platform (Forschungsprojekt Mefisto)
MBSE	Model-Based Systems Engineering
Mefisto	Management - Führung - Information - Simulation im Bauwesen (Forschungsprojekt)
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMC	Multimodell-Container (Forschungsprojekt Mefisto)
MMQL	Multimodell Query Language (Forschungsprojekt Mefisto)
MS	Microsoft
MVD	Model View Definition
NAS	Normbasierte Austauschschnittstelle
NAS	National Aerospace Standards
NBIMS-US	National BIM Standard-United States
NCS	United States National CAD Standard
NURBS	Non-uniform rational Bézier Splines
OAIS	Open archival information system
OBB	Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr
ÖBV	Öffentliche Bauverwaltung
ODA	Open Design Alliance
OKSTRA	Objektorientierter Katalog für das Straßen- und Verkehrswesen
ÖPP	Öffentlich Private Partnerschaft
OWL	Web Ontology Language
PAS	Public Available Specification
PB	Protocol Buffer
PDF	Portable Document Format
PDI	Preservation Description Information (OAIS-RM)
PDM	Produktdatenmanagement
PIM	Project Information Model (FACADE)
PLCA	Product Life Cycle Analytics
PLCS	Product life cycle support
PLM	Produktlebenszyklusmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PLM	Product Lifecycle Model
PMI	Product and Manufacturing Information
PMI	Product and Manufacturing Information
PRC	Product Representation Compact
ProRIfé	Registry/Repository of Representation Information
PUID	PRONOM Unique Identifier
QL	Query Language
RDF	Resource Description Framework
RFA	Revit Family File

RFC	Request for Comments
RL	Richtlinie
RM	Referenzmodell
SET	Standard d'Échange et de Transfert
SHAMAN	Sustaining Heritage Access through Multivalent Archiving (Forschungsprojekt)
SIP	Submission Information Package (OAIS-RM)
SOA	Service Orientierte Architektur
SOAP	Simple Object Access Protocol (obsoletes Akronym)
STAF	Software Technologies: Applications and Foundations (Konferenzverbund)
StAnz	Bayerischer Staatsanzeiger
StBV	Staatliche Bauverwaltung Bayern
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
STLB	Standardleistungsbuch für das Bauwesen
TB	Terabyte
TDP	Technical Data Package
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TIFF	Tagged Image File Format
TS	Technical Specification
TTF	Trade and Technologies France
U3D	Universal 3D
UDFR	Unified Digital Format Registry
UML	Unified Modeling Language
UniBwM	Universität der Bundeswehr München
URI	Uniform Resource Identifier
USACE	US Army Corps of Engineers
UVC	Universeller Virtueller Computer
VBQL	Visual BIM Query Language
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDA-FS	Verband der Automobilindustrie – Flächenschnittstelle
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VGW	Vergabeverordnung
VO	Virtuelle Organisation
VOL	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen
VPR	Virtueller Projektraum
VRML	Virtual Reality Modeling Language
VV	Verwaltungsvorschrift
W3C	World Wide Web Consortium
WebDAV	Web-based Distributed Authoring and Versioning
WORM	Write Once Read Many
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
X3D	Extensible 3D
XML	Extensible Markup Language
XPS	XML Paper Specification
XSD	XML Schema Definition
ZAK	Zentrale Archivierungskomponente
zdA	zu den Akten

12 Anlage 1 – Besprechungs- und Teilnahmetermine

Besprechungstermine zur Studie

Datum	Ort	Beteiligte Stellen	Themen
15.10.2015	UniBwM, Neubiberg	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern	Auftaktbesprechung, Studieninhalt und -struktur, Aufgaben, Abläufe und IT in der ÖBV
23.10.2015	CAD-Stelle Bayern, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern, GF Fa. SBS	Projekte auf dem Gebiet der digitalen Langzeitnutzbarkeit
03.11.2015	BBSR, Bonn	Vertreter BBSR, weitere Auftragnehmer (AN) des Programms Zukunft Bau	Projektetage, Präsentation und Diskussion der Studie, Informationsaustausch mit anderen AN
13.11.2015	Fa. SBS, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern. GF Fa. SBS, Mitarbeiter Fa. BRZ	Prozesse, Softwareprodukte, Stand BIM, Projekte zum Thema digitale Langzeitnutzbarkeit, Diskussion der Beiträge zu den Projekttagen
11.12.2015	Fa. SBS, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern. GF Fa. SBS, Mitarbeiter Fa. BRZ	Archivierung analoger Pläne, Formatmigration von ALLPLAN nach AutoCAD, neue Anforderungen an den VPR durch modellgestütztes Vorgehen (BIM)
22.01.2016	Fa. SBS, München	GF und Mitarbeiter Fa. SBS, Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern, Mitarbeiter Fa. BRZ	Einsatz VPR in der ÖBV, Vortrag von Olivia Klose, Fa. Microsoft zum maschinellen Lernen im Kontext Big Data
18.02.2016	CAD-Stelle Bayern, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern, Sachgebietsleiterin IuK ABD Nordbayern, Mitarbeiter Fa. SBS	Daten- und Planmanagement im Straßenbau, Vorstellung Pilot-Projekt Langzeitspeicherung an der ABDN, VPR im Brückenbau, Fachdatenbank Hochbau (FDH)
16.03.2016	ABD Nordbayern, Nürnberg	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern, Mitarbeiter ABD Nordbayern, GF Fa. SBS, Mitarbeiter Fa. BRZ	Langzeitnutzbarkeit im Straßen- und Brückenbau, Daten- und Planmanagement, IT-Landschaft Straßenbauverwaltung
12.04.2016	UniBwM, Neubiberg	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern, GF Fa. SBS, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Landesbetrieb LBB Rheinland-Pfalz, Landesbetrieb Bau und Immobilien Hessen (LBIH), Landeshauptstadt München	Bund-Länder Expertenrunde zum Datenmanagement und zum langfristigen Umgang mit digitalen Informationen
22.04.2016	CAD-Stelle Bayern, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern	Nachbereitung Bund-Länder-Treffen, Dateiformate, BIM, Präzisierung der Studieninhalte aus Sicht ÖBV
13.09.2016	UniBwM, Neubiberg	Executive Manager Fa. novaCapta (vormals GF SBS)	Fusion der Firmen SBS und novaCapta, Einsatz und Weiterentwicklung VPR für die LZN
07.11.2016	Landesbaudirektion (LBD) Bayern, Nürnberg	Mitarbeiter der LBD Leiter CAD-Stelle Bayern	GIS, BFR, Anforderungen BImA
14.02.2017	CAD-Stelle Bayern, München	Leiter und Mitarbeiter CAD-Stelle Bayern	Projektbesprechung
19.06.2017	Fa. novaCapta, München	Executive Manager Fa. novaCapta	Integration modellbasierter Komponenten in eine Kollaborationsplattform
30.06.2017	Fa. thinkProject!, München	Business Development Manager BIM	Projekt Mefisto, Multimodellansatz
24.08.2017	CAD-Stelle Bayern, München	Leiter CAD-Stelle Bayern	Einsatz von IFC4 und mvdXML

GF Geschäftsführer
SBS Smarter Business Solutions Germany GmbH

Teilnahmen an Veranstaltungen zur Thematik BIM
(außerhalb des Budgets dieser BBSR-Studie)

Datum	Ort	Veranstalter	Themen
12. - 13.03.2015	Oldenburg	Hochschule Oldenburg	11. Oldenburger Bautag Digitales Planen, Bauen und Betreiben
20.03.2015	Köln	Fa. BRZ	Hochschul-Symposium BIM Paradigmenwechsel für Lehre und Praxis
24.06.2015	Berlin	buildingSMART e. V.	13. BIM Anwendertag Erfahrungen aus der BIM Praxis
09.09.2015	Gießen	Technische Hochschule Mittelhessen	Infrastruktur digital planen und bauen 4.0
20.11.2015	Innsbruck	Universität Innsbruck	Simulation von Planungs- und Baupro- zessen – That's BIM
01.12.2015	Berlin	buildingSMART e. V.	19. buildingSMART-Forum BIM-Pilotprojekte erleben
15.12.2015	Berlin	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	Bauen 4.0 Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens
12. - 13.04.2016	Oldenburg	Hochschule Oldenburg	3. Oldenburger BIM-Tag Erfahrungen aus der BIM Praxis
02.06.2016	Berlin	Hauptverband der Deut- schen Bauindustrie	Tag der Deutschen Bauindustrie BIM, Bildung und die Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette
08. - 09.06.2016	Essen	buildingSMART e. V.	14. BIM-Anwendertag
17.01.2017	München	Messe München	Digitales Planen und Bauen
30. - 31.03.2017	Oldenburg	Hochschule Oldenburg	4. BIM-Tage
08. - 09.05.2017	Mainz	buildingSMART e. V.	BIM-Anwendertag
15.05.2017	München	buildingSMART e. V. Regionalgruppe Bayern	BIM für kleine und mittlere Planungs- büros
01.06.2017	Berlin	Hauptverband der Deut- schen Bauindustrie	Tag der Bauindustrie
20.06. 2017	Neubiberg	UniBwM	Kolloquium Konstruktiver Ingenieur- bau BIM im Hochbau - Praxisbeispiele
13. - 14.09. 2017	Berlin	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	Digital Planen und Bauen