

REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved OMB No. 0704-0188

Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.

1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)		2. REPORT DATE 30 May 2017	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED Dissertation	
4. TITLE AND SUBTITLE Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen (Life Cycle Accompanying Usability Digital Building Information)			5. FUNDING NUMBERS	
6. AUTHOR(S) Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger				
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) UNIBW			8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER	
9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Universität für der Bundeswehr München Werner-Heisenberg-Weg 39 D-85577 Neubiberg Germany			10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER	
11. SUPPLEMENTARY NOTES Text in German.				
12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Public release. Copyrighted. (1 and 20)			12b. DISTRIBUTION CODE	
ABSTRACT (Maximum 200 words) The availability of digital building information throughout the whole life cycle offers considerable economical and ecological advantages. Stakeholders and actors can apply sophisticated long-term related computer-based analyses in order to optimise the quality, sustainability and management of buildings and civil engineering structures. When the issue of long-term digital preservation is solved, upcoming integrated and semantically enriched building and city models can be leveraged, knowledge can be conserved for future use and information loss can be reduced considerably. Machine assisted translation.				
14. SUBJECT TERMS UNIBW, German, Digital Building Information			15. NUMBER OF PAGES	
			16. PRICE CODE	
17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT UNCLASSIFIED	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE UNCLASSIFIED	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT UNCLASSIFIED	20. LIMITATION OF ABSTRACT UL	

NSN 7540-01-280-5500

Standard Form 298 (Rev. 2-89)
Prescribed by ANSI Std. Z39-18
298-102

Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen

Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger

**Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit
digitaler Bauwerksinformationen**

Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. Gebbeken (federführend)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Brünig
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Holzer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Keuser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. I. Mangerig
em. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. C. Petersen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Siebert
Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Schriftleitung:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. Gebbeken
Institut für Mechanik und Statik
Labor für Ingenieurinformatik
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
Tel.: 089-6004-3414
E-Mail: norbert.gebbeken@unibw.de

© 2014 Eberhard Pfeiffer, Peter Rödiger
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Mit Genehmigung des Autors/Herausgebers ist es gestattet, dieses Heft ganz oder teilweise zu vervielfältigen.

Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen Nachhaltiges Informationsmanagement durch Standards

Innovationen mit Normen und Standards
Vornormatives Projekt (INS 1240)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen Nachhaltiges Informationsmanagement durch Standards

Life-cycle-related usability of digital building information Sustainable information management through standards

Ausführende Stelle im DIN

Normenausschuss Bauwesen (NABau)
Dr. Matthias Witte

Projektleitung im DIN

Frau Elke Ludwig
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin

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 Rödиг
www.unibw.de/peter.roedig
peter.roedig@unibw.de

Gesamtprojektlaufzeit

04.06.2013 – 31.12.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einführung in das Projekt	9
2.1	Motivation.....	9
2.2	Allgemeine Probleme bei der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen.....	9
2.3	Besondere Herausforderungen im Bauwesen.....	10
2.4	Abgrenzung zur konventionellen Langzeitarchivierung.....	10
2.5	Bedeutung einer Standardisierung.....	11
3	Projektziele und Arbeitspakete	13
3.1	Projektziele.....	13
3.2	Arbeitspakete.....	13
4	Ergebnisse zum Arbeitspaket 1 (AP 1)	15
4.1	Entwicklung einer Vorgehensweise für die Analyse.....	15
4.2	Auswertung Forschungsverbund Virtuelle Baustelle ForBAU.....	18
4.2.1	Übersicht.....	18
4.2.2	Analyse.....	18
4.2.3	Fazit.....	20
4.3	Auswertung BMBF-Leitprojekt Mefisto.....	21
4.3.1	Übersicht.....	21
4.3.2	Analyse.....	21
4.3.3	Fazit.....	23
4.4	Auswertung 5D-Initiative.....	24
4.4.1	Übersicht.....	24
4.4.2	Analyse.....	24
4.4.3	Fazit.....	26
4.5	Auswertung buildingSMART / BIM.....	26
4.5.1	Übersicht.....	26
4.5.2	Analyse.....	27
4.5.3	Fazit.....	29
4.6	Resümee zum Arbeitspaket 1.....	30

5	Ergebnisse zum Arbeitspaket 2 (AP 2)	31
5.1	OAIS – Open Archival Information System (ISO 14721).....	31
5.1.1	Einführung.....	31
5.1.2	Inhalt	31
5.2	Producer-archive interface - Methodology abstract standard (ISO 20652).....	38
5.2.1	Einführung.....	38
5.2.2	Inhalt	38
5.3	Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive (DIN 31644).....	39
5.3.1	Einführung.....	39
5.3.2	Inhalt	40
5.4	Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (DIN 31646).....	41
5.4.1	Einführung.....	41
5.4.2	Inhalt	41
5.5	LOTAR – LOng Term Archiving and Retrieval (EN 9300).....	42
5.5.1	Einführung.....	42
5.5.2	Inhalt	43
5.6	Resümee zum Arbeitspaket 2.....	44
6	Ergebnisse zum Arbeitspaket 3 (AP 3)	47
6.1	Mängelanalyse und Mängelbeseitigung durch Standards	47
6.1.1	OAIS (ISO 14721)	47
6.1.2	Producer-archive interface - Methodology abstract standard (ISO 20652).....	48
6.1.3	Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive (DIN 31644).....	48
6.1.4	Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (DIN 31646).....	49
6.1.5	LOTAR (EN 9300).....	49
6.2	Bauspezifische Konkretisierungen.....	50
6.3	Vorgehen für weitere Standardisierungen (Roadmap).....	53
6.3.1	Verwendung der vorhandenen Standards in einem Standardisierungsprozess	53
6.3.2	Nationale vs. internationale Standardisierung.....	54
6.3.3	Problemereiche und erforderliche begleitende bzw. vorbereitende Maßnahmen ...	54
6.3.4	Handlungsempfehlung	56
7	Literaturverzeichnis	59
8	Abkürzungsverzeichnis	63

1 Zusammenfassung

Die Verfügbarkeit digitaler Objekt- und Prozessinformationen über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken bietet beträchtliche ökonomische und ökologische Vorteile. Stakeholder und Akteure werden in die Lage versetzt, anspruchsvolle langzeitbezogene computergestützte Analysen durchzuführen, um die Qualität, die Nachhaltigkeit und das Management von Bauwerken zu optimieren. Mit der Lösung des Problems der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen können beispielsweise semantische Bauwerks- und Stadtmodelle in größerer Vielfalt und Tiefe genutzt, Wissen für künftige Anwendungen bewahrt und Informationsverluste über die Zeit erheblich reduziert werden.

Eine besondere Herausforderung für den Informationserhalt liegt in den langen Lebenszyklen von Bauwerken, die im Allgemeinen deutlich länger sind als die Innovationszyklen in der Informationstechnologie. Die vergleichsweise schnelle Überalterung (Obsoleszenz) von Speichermedien, Datenformaten, Betriebssystemen, Kommunikationsprotokollen, Programmiersprachen und Anwendungsprogrammen, ferner nicht standardisierte und geschlossene proprietäre Lösungen sowie das Verschwinden von Marktteilnehmern stellen eine ernste Bedrohung für den Informationserhalt dar. Zusätzlich zu den langen Lebenszyklen sind die Produkte komplex, meistens einzigartig und stehen in einer engen Wechselbeziehung zu ihrer Umwelt. Wegen der langen Zeiträume der Planung und Nutzung sind Änderungen der Bauherrenanforderungen, der Bautechniken, der Regelwerke sowie der Umweltbedingungen schwer vorhersehbar und können Änderungen am Bauwerk oder in der Nutzung bewirken. Speziell in Deutschland verkompliziert die Arbeits- und Verantwortungsteilung (besonders kritisch zwischen Planung und Ausführung) die Prozesse zusätzlich. Diese spezifischen Bedingungen führen zu einem komplexen Informationsmanagement, welches immer noch an der Unvollständigkeit der Datenintegration und Lebenszyklusmodelle leidet.

Die besondere Themenstellung dieses Projekts liegt in der Evaluierung der Standardisierungs- und Forschungsarbeiten zur digitalen Langzeitnutzbarkeit im Allgemeinen und in verschiedenen technologischen und wissenschaftlichen Feldern mit dem Ziel, eine Standardisierung für die lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen in die Wege zu leiten.

Das erste Arbeitspaket (AP 1) dieser Kurzstudie analysiert wichtige nationale und internationale Projekte, die sich mit dem integrierten und lebenszyklusbezogenen Informationsmanagement im Bauwesen beschäftigen. AP 1 umfasst vier Analyseaspekte:

- 1) ausdrückliche Anforderungen an die Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen
- 2) explizite Maßnahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit
- 3) implizite (unterstützende) Maßnahmen
- 4) Stand der Standardisierung innerhalb der Projekte.

Die Untersuchung zeigt, dass die analysierten Projekte mehr oder weniger die Notwendigkeit betonen, Informationen entlang des Lebenszyklus zur Verfügung zu haben, aber sie stellen explizite Maßnahmen kaum und unterstützende Vorkehrungen immerhin in Ansätzen vor. Bereits entwickelte Standards zur digitalen Langzeiterhaltung finden keine Erwähnung. Gleichwohl liefern die Forschungs- und Standardisierungsanstrengungen, wie BIM (Building

Information Modeling) / IFC (Industry Foundation Classes), Ansatzpunkte zur Verbesserung der Bedingungen für die Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen.

AP 2 zeigt den Stand der nationalen und internationalen Standardisierung, die sich auf den Langzeiterhalt digitaler Informationen im Allgemeinen und exemplarisch in der Luft- und Raumfahrtindustrie konzentriert. Die Untersuchung umfasst das gut eingeführte Referenzmodell OAIS (Open Archival Information System) sowie Standards, die die Schnittstelle zwischen Informationsproduzenten und Archiven, die Vertrauenswürdigkeit von Archiven und die dauerhafte Identifikation digitaler Ressourcen behandeln. Für ein besseres Verständnis werden abstrakte Konzepte erläutert und Erhaltungsmethoden, wie Migrationen, Emulationen und spezielle Virtualisierungen, diskutiert. Zusammenfassend zeigt die Evaluierung der Standards, dass sie alle das Potenzial besitzen, die lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen zu verbessern.

Im AP 3 werden die in AP 2 vorgestellten Standards genutzt, um die momentanen Lücken beim langfristigen Informationsmanagement im Bauwesen zu identifizieren, zu strukturieren und zu beschreiben. Das AP 3 skizziert auch, wie sich die Defizite durch eine fachspezifische Erweiterung der abstrakten Standards beheben lassen. Eine Roadmap für eine weitere Standardisierung, die auch den Umgang mit offenen Fragen behandelt, schließt die Studie ab.



Das Bild demonstriert beispielhaft die schnelle Überalterung in der Informationstechnologie anhand obsoleter Wechseldatenträger und zugehöriger Geräte.

Summary

The availability of digital building information throughout the whole life cycle offers considerable economical and ecological advantages. Stakeholders and actors can apply sophisticated long-term related computer-based analyses in order to optimise the quality, sustainability and management of buildings and civil engineering structures. When the issue of long-term digital preservation is solved, upcoming integrated and semantically enriched building and city models can be leveraged, knowledge can be conserved for future use and information loss can be reduced considerably.

One particular challenge for information preservation is the fact that the life cycles of structures are generally much longer than the innovation cycles in the information technology sector. The rapid obsolescence of storage media, data formats, operating systems, communication protocols, programming languages, application programmes as well as non-standardised and closed proprietary solutions and the disappearance of market participants all constitute a serious threat to the preservation of information. In addition to the long life cycles of structures, products are complex and mostly unique and they have a tight interaction with their environment. Due to the long periods of planning and operation, changes of stakeholder's requirements, construction techniques, regulations or environmental conditions are hard to predict and may trigger changes of products and their use. Especially in Germany, the strict division of work and responsibilities (most critical between planning and construction) additionally complicates the processes. These specific conditions lead to a complex information management, which still suffers from incomplete data integration and life cycle models.

The specific subject of the project is to evaluate the standardisation and research work on the long-term use of data and digital curation being conducted in general and in various technological and scientific fields with the aim of promoting the standardisation process for a life-cycle-related usability of digital building information.

The first work package (WP 1) of this short study analyses major national and international projects that address the integrated and life-cycle related information management in the building and construction industry. WP 1 covers four topics:

- 1) explicit demands for the long-term usability of digital information
- 2) explicit measures to ensure long-term usability
- 3) implicit (supporting) measures
- 4) state of the standardisation within the projects.

The survey shows that the analysed projects stress more or less the need to have data over the life cycle available, but they present explicit measures only sparsely and supporting measures to some extent at least. Already developed standards for long-term preservation are not mentioned. Nevertheless, the research and standardisation efforts for data integration and life cycle modelling, e. g. BIM (Building Information Modeling) / IFC (Industry Foundation Classes), provide starting points that can improve the conditions for long-term usability of digital information.

WP 2 shows the state of the national and international standardisation that focuses on the long-term preservation of digital information in general and in the aerospace industry. The survey includes the well-established reference model OAIS (Open Archival Information System) as well as standards that address the interface between information producers and archives, the trustworthiness of digital archives and the persistent identification of digital resources. For a better understanding, abstract concepts are illustrated and preservation methods, i. e., migration, emulation and specific virtualisations, are discussed. In summary, the evaluation of the standards demonstrates that all of them have the potential to improve the life-cycle-related usability of digital building information.

In WP 3 the standards discussed in WP 2 are used to identify, structure and describe the currently existing gaps in the long-term information management in the building sector. WP 3 also outlines how the deficiencies can be remedied by domain-specific extensions of the available abstract standards. A roadmap for further standardisation, which also discusses the handling of unresolved issues, completes the study.



Das Bild zeigt 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 bzw. der Gesellschaft für historische Rechenanlagen e.V. die *datArena* als Ausstellungs-, Begegnungs- und Forschungszentrum für die digitale Langzeitnutzung.

¹ www.computermuseum-muenchen.de

2 Einführung in das Projekt

2.1 Motivation

Die Verfügbarkeit digitaler Informationen während der gesamten Lebenszyklen von Bauwerken und darüber hinaus, z. B. für einen Wissenstransfer, kann zahlreiche rechtlich, ökonomisch, ökologisch und baukulturell bedeutende Ziele zur Steigerung der Qualität, Nachhaltigkeit und Sicherheit des Bauens unterstützen bzw. erst ermöglichen wie:

- Positive Rückwirkungen auf das kurz- und mittelfristige Informationsmanagement im Bauwesen
- Nachweis der Erfüllung gesetzlicher oder formaler Vorgaben (Compliance) durch Herstellung vollständiger und beweissicherer digitaler Unterlagen
- Langfristanalysen zur Qualität von Bauwerken sowie Bewahrung und Generierung von Wissen für neue Planungen
- Werterhaltung oder Wertsteigerung von baulichen Infrastrukturen auf Basis eines lückenlosen Monitorings von Produkten und Prozessen
- Reduzierung des Landverbrauchs durch wirtschaftlicheres Bauen im Bestand
- Zuverlässige Überwachung und Analyse langfristiger Auswirkungen auf die Umwelt
- Optimierung energetischer Ertüchtigungen durch Modellparameter, die durch langfristige Beobachtungen abgesichert sind
- Steigerung der Effektivität von Planung, Training und Durchführung von Rettungs- und Notfallmaßnahmen in Krisen- und Katastrophenfällen durch die Bereitstellung aktueller und realistischer Bauwerks- und Stadtmodelle
- Ganzheitliche Optimierung von öffentlichen und privaten Immobilien- und Infrastrukturportfolios durch Rückgriff auf Lebenszyklusdaten
- Vermeidung von Informationsverlusten insbesondere bei Besitz- und Eigentumswechsel
- Vermeidung unnötiger wiederholter Neuerfassungen von Daten
- Dauerhafte und vollständige Erhaltung des kulturellen Erbes durch virtuelle Bauwerke.

2.2 Allgemeine Probleme bei der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen

Die langfristige Nutzbarkeit digitaler Informationen hat sich nachweislich als äußerst anspruchsvolle technische und organisatorische Aufgabe herausgestellt. Im Gegensatz zu den üblichen analogen Formen, wie Texte, Bilder und Zeichnungen auf Papier oder Mikrofilm, ist für die Erfassbarkeit von digitalen Inhalten durch den Menschen ein komplexer technischer Interpretationsprozess der binären Kodierung nötig. Hierzu ist in den letzten Jahrzehnten eine Fülle an Methoden entstanden, wovon viele bereits wieder technisch überaltert (obsolet) und teilweise nicht mehr oder nur noch mit hohem Aufwand reaktivierbar sind. Diese Entwicklung spiegelt sich in einer Unmenge an Dateiformaten, Dateisystemen, Kompressions- und Verschlüsselungsverfahren, Programmiersprachen sowie Speichermedien und -formaten wider. Ein Ende der zahlreichen Innovationszyklen in der Informationstechnik zeichnet sich nicht ab. Dafür sorgen immer leistungsfähigere Hardware, Paradigmenwechsel in der Softwareerstellung und steigende Ansprüche der Nutzer. Schnell wachsende Datenmengen, zunehmend komplexere Dateiformate und die verstärkte Verteilung von Datenobjekten und

Softwaresystemen im Netz, wie beim Grid- und Cloud-Computing, erschweren die langfristige Erhaltungsaufgabe zusätzlich. Schließlich bedrohen fehlende Standards und Dokumentationen den Erhalt von Informationen ernsthaft.

2.3 Besondere Herausforderungen im Bauwesen

Im Gegensatz zu anderen kulturellen, wissenschaftlichen oder technischen Domänen birgt das Bauwesen zusätzliche Herausforderungen für die Langzeitnutzung digitaler Informationen:

- Nahezu jedes Bauwerk stellt ein Unikat dar. Entsprechend individuell zeigen sich die Erstellungsprozesse, die außerdem externen, teilweise schwer bestimmbareren Einflüssen unterliegen, wie Extremwetterlagen, Konkurse und politisch wechselnde Vorgaben.
- Die stark ausgeprägte Arbeitsteilung, insbesondere die strikte Trennung von Planen und Bauen in Deutschland, bedingt heterogene Modelle, Anwendungen und Datenbestände und erschwert eine ganzheitliche Baudokumentation.
- Zahlreiche Bauwerke, wie Kraftwerke oder Verkehrsanlagen, sind kritisch für das Funktionieren der Volkswirtschaft sowie für die Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung und Sicherheit im Krisen- oder Katastrophenfall.
- Bauwerke stehen in einer starken Wechselbeziehung zur Umwelt und den damit verbundenen Informationen.
- Der Lebenszyklus von Bauwerken kann extrem lang sein. Nutzungsdauern von über hundert Jahren sind keine Seltenheit. Diesem Sachverhalt steht eine Vielzahl von Innovationszyklen in der Informationstechnologie gegenüber.
- Änderungen der Bauwerke und in deren Umwelt erfordern eine ständige Aktualisierung der Daten, die dadurch zeitlich veränderlich und nicht statisch sind (vgl. Abgrenzung zur konventionellen Langzeitarchivierung im folgenden Abschnitt).

Die aus den vorgenannten Aspekten resultierende Heterogenität, Verteiltheit, Komplexität und Langfristigkeit der zugrunde liegenden Informationen sowie die Abhängigkeit von Entwicklungen in der Informationstechnologie stellen für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement besonders hohe Ansprüche an eine technische und organisatorische Lösung.

2.4 Abgrenzung zur konventionellen Langzeitarchivierung

Die lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit von digitalen Bauwerksinformationen erfordert im Gegensatz zur konventionellen Langzeitarchivierung eine erweiterte Betrachtung zum Informationsmanagement und zur Modellbildung. Modelle (Bauwerksmodelle, Prozessmodelle, Finanzmodelle usw.), Daten (Bauwerksdaten, Prozessdaten, Finanzdaten usw.) und die darauf operierenden Anwendungen unterschiedlicher Fachdomänen stehen in komplexen Wechselbeziehungen, wobei die Domänen durch phasen- und projektweise wechselnde Rollen und Akteure repräsentiert werden. Ein besonders kritischer Übergang findet zwischen Errichtung und Betrieb statt. Diese Interaktionen müssen langfristig reproduzierbar bleiben, übliche Langzeitarchivierungsverfahren thematisieren solche Bedingungen nicht. Die hohe Dynamik der Wechselbeziehungen erfordert weiterführende Betrachtungen, da sich Anwendungen und ggf. ihre spezifischen Add-Ons, z. B. aufgrund des technischen Fortschritts oder rechtlicher Anforderungen, häufig ändern. Damit verbunden ist die kontinuierliche Fortentwicklung normativer Vorgaben. Darüber hinaus erzwingen Änderungen an Bauwerken oder deren Nut-

zung wiederholte Aktualisierungen der Datenbestände, die wegen der vielen fachlichen Abhängigkeiten leicht zu Gefährdungen der Datenintegrität führen können. Schließlich unterliegen auch die genannten Modelle einer Weiterentwicklung. Erschwerend überlagern die Entwicklungen in der IT diese baufachlich bedingten Änderungen. Daraus ergibt sich ein permanenter Abstimmungs- und Handlungsbedarf, um Modelle, Daten und Anwendungen über den Lebenszyklus von Bauwerken in einem vollständigen, konsistenten und auch über längere Zeiträume nachnutzbaren Zustand zu halten. Abb. 1 illustriert Nachnutzungsszenarien im Lebenszyklus von Bauwerken und das zu beherrschende Zusammenspiel mit organisations- und IT-bezogenen Lebenszyklen.

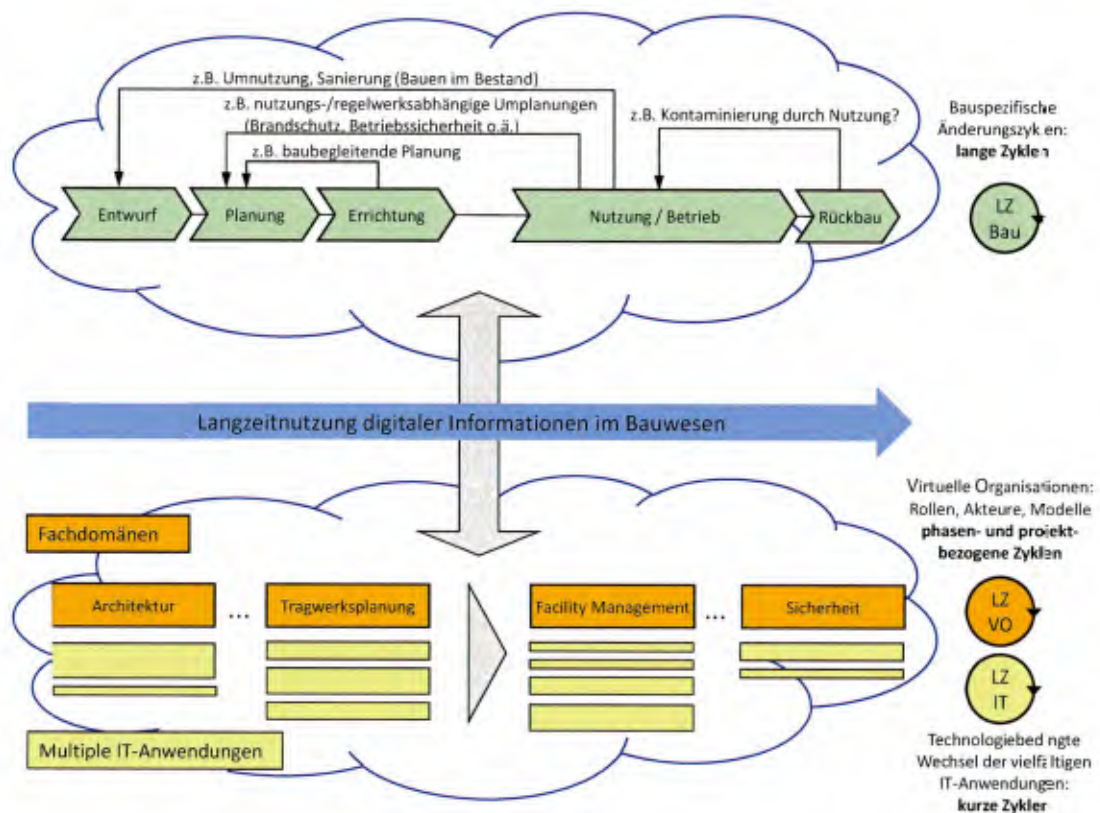


Abb. 1: Langzeitnutzung digitaler Bauwerksinformationen im Kontext verschiedener Lebenszyklen (LZ)

2.5 Bedeutung einer Standardisierung

Standards sind eine unabdingbare Voraussetzung für kompatible und interoperative Systeme aller Art. Standards fördern die Wiederverwendbarkeit und Austauschbarkeit von Komponenten, erleichtern die Bewertbarkeit und Vergleichbarkeit von Produkten und Dienstleistungen und bieten verlässliche Vorgaben für Entwickler und Anbieter von Systemen und Produkten. Öffentlich verfügbare und realistisch umsetzbare Vorgaben bilden die Basis für konkurrierende Implementierungen und somit für einen funktionierenden Markt. Solche Vorgaben erlauben auch *kleinsten*, *kleinen* und *mittleren* Unternehmen eine Teilhabe am Wettbewerb und erleichtern die Optimierung von komplexen Gesamtsystemen durch eine individuelle

(lokale) Optimierung und eine vereinfachte Integrierbarkeit spezialisierter Teillösungen, welche wegen der hohen Arbeitsteilung im Bauwesen charakteristisch sind. Darüber hinaus vermindern Standards den Aufwand für die im Bauwesen übliche wiederholte Festlegung von Regeln für die projektweise Zusammenarbeit mit wechselnden Partnern. Die Bedeutung einer Standardisierung in hochgradig verteilten Systemen unterstreicht auch die Studie Standards und Standardisierung im Kontext von Grid/eScience und Langzeitarchivierung [Borg2009]. Sie behandelt ferner das Thema Vertrauenswürdigkeit, das aufgrund der bauspezifischen Arbeitsteilung und Langfristigkeit eine gewichtige Rolle spielt.

3 Projektziele und Arbeitspakete

3.1 Projektziele

Das vorrangige Ziel dieses vornormativen Projektes ist die Auswertung und Aufbereitung der bisherigen, relativ abstrakten bzw. fachfremden nationalen und internationalen Normen, Standards und Richtlinien zur Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen im Hinblick auf das Bauwesen mit seinen zahlreichen technischen und organisatorischen Besonderheiten, um eine spezifische Normung und Standardisierung in diesem volkswirtschaftlich bedeutenden Sektor in die Wege zu leiten.

Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung des öffentlichen Vergabewesens. Bund, Länder und Kommunen sind bedeutende Bauherren. Sie besitzen in erheblichem Umfang bauliche Infrastrukturen, die dauerhaft zu betreuen sind und daher ein langfristiges Informationsmanagement benötigen, das entsprechend der hohen Arbeitsteilung Leistungen unterschiedlicher und wechselnder externer Partner erfordert. Standardisierte Lösungen erleichtern die Prozesse zur Ausschreibung, Vergabe und Kontrolle solcher Leistungen erheblich. Da diese Prozesse äußerst zahlreich auftreten, ergeben sich besonders hohe Effizienzgewinne.

3.2 Arbeitspakete

Um die Projektziele zu erreichen, beinhaltet die durch DIN ausgeschriebene Studienleistung folgende Arbeitspakete (AP):

AP 1 Analyse des Standes der Forschung und Technik auf dem Gebiet der integrierten digitalen Bauwerks- und Lebenszyklusmodellierung sowie deren Implementierungen

Schwerpunktmäßig waren folgende nationale und internationale Aktivitäten für eine Auswertung vorgesehen:

- Forschungsverbund Virtuelle Baustelle ForBAU (Abschluss 12/2010)
- Mefisto (Abschluss 03/2012)
- 5D-Initiative (laufend)
- buildingSMART (laufend).

Die Analyse sollte aufzeigen:

- die expliziten Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit
- die in den Projekten genannten Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit (z. B. *persistente Identifikatoren* für digitale Objekte)
- die impliziten Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit (z. B. Verwendung von Data Dictionaries zur Unterstützung der inhaltlichen Verständlichkeit)
- den Grad der Standardisierung.

AP 2 Analyse des Standes der Standardisierung zum Thema Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen

Schwerpunktmäßig waren dafür folgende Standards vorgesehen:

- ISO 14721:2003 Space data and information transfer systems – Open archival information system – Reference model (OAIS)
- ISO 20652:2006 Space data and information transfer systems – Producer-archive interface – Methodology abstract standard
- DIN 31644:2012-04 Information und Dokumentation – Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive
- E DIN 31646:2012-03 Information und Dokumentation - Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (Persistent Identifier)
- EN 9300 LOTAR – Long Term Archiving and Retrieval of digital technical product documentation such as 3D, CAD and PDM data.

Die Analyse sollte aufzeigen, welche technischen und organisatorischen Aspekte der Langzeitnutzung Gegenstand der aktuellen Standardisierung sind.

AP 3 Darstellung von Vorgehensweisen und Inhalten zur Anwendung von Standards der digitalen Langzeitnutzung für das Bauwesen

- Nutzung der Standards zur Mängelanalyse: Identifizierung der Aspekte der Langzeitnutzbarkeit, die durch bisherige digitale Bauwerksmodelle (im weiteren Sinne; also z. B. die Erweiterung von 3D zu 5D) und deren Implementierungen nicht berücksichtigt, nicht standardisiert oder nur implizit formuliert sind, jedoch in den oben analysierten Standards adressiert sind.
- Bauspezifische Konkretisierung der generischen bzw. abstrakten Aspekte der bisherigen Standards zur Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen.
- Erarbeitung von Vorschlägen zu geeigneten Arten für bauspezifische Erweiterungen der bestehenden Standards (wie ergänzender Standard, SPEC, TR, Richtlinie, Leitfaden, Erläuterung, Best Practices).

4 Ergebnisse zum Arbeitspaket 1 (AP 1)

4.1 Entwicklung einer Vorgehensweise für die Analyse

Das Arbeitspaket 1 beinhaltet die Analyse des Standes der Forschung und Technik auf dem Gebiet der integrierten digitalen Bauwerks- und Lebenszyklusmodellierung sowie deren Implementierungen. Die Untersuchungen umfassen laut Leistungsbeschreibung vier Analyseaspekte, die als Vorbereitung für eine systematische Auswertung im folgendem strukturiert und erläutert werden.

Analyseaspekt 1: Explizite Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit

Dieser Aspekt der Analyse bezieht sich auf explizit formulierte Anforderungen an Informationen, die nach der Herstellung eines Bauwerkes *langfristig* benötigt werden (z. B. für Bauunterhalt, Bewirtschaftung, Rückbau). Eingeschlossen sind explizite Forderungen an eine organisatorische und technische Implementierung (z. B. Rückgriff auf zertifizierte Dienstleister für die Datenspeicherung oder die Verwendung spezieller Dateiformate für die Archivierung). *Langfristig* bedeutet im Kontext digitaler Langzeitnutzbarkeit, dass durch Änderungen in der Informationstechnologie Informationsverluste eintreten können. Als Anhalt dient ein Zeitpunkt ab fünf bis zehn Jahren.

Analyseaspekt 2: Bereits genannte Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Dieser Analyseabschnitt soll aufzeigen, inwieweit im Bereich Bauwesen bereits Maßnahmen genannt werden, die speziell der digitalen Langzeitnutzung dienen und im Rahmen einschlägiger Forschungsvorhaben, Implementierungsprojekte und Standardisierungsaktivitäten zu finden sind.

Für eine strukturierte Analyse dieses Aspekts bietet sich bezüglich der konzeptionellen Ebene in erster Linie ein Rückgriff auf das ISO-Referenzmodell OAIS (Open Archival Information System) an [ISO14721:2012], kurz OAIS-RM. Es beschreibt u. a. ein Informationsmodell und ein Funktionsmodell und definiert Verantwortlichkeiten einer OAIS-konformen Organisation. Das Referenzmodell berücksichtigt somit, dass es sich bei der digitalen Langzeitnutzbarkeit sowohl um ein technisches als auch um ein organisatorisches Problem handelt. Kernkonzept des Informationsmodells ist das *Informationspaket*, welches beschreibt, wie digitale Objekte, also die reinen Bitsequenzen, mit weiteren Informationen anzureichern sind, um eine langfristige Interpretierbarkeit ohne Rückgriff auf den Produzenten verlässlich sicherzustellen. Die Pakete sind noch mit weiteren Informationen zu versehen, um für den Endanwender die Wiederauffindbarkeit und eine Bewertung des Informationsgehalts zu ermöglichen. Das Funktionsmodell beschreibt sechs Hauptfunktionen, nämlich die *Einlieferung*, *Auslieferung* und *Archivablage* von *Informationspaketen* sowie das *Datenmanagement*, die *Administration* des Gesamtsystems und die *Erhaltungsplanung*. Teile der *Erhaltungsplanung* sind die Beobachtung technologischer Entwicklungen oder die Erarbeitung sogenannter Erhaltungsstrategien, wie *Migration* oder *Emulation* (nähere Ausführungen hierzu im Abschn. 5.1).

Nach heutigen Erkenntnissen erfordert also die Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit ein aktives Management der Datenbestände! Hierfür sind die nötigen Leistungselemente, Prozesse und Organisationsstrukturen festzulegen. Des Weiteren sind die rechtlichen Aspekte einer

Langzeitnutzbarkeit zu klären. Hierzu gehört u. a. eine langfristige Regelung der Nutzung geistiger Leistungen, wozu neben Inhalten auch die zugehörigen Softwareprogramme zählen. Schließlich erfordert die Langzeitnutzung Konzepte, wie eine Finanzierung des Informationsmanagements während des gesamten Informationslebenszyklus gewährleistet werden kann.

Als konzeptionelles Modell spezifiziert das OAIS-RM jedoch keine Entwürfe (Design) und Implementierungen, aber auf diesen Ebenen stehen Lösungen zur Verfügung, die die Forderungen aus dem OAIS-RM umsetzen bzw. unterstützen. Von besonderer Bedeutung für eine Umsetzung sind Metadaten, die digitale Objekte zu *Informationspaketen* ergänzen und diese dann inhaltlich beschreiben und auffindbar halten. In der Praxis unterscheidet man Metadaten in technische (zur Beschreibung der technischen Interpretierbarkeit), in strukturelle (zur Beschreibung zusammengehöriger Elemente), in administrative (zur Sicherstellung der Auffindbarkeit, Integrität, Authentizität, Vertraulichkeit, Beweissicherheit) und in deskriptive (zur Beschreibung der fachlichen Inhalte). Für technische Metadaten kann teilweise auf bereits verfügbare Online-Register (insbesondere *Format Registries*, z. B. PRONOM²) verwiesen werden. Sogenannte persistente Identifikatoren erlauben eine dauerhafte Identifizierung digitaler Objekte im Internet. Für die Bildung von *Informationspaketen* wurden spezielle Paketformate entworfen, implementiert und teilweise standardisiert. Vor allem für die Extraktion bzw. Generierung von Metadaten technischer Art stehen Werkzeuge zur Verfügung, ebenso für die Qualitätssicherung beim Einlieferungsprozess, der für die Langzeitnutzung als besonders kritisch erachtet und u. a. im OAIS-RM behandelt wird. Tab. 1 gibt einen Überblick der in dieser Studie festgelegten Punkte, nach denen die einzelnen Projekte und Initiativen im Bauwesen analysiert werden.

Tab. 1: Explizite Methoden und Mittel für die Langzeitnutzbarkeit

1	OAIS-Informationspakete
2	OAIS-Funktionen
3	OAIS-Konformität (Organisatorische Grundanforderungen)
4	Langfristiges Prozess- und Organisationsmodell
5	Langfristige Erhaltungsstrategien
6	Langfristige rechtliche Aspekte
7	Langfristige Finanzierbarkeit
8	Technische Metadaten
9	Strukturelle Metadaten
10	Administrative Metadaten
11	Deskriptive Metadaten
12	Persistente Identifikatoren
13	Spezifische Paketformate
14	Metadaten-Werkzeuge
15	Qualitätssicherung

² siehe www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM

Analyseaspekt 3: Implizite Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Neben dedizierten Vorkehrungen, wie unter Analyseaspekt 2 ausgeführt, existiert eine Reihe von Maßnahmen (hier implizite Annahmen), die eine Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen erheblich erleichtern. Angesichts der Randbedingungen im Bauwesen spielen dabei *integrierte Bauwerksmodelle* bzw. *Infrastrukturmodelle* eine herausragende Rolle. Solche Produktmodelle sorgen u. a. für eine frühzeitige Bündelung und Konsolidierung aller zusammengehörigen Informationen, für die Integrität der Daten sowie für die Verfügbarkeit, Verständlichkeit und Nachnutzbarkeit für alle Beteiligten. Eine nachträgliche Integration verstreuter Daten auf Basis nicht abgestimmter Teilmodelle für Zwecke der Langzeitnutzbarkeit wird in den meisten Fällen nicht gelingen oder unvertretbar hohen Aufwand erfordern. Eine weitere hilfreiche Maßnahme ist die Abstützung auf bauspezifische *Lebenszyklusmodelle* auf der Basis integrierter Bauwerksmodelle. Sie liefern Auskunft darüber, wer wann welche Informationen benötigt. Kontrollierte Vokabularien, Taxonomien und Ontologien erleichtern als Bestandteil einer Modellbildung den Austausch von Informationen und deren langfristige Verständlichkeit. Auf der technischen Ebene helfen für eine dauerhafte Interpretierbarkeit offene (neutrale) und weitverbreitete Formate. Anwendungssysteme sollten solche Formate korrekt und vollständig importieren und exportieren können. Weitere Vorteile für die Langzeitnutzung verschaffen eine Reduzierung der System- und Formatvielfalt (Normalisierung) sowie der Formatkomplexität bzw. Schemakomplexität, bei der die für eine Langzeitnutzung kritischen Elemente entfernt werden, wie im Format enthaltene ausführbare Elemente (vgl. z. B. Vorgehen bei PDF/A³). Die Übertragung der Aufgaben auf spezialisierte Dienstleister sowie die Zertifizierung von Produkten oder Leistungserbringern können einen weiteren Beitrag zur dauerhaften Informationsversorgung liefern. Tab. 2 gibt einen Überblick über die gewählten Analysepunkte.

Tab. 2: Unterstützende Maßnahmen für die Langzeitnutzbarkeit

1	Integrierte Bauwerksmodelle / Infrastrukturmodelle und Prozessmodelle
2	Bauspezifische Lebenszyklusmodelle
3	Kontrollierte Vokabularien, Taxonomien, Ontologien
4	Offene Formate und Systeme
5	Normalisierung (Reduzierung der System- und Formatvielfalt)
6	Reduzierte Formatkomplexität
7	Dedizierte Dienstleister
8	Zertifizierte Produkte
9	Zertifizierte Leistungserbringer

Analyseaspekt 4: Grad der Standardisierung

Schließlich wird analysiert, inwieweit die Standardisierung in Bezug auf eine Langzeitnutzbarkeit in den einzelnen Projekten und Initiativen fortgeschritten ist. Wie in der Projektein-

³ PDF/A definiert ein auf PDF basierendes Format zum Langzeiterhalt der visuellen Erscheinung elektronischer Dokumente, unabhängig von Werkzeugen und Systemen zur Erstellung, Speicherung und Darstellung [ISO 19005-1:2005].

führung dargelegt, liefern standardisierte Lösungen einen wesentlichen Beitrag für einen langfristigen Informationserhalt.

4.2 Auswertung Forschungsverbund Virtuelle Baustelle ForBAU

4.2.1 Übersicht

Das 2010 abgeschlossene Verbundprojekt ForBAU (Virtuelle Baustelle – Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung) beschäftigte sich mit der Entwicklung eines Konzeptes zur ganzheitlichen computergestützten Abbildung komplexer Bauvorhaben in Form eines digitalen Baustellenmodells. Die Studie konzentriert sich auf die Bauabläufe von Verkehrswegen und darin enthaltene Brückenbauwerke. Vor allem in der Verbesserung des Datenflusses und einer optimierten Weiterverarbeitung vorhandener digitaler Daten wird erhebliches Potenzial für eine Effizienz- und Qualitätssteigerung gesehen. Wesentliche Bausteine der erarbeiteten Lösung sind eine zentrale Datenhaltung für eine integrierte Planung und darauf aufbauend computergestützte Simulationen des Bauablaufs und der Bauwerkslogistik sowie eine kontinuierliche Überwachung des Bauablaufs. Die Studie diskutiert die Vor- und Nachteile verschiedener Instrumente für eine zentrale Datenhaltung, nämlich Dokumentenmanagementsysteme (DMS), Produktmodell-Server und Produktdatenmanagementsysteme (PDM). Für das Studienszenario kam ein kommerzielles PDM zum Einsatz. Das Studienprojekt nennt aber auch technische und organisatorische Hürden für eine digitale Baustelle, wie bestehende Honorar- und Vergabeordnungen oder die fehlende Implementierung standardisierter, offener Schnittstellen für einen verlustfreien Informationsaustausch.

4.2.2 Analyse

Zum Analyseaspekt 1: Explizite Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit

Der Schwerpunkt der Studie liegt eindeutig auf den Phasen Bauplanung und Bauausführung. Jedoch erwähnen die Autoren an mehreren Stellen die Vorteile einer integrierten Datenhaltung für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes. Als Beispiele sind u. a. aufgeführt: die modellbasierte Dokumentation von Wartungsvorgängen [Günt2011, S. 58] und die strukturierte Archivierung von qualitätsrelevanten Daten, exemplarisch dargestellt für das Beton-Qualitätscontrolling [Günt2011, S. 54]. Aus Sicht eines öffentlichen Bauherrn von Infrastrukturmaßnahmen wird angemerkt, dass die erforderliche Gebrauchstauglichkeit nicht mit der Fertigstellung ende, sondern über den gesamten Lebenszyklus gewährleistet sein müsse [Günt2010, S. 10]. Für Betrieb und Instandhaltung werden aus Sicht der Autobahndirektion Südbayern prinzipiell alle Dokumente für bedeutend gehalten, die mit einem Bauwerk in Bezug stehen, also neben Unterlagen, wie statische Berechnungen, Prüfzeugnisse, Baustoffinformationen und Plänen, auch Angaben zu Bauabläufen und Baubehelfen [Günt2010, S. 11]. Anhand eines Lebensdauer-Managementsystems (LMS) wird demonstriert, dass die dauerhafte Verfügbarkeit und kontinuierliche Pflege von Bauwerksdaten zu einem effektiveren und effizienteren Betrieb führt [Günt2010, S. 152]. Darüber hinaus kann eine lückenlose Dokumentation der Bauwerkserstellung als Wissensbasis für künftige Projekte dienen [Günt2011, S. 9].

Zum Analyseaspekt 2: Bereits genannte Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Obwohl die Autoren Bauwerkslebensdauern von über 100 Jahren nennen [Günt2010, S. 10], finden sich in den Projektberichten keine expliziten Ausführungen, wie über einen so langen Zeitraum die digitalen Informationen am Leben gehalten werden können. Explizite Vorkehrungen zur Langzeitnutzbarkeit, wie in Tab. 1 aufgeschlüsselt, finden sich nur vereinzelt (auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet). Der unter dem Thema BIM skizzierte Model Checker [Günt2010, S. 37] kann einer Qualitätssicherung dienen, die für eine Langzeitnutzung ausdrücklich gefordert wird. Die im Studienbericht mehrfach erwähnten Möglichkeiten der Verschlagwortung [Günt2010, S. 119] können als deskriptive Metadaten für eine langfristige Auffindbarkeit relevanter Informationen sorgen.

Zum Analyseaspekt 3: Implizite Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Die Studiendokumentation benennt bzw. beschreibt Maßnahmen, die eine Langzeitnutzung unterstützen. Dabei nehmen integrierte Modelle und ein zentrales Datenmanagement entsprechend dem Studienthema von ForBAU den breitesten Raum ein. Einen Überblick gibt Tab. 3.

Tab. 3: Analyse ForBAU - Unterstützende Maßnahmen für die Langzeitnutzbarkeit

1	Integrierte Bauwerksmodelle / Infrastrukturmodelle und Prozessmodelle	Die Studie verwendet als Werkzeug für eine Integration von Teilmodellen ein kommerzielles PDM, wofür „zahlreiche Anpassungs- und Sonderprogrammierungen“ erforderlich waren [Günt2010, S. 156]. Die Integrationstiefe bleibt eingeschränkt, wofür die Autoren technische, organisatorische und psychologische Gründe nennen. Großes Potenzial verspricht man sich durch Building Information Modeling (BIM) [Günt2010, Abschn. 2.2].
2	Bauspezifische Lebenszyklusmodelle	Die Studie unterstreicht die Notwendigkeit einer durchgehenden Lifecycle-Strategie in Form eines Building Lifecycle Model (BLM) als bauspezifische Ausprägung eines Product Lifecycle Model (PLM) [Günt2010, S. 137]. Ein entsprechendes Werkzeug muss daher in der Lage sein, alle relevanten Informationen der verschiedenen Projektbeteiligten sowie die Prozesse über den gesamten Lebenszyklus zu bündeln und strukturiert zu verwalten. Als ein wesentlicher Ansatz für eine Strukturierung wird die Bauteilorientierung angeführt. Die Studie demonstriert exemplarisch den Nutzen eines Lebenszyklusmanagements anhand von Trassen- und Brückenbauwerken.
3	Kontrollierte Vokabularien, Taxonomien, Ontologien	Möglichkeiten der Verschlagwortung werden mehrfach erwähnt [Günt2010, S. 119]. Inwieweit sich diese Metadaten auf kontrollierte Vokabularien bzw. standardisierte Schemata abstützen, ist nicht ausgeführt.
4	Offene (neutrale) Formate und Systeme	Aussagen hierzu finden sich bei der Überführung von 3D-Modellen in das Neutralformat 3D-PDF für Zwecke der „Langzeitarchivierung“ [Günt2010, S. 151] und bei den Anforderungen für PDM-Systeme (Kriterium Nr. 1.2.6 „Erzeugung von Neutralformaten im Batch“ [Günt2011, S. 29]).

5	Normalisierung	Eine Systematik zur Reduzierung der vielfältigen, teils proprietären Formate wird, abgesehen von einer Überführung in neutrale Formate, nicht aufgezeigt.
6	Reduzierte Formatkomplexität	Eine Reduzierung der Format- bzw. Schemakomplexität und der damit verbundenen Funktions- und Informationsverluste werden nicht diskutiert.
7	Dedizierte Dienstleister	Solche Dienstleister werden als mögliche Betreiber für das zentrale Datenmanagement erwähnt, z. B. als BIM-Manager, um die Akzeptanzprobleme zu überwinden und weil diese Aufgabe nicht zu den Kernkompetenzen eines Projektsteuereers oder Generalunternehmers gehört [Günt2010, S. 119]. Mögliche Geschäftsmodelle finden sich nicht, die Finanzierung bzw. Vergütung wird als ein offenes Problem gesehen.
8	Zertifizierte Produkte	siehe buildingSMART (Abschn. 4.5)
9	Zertifizierte Leistungserbringer	nein

Zum Analyseaspekt 4: Grad der Standardisierung

Die Ersteller der Studie erwähnen an mehreren Stellen direkt oder indirekt eine fehlende bzw. mangelhafte Standardisierung auf den Ebenen der Technik und der Modelle. So werden die Probleme beim Datenaustausch beklagt, die sich durch fehlende Vereinbarungen und Vorgaben zu einheitlichen und allgemein verbindlichen Datenformaten ergeben [Günt2010, S. 12]. Eine Durchgängigkeit fehlt auch auf der Ebene der Modelle im Planungsprozess, wie Tragwerksplanung und Objektplanung [Günt2010, S. 13]. Offensichtlich mangelt es außerdem an Standards, um Informationen aus Geographischen Informationssystemen (GIS) einzubinden [Günt2010, S. 13]. Außerdem konnte ein Produktmodell-Server als Alternative zum eingesetzten PDM trotz seiner Vorteile nicht installiert werden, da für die zahlreichen Teilmodelle kein umfassendes IFC-Produktmodell zur Verfügung gestanden hatte [Günt2010, S. 131]. Unter dem Thema Logistik wird festgestellt, dass auf Baustellen sowohl Prozesse als auch das Informationsmanagement wenig standardisiert seien [Günt2010, S. 6].

Großes Potenzial wird dem Building Information Modeling(BIM) zugerechnet, das neben einem digitalen Bauwerksmodell auch eine Charakterisierung der Prozesse zur Verwendung eines solchen Modells im Lebenszyklus umfasst [Günt2010, S. 33] (siehe Abschn. 4.5 zur Auswertung buildingSMART / BIM).

4.2.3 Fazit

Die Studie unterstreicht den Nutzen einer Integration auf der Basis von 3D-Modellen für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement und zeigt, welche facettenreichen technischen und organisatorischen Herausforderungen hierfür zu lösen sind. Die Autoren stellen Lösungsansätze für ausgewählte Gebiete des Bauwesens vor, wobei dedizierte Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzung nur vereinzelt Erwähnung finden. Insbesondere bleibt bei dem gewählten Integrationsansatz unklar, wie die Schnittstellen zwischen den einzelnen Anwendungen – langfristiger und zu spezifizierender Nutzen vorausgesetzt – und die zahlreich verwendeten, teils proprietären Daten- bzw. Dateiformate (von Plänen über Sprachmemos bis

hin zu Videoclips, vgl. z. B. [Günt2011, Abb. 8.9]) über Jahre und Jahrzehnte gehandhabt werden sollen. Breiteren Raum nehmen unterstützende Maßnahmen ein. Neben der Modell- und Datenintegration werden bauspezifische Lebenszyklusmodelle vertieft behandelt. Diese müssten jedoch wegen ihrer Bedeutung für eine Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen präzisiert und differenziert werden. Darüberhinaus verdeutlicht die Studie die Notwendigkeit einer Standardisierung, gibt aber hierzu keine Konzepte und konkreten Inhalte und Wege an. Die genannten Mängel in der Standardisierung sind als erheblicher Nachteil für eine Langzeitnutzung digitaler Informationen einzustufen.

4.3 Auswertung BMBF-Leitprojekt Mefisto

4.3.1 Übersicht

Das 2012 abgeschlossene Forschungsvorhaben Mefisto (Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen) hatte sich zum Ziel gesetzt, die Fragmentierung der Aufgaben, die Parallelität der Abläufe sowie die Heterogenität der Modelle und Daten im Bauwesen informationstechnisch zu beherrschen. Die Entwicklung beinhaltet ein Management-Führungssystem für ein partnerschaftliches, prozessgesteuertes und risikokontrolliertes Bauen. Dazu sollen Multimodelle ausgewählte Fachmodelle aus der Planung und dem Projektmanagement in einer einzigen Informationsressource kombinieren, die dann in einem Multimodell-Container informationstechnisch verwaltet werden können.

4.3.2 Analyse

Vorbemerkung zu den ausgewerteten Quellen: Der in Buchform geplante Schlussbericht stand zum Zeitpunkt dieser Analyse noch nicht bereit. Die folgenden Ausführungen beruhen auf Unterlagen zum 2. und 3. Mefisto-Kongress.

Zum Analyseaspekt 1: Explizite Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit

Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Bauausführung [Sche2011a, S. 4]. Besonderer Integrationsbedarf wurde für das Bauprojektmanagement festgestellt [Sche2011a, S. 12]. Der generische Ansatz ist aber grundsätzlich auf den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks anwendbar. Als ein Beispiel nennen die Autoren die Übergabe einer für das Facility Management gefilterten Bestandsdokumentation an den Auftraggeber und späteren Nutzer [Sche2012, S. 16]. Forderungen bezüglich einer langfristigen Nutzbarkeit digitaler Informationen sind jedoch nicht direkt formuliert.

Zum Analyseaspekt 2: Bereits genannte Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Die Dokumentationen enthalten keine expliziten Ausführungen, wie über lange Zeiträume die digitalen Informationen nutzbar gehalten werden können. Explizite Vorkehrungen zur Langzeitnutzbarkeit, wie in Tab. 1 aufgeschlüsselt, finden sich nur vereinzelt (auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet). Zu nennen sind die semantischen, formalisierten Auszeichnungsmechanismen von Modellen, die für deskriptive, strukturelle und administrative Metadaten genutzt werden können, sowie die Möglichkeiten einer Qualitätskontrolle [Sche2011a, S. 11 ff.].

Zum Analyseaspekt 3: Implizite Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Die Studie stellt Konzepte und Methoden vor, die eine Langzeitnutzbarkeit erleichtern. Hervorzuheben sind die generische Art der Fachmodellintegration und die ergänzende Verwendung von Ontologien auf Basis eines Ontologie-Rahmenmodells. Tab. 4 gibt einen Überblick über unterstützende Maßnahmen.

Tab. 4: Analyse Mefisto - Unterstützende Maßnahmen für die Langzeitnutzbarkeit

1	Integrierte Bauwerksmodelle / Infrastrukturmodelle und Prozessmodelle	Der Integrationsansatz beruht auf der Annahme, dass auch künftig vielfältige Fachmodelle und zugehörige spezialisierte Anwendungen zum Einsatz kommen und dass die zugrunde liegenden Daten mit unterschiedlichen Formaten verteilt gespeichert werden. Im Gegensatz zu umfassenden integrierten Produkt- bzw. Prozessmodellen oder zu einer zentralen Datenhaltung in einem PDM stellt Mefisto einen Mechanismus für einen kombinierten, verteilten und prozessgesteuerten Einsatz von Fachmodellen bereit und spricht daher von einem Paradigmenwechsel [Sche2011a, S. 29]. Hierbei dienen Multimodelle der Zusammenfassung unterschiedlicher Fachmodelle in einer Informationsressource, wobei innerhalb einer Ressource sogenannte <i>Linkmodelle</i> Abhängigkeiten bezüglich unterschiedlicher Detaillierung, Fachdisziplinen und Projektzeitpunkte explizit repräsentieren können. Die zugrunde liegenden Fachmodelle bleiben dabei unverändert. Darüberhinaus können die Modelle mit Metadaten versehen werden (vgl. Zeile 3 dieser Tabelle). Die verlinkten und ausgezeichneten Modelle werden auf einer Dienstplattform (Mefisto-Plattform) verwaltet und koordiniert. Zentral bereitgestellte Funktionen zum Filtern, Transformieren und Prüfen von Multimodellen unterstützen deren Nutzung. Datenschemata, Metadatenvokabulare und Modellierungsvorlagen fördern die Interoperabilität. Mehrere Fachmodellvorlagen können als Multimodellvorlagen in einem Container gebündelt werden. Zusätzlich lassen sich die Multimodelle als Geschäftsobjekte in Workflowmodelle einbinden, wo sie die Eingabeinformationen und Ergebnisse von Aufgaben zusammenfassen [Sche2012, S. 7 ff.].
2	Bauspezifische Lebenszyklusmodelle	Einzelne Ausschnitte werden im Rahmen verschiedener Anwendungsszenarien in Form von Prozessdiagrammen beschrieben [Sche2012, S. 7 ff.].

3	Kontrollierte Vokabularien, Taxonomien, Ontologien	Der gewählte Ansatz beinhaltet als Ergänzung zu Fachmodell- und Multimodellspezifikationen ein Ontologie-Rahmenwerk, um eine Auszeichnung, Integration und Auswertung von heterogenen Modellinhalten zu unterstützen. Das Rahmenwerk umfasst die <i>Baukernontologie</i> und die <i>Projekt-Kollaborationsontologie</i> . Erstere dient der Beschreibung und Überprüfung der Inhalte von Multimodellen sowie der Klassifizierung übergeordneter Fach- und Multimodelle (Modelltypisierung). Die <i>Projekt-Kollaborationsontologie</i> beschreibt eine allgemeine Geschäftslogik und berücksichtigt Aspekte der Organisation, der Informationsprozesse, der Software-dienste sowie der Visualisierung einzelner bzw. korablierter Fachmodelle [Sche2011a, S. 19 ff.].
4	Offene Formate und Systeme	Für den Austausch von Multimodellen wurde das neutrale Format Multimodell-Container (MMC) entwickelt.
5	Normalisierung	Strategien und Techniken zur Reduzierung der Formatvielfalt (innerhalb MMC) werden nicht vorgestellt.
6	Reduzierte Formatkomplexität	Eine hierarchische Modellierung erlaubt eine Reduktion der Modellkomplexität [Sche2012, S. 4]. Eine Verschlan-kung von Fachmodellen durch Filterung und Transfor-mation der entsprechenden Schemata erleichtert die techni-sche Handhabung und die Verständlichkeit [Sche2011a, S. 67].
7	Dedizierte Dienstleister	Die Rolle eines BIM-Managers wird erwähnt [Sche2012, S. 16].
8	Zertifizierte Produkte	nein
9	Zertifizierte Leistungs-erbringer	nein

Zum Analyseaspekt 4: Grad der Standardisierung

Die Studie weist darauf hin, dass die in Multimodell-Containern befindlichen Fachmodelle auf Standards beruhen oder in Bezugnahme auf Standards angepasst bzw. abgeleitet werden sollten. Folgeprozesse können dann direkt auf den Modellen aufsetzen, was jedoch eine Vereinbarung über die Qualität der Modellinhalte erfordert. Die damit verbundene Qualitätskontrolle sollte insbesondere bei Projekten öffentlicher Auftraggeber auf offenen Verfahren und Standards basieren. Die hierfür vorgestellten, auf BIM (Building Information Modeling) / IFC (Industry Foundation Classes) basierenden Werkzeuge sind auch außerhalb der Mefisto-Lösung anwendbar [Sche2012, S. 16]. Eine formale Standardisierung des Containerformats findet bisher nicht statt.

4.3.3 Fazit

Die Studie nennt spezielle Methoden und Mittel zur Langzeitnutzbarkeit nur vereinzelt. Breiten Raum nimmt die Anwendung von Ontologien ein. Sie sind in der Lage, Inhalte und logische Zusammenhänge, sofern sie das *Linkmodell* ohnehin nicht abbildet, langfristig verständlich zu halten, insbesondere wenn sie sich standardisierter Vokabularien bedienen. Eine Er-

weiterung in Richtung technische Metadaten (oder *Repräsentationsinformation* im Sinne des OASIS-RM) ist denkbar. Der Mefisto-Ansatz ermöglicht auch eine Qualitätssicherung, wie sie für eine Langzeitnutzung ausdrücklich gefordert wird. Unterstützung für die Dauerhaftigkeit der Informationen bietet der abstrahierende und somit vereinheitlichende Ansatz zur Integration und Verwaltung von Fachmodellen. Jedoch bleibt Mefisto in einem für die Langzeitnutzung nachteiligen Maß den Heterogenitäten und Unzulänglichkeiten der einzelnen Fachmodelle ausgeliefert. Darüber hinaus bleibt unklar, wer die Multimodell-Container und die zugehörigen Plattformen langfristig inhaltlich und technisch pflegt. Vage bleibt auch, was langfristig in den Containern aufbewahrt werden soll, da die entsprechenden Anforderungen und Spezifikationen nicht formuliert sind. Die Potenziale der Filter- und Transformationsfunktionen kommen daher für diesen Zweck nicht zum Zuge. Vorteilhaft wären eine weite Verbreitung sowie eine Standardisierung des Containerformats⁴ begleitet von einer weitergehenden Standardisierung der Fachmodelle, so wie es bereits in der Studie zum Ausdruck kommt.

4.4 Auswertung 5D-Initiative

4.4.1 Übersicht

Fünf große europäische Baufirmen riefen im Jahr 2008 die 5D-Initiative (5Di)⁵ ins Leben mit dem Zweck, die Entwicklung innovativer IKT-Methoden für Generalunternehmer zu koordinieren und zu beschleunigen bis ein weitverbreiteter Einsatz in der Praxis erreicht ist. Als Vision formuliert die Initiative Hard- und Softwarelösungen, die helfen sollen, alle Prozesse über fachliche Grenzen hinweg zu integrieren und anzureichern, Prozessverschwendungen zu beseitigen und eine sachkundige Entscheidungsfindung zu unterstützen. Hierzu ist aus Sicht von 5Di eine Erweiterung von 3D- und Bauwerksinformationsmodellen um alle Prozessdaten im Lebenszyklus nötig. Diesbezüglich hebt die Initiative als Unterscheidung zu anderen Aktivitäten hervor, dass sie für die Anbieter von Software ein abgestimmtes Prozessmodell aus Sicht der Bauindustrie liefern könne. 5Di präsentiert hierzu eine Übersicht mit Prozessen (Process Map)⁶, die die Phasen Projektentwicklung, technischer Entwurf, Arbeitsvorbereitung, Bauausführung und Facility Management abdecken. Außerdem skizziert 5Di eine Systemarchitektur (System Architecture)⁷ in der die erforderlichen IT-Plattformen als Komponenten eingeordnet sind, wobei das Prozessmanagement den übergeordneten Rahmen bildet, der den Informationsfluss und die Erzeugung von Daten verfolgt und kontrolliert. 5Di favorisiert dabei eine lose Kopplung der Komponenten, um unhandliche und langsame Systeme zu vermeiden und um lokale Optimierungen der fachspezifischen Anwendungen zu erleichtern.

4.4.2 Analyse

Zum Analyseaspekt 1: Explizite Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit

5Di stellt Anforderungen an ein technisches System. Die Systemkomponente Prozessmanagement soll fehlerfreie und gesetzeskonforme Mechanismen für digitale Signaturen und

⁴ Die Internetseiten des Mefisto-Projekts erwähnen einen Arbeitskreis Multimodelle und eine Projektgruppe in buildingSMART e.V. zur weiteren Ausarbeitung und Verbreitung von Multimodell-Technologien, siehe www.mefisto-bau.de (Zugriff am 01.08.2013)

⁵ siehe www.5d-initiative.eu (Zugriff am 28.08.2013)

⁶ siehe www.5d-initiative.eu/pictures/processmap03.png (Zugriff am 28.08.2013)

⁷ siehe www.5d-initiative.eu/pictures/processmap.png (Zugriff am 28.08.2013)

zusätzlich ein zertifiziertes Archivformat für 3D-Gebäudemodelldaten, für externe Daten und für Prozessdokumentationen bereitstellen. Innerhalb der Systemkomponente *Modellierer* soll angestrebt werden, dass die verwendeten Formate eine Archivierung erlauben („Sicherstellung eines langfristigen und gesetzeskonformen Zugriffs auf grafische Informationen“). Zum Aufgabenbereich der Systemkomponente Datenmanagement gehört die Verarbeitung aller relevanten Datensätze auf Basis dauerhafter (persistenter), global eindeutiger Identifikatoren.

Zum Analyseaspekt 2: Bereits genannte Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Die Darstellungen von 5Di enthalten keine expliziten Ausführungen, wie über die langen Zeiträume von Bauwerkslebenszyklen digitale Informationen nutzbar gehalten werden können. Explizite Vorkehrungen zur Langzeitnutzbarkeit, wie in Tab. 1 aufgeschlüsselt, finden sich nur vereinzelt (auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet). Die Systemkomponente Datenmanagement sieht *persistente Identifikatoren* vor (vgl. Analyseaspekt 1). Für die Systemkomponente *Modellierer* werden eine Unterstützung bauteilorientierter 3D-Modelle und die Vergabe von GUID (Globally Unique Identifier) gefordert, was eine dauerhafte Identifizierung und die Bildung von *OAIS-Informationspaketen* in verteilten Umgebungen (virtuelle Pakete) unterstützt.

Zum Analyseaspekt 3: Implizite Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Ein Schwerpunkt der Initiative liegt auf einer Integration von Prozessen, die schließlich zu einem 5D-Modell führt. Eine Übersicht der unterstützenden Maßnahmen enthält Tab. 5.

Tab. 5: Analyse 5D-Initiative – Unterstützende Maßnahmen für die Langzeitnutzbarkeit

1	Integrierte Bauwerksmodelle / Infrastrukturmodelle und Prozessmodelle	Angestrebt wird ein 5D-Modell, das laut 5Di ergänzend zum 3D-Modell auch Angaben über Ausführungszeiten (als 4D bezeichnet) sowie alle Prozessdaten enthält.
2	Bauspezifische Lebenszyklusmodelle	Eine Sammlung von Prozessen in verschiedenen Lebenszyklusphasen, die softwaremäßig unterstützt werden sollen, ist skizziert (Process Map).
3	Kontrollierte Vokabularen, Taxonomien, Ontologien	nein
4	Offene Formate und Systeme	Für die Komponenten <i>Modellierer</i> und <i>Datenmanagement</i> werden offene und gut dokumentierte Anwendungsschnittstellen gefordert, um mit bestehenden Softwarelösungen in der Bauindustrie (domänenspezifische Lösungen) kommunizieren zu können. Für den <i>Modellierer</i> wird verlangt, dass er offene bzw. zertifizierte Industriestandards, auch außerhalb der Bauindustrie, vollständig unterstützt.
5	Normalisierung	Strategien und Techniken werden nicht vorgestellt.
6	Reduzierte Formatkomplexität	Die lose Kopplung der Systemkomponenten kann eine Reduzierung der Formatkomplexität unterstützen. Nähere Ausführungen finden sich nicht.

7	Dedizierte Dienstleister	nein
8	Zertifizierte Produkte	Gefordert wird ein zertifiziertes Archivformat.
9	Zertifizierte Leistungserbringer	nein

Zum Analyseaspekt 4: Grad der Standardisierung

Um für die Softwarelieferanten Vorgaben zu machen, die nicht auf isolierten Einzelforderungen beruhen, hat sich 5Di zum Ziel gesetzt, Prozessstandards und Prozessschnittstellen aus Sicht der Bauindustrie zu definieren. Wie ein Standardisierungsprozess ablaufen soll, ist nicht näher dargelegt.

4.4.3 Fazit

Auch aus dem Blickwinkel der Langzeitnutzung ist die Definition eines Prozessmodells, das den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks abdeckt, ein wesentlicher Vorteil, da sie zu einer besseren Integration und zu definierten Systemzuständen führt. Die Arbeiten der 5D-Initiative zum Aufbau einer Process Map bilden hierfür eine Ausgangsbasis, die aus Sicht anderer Beteiligten am Bau zu ergänzen wäre. Eine Softwarearchitektur mit klar definierten Komponenten wirkt sich ebenfalls positiv auf einen langfristigen Informationserhalt aus, insbesondere wenn die Aspekte Wartbarkeit und Übertragbarkeit ausreichend Beachtung finden. Die von 5Di skizzierte Systemarchitektur bietet dazu eine Diskussionsgrundlage. Die langfristige Pflege der Architektur bzw. deren Komponenten auf bau- und IT-fachlicher Ebene wird bisher nicht thematisiert.

4.5 Auswertung buildingSMART / BIM

4.5.1 Übersicht

Entsprechend der Vereinsatzung verfolgt buildingSMART e.V. als Chapter von buildingSMART International im deutschsprachigen Raum das Ziel, das Planen, Bauen und Bewirtschaften von Bauwerken mittels effizienter Methoden durchgängiger Informationsverarbeitung mit offenen Datenstandards zu fördern und weiterzuentwickeln [bSeV2012]. Im Mittelpunkt steht die Methode des Building Information Modeling mit offenen Standards (open BIM) als Planungsmethode auf der Basis digitaler Bauwerksmodelle. buildingSMART International (bSI) bezeichnet sich selbst als neutrale, internationale und einzige Non-Profit-Organisation, die open BIM über den gesamten Lebenszyklus unterstützt. bSI liefert für das Akronym BIM drei Definitionen [bSI2012]:

- 1) *Building Information Modeling* als Geschäftsprozess zur Erzeugung und Nutzung von Bauwerksdaten, um Bauwerke zu entwerfen, planen, bauen und über deren Lebenszyklus zu betreiben.
- 2) *Building Information Model* als digitale Repräsentation der physischen und funktionalen Eigenschaften baulicher Einrichtungen.
- 3) *Building Information Management* ist die Organisation und Kontrolle von Geschäftsprozessen durch die Nutzung digitaler Modelle zum Teilen von Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Wirtschaftsguts.

Schließlich bezeichnet bSI open BIM als universellen Ansatz für das kollaborative Entwerfen, Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden auf Basis offener Standards und Workflows. Dementsprechend entwickelt bSI Standards für Datenformate, Datenverzeichnisse (Data Dictionary), Produktdaten, Prozesse, Schematransformationen zur Erzeugung spezifischer fachlicher Sichten, sowie für die Auftragsvergabe und Zertifizierungen. Große Teile davon haben Eingang in die internationale Standardisierung gefunden, nämlich: Industry Foundation Classes (IFC) [ISO 16739:2013] und Information Delivery Manual (IDM) [ISO 29481-1 2010] [ISO 29481-2:2012] [ISO/AWI 29481-3]. Als Basis für das bSI Data Dictionary dient das ISO-Rahmenwerk für objektorientierte Informationen über Bauwerke [ISO 12006-3:2007]. Als vertragliche Grundlage kann ein Rahmenwerk für die Vergabe von BIM-bezogener Leistungen (BIM Guidance) herangezogen werden, welches von der ISO als Technische Spezifikation (TS) publiziert wurde [ISO/TS 12911:2012]. Außerdem ist für die Produktdatenmodellierung ein Entwurf zur internationalen Standardisierung bei der ISO registriert [ISO/DIS 16757-1].

4.5.2 Analyse

Zum Analyseaspekt 1: Explizite Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit

Der Wunsch, über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken auf konsistente Daten zurückgreifen zu können, kommt an mehreren Stellen zum Ausdruck. Wiederholte Dateneingaben und die daraus folgenden Fehler sollen vermieden werden; open BIM wird hierzu als Mittel angesehen⁸. Detaillierte Forderungen an die Langzeitnutzbarkeit inhaltlicher, technischer oder organisatorischer Art formulieren buildingSMART e.V. und buildingSMART International jedoch nicht.

Zum Analyseaspekt 2: Bereits genannte Methoden und Mittel zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Explizite Vorkehrungen zur Langzeitnutzbarkeit, wie in Tab. 1 aufgeschlüsselt, finden sich nur vereinzelt (auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet). Das bSI Data Dictionary kann zum Aufbau bzw. zur Befüllung von Schemata für deskriptive Metadaten dienen. Das Erfordernis, alle selbständigen IFC-Objekt-Instanzen mit einem GUID (Globally Unique Identifier) zu versehen [IFC4:2013, Abschn. 8.21.2.1], unterstützt deren dauerhafte Identifizierung, dennoch fehlen die Eigenschaften der Dauerhaftigkeit und Ausführbarkeit, die einen *persistenter Identifizierer* charakterisieren und die dafür sorgen, dass referenzierte digitale Objekte zuverlässig dauerhaft lieferbar sind.

Zum Analyseaspekt 3: Implizite Annahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit

Eine wesentliche Unterstützung für die Langzeitnutzung liefert buildingSMART mit einem integrierten und standardisierten Datenschema für Bauwerke. Tab. 6 gibt hierzu einen Überblick.

⁸ „open BIM provides enduring project data for use throughout the asset life-cycle, avoiding multiple input of the same data and consequential errors.“ Siehe www.buildingsmart.org/openbim (Zugriff am 13.08.2013)

Tab. 6: Analyse buildingSMART – Unterstützende Maßnahmen für die Langzeitnutzbarkeit

1	Integrierte Bauwerksmodelle / Infrastrukturmodelle und Prozessmodelle	Die IFCs (Industry Foundation Classes) beschreiben ein generisches 3D-Bauwerksmodell (bauspezifisches Produktmodell), welches für Austausch Zwecke zwischen den Fachdomänen bzw. für die Nutzung innerhalb der Domänen spezialisiert wird. Domänen sind beispielsweise Architektur, Tragwerksplanung oder HLK (Heizung, Lüftung, Klimatechnik). Zusätzlich enthält die aktuelle IFC4-Spezifikation Elemente, die das 3D-Produktmodell um Prozesse (i. S. von Geschäftsprozessen) erweitern und somit eine 5D-Modellierung erlauben. Schließlich existieren Kontrollelemente, die die Nutzung von Produkten, Prozessen und Ressourcen steuern, regeln und einschränken [IFC4:2013].
2	Bauspezifische Lebenszyklusmodelle	Ein umfassendes Lebenszyklusmodell ist nicht definiert. Die bisherigen Information Delivery Manuals (IDM) und Model Definition Views (MDV) decken bisher nur Teilbereiche ab. Die Schwierigkeit, IDMs zu erstellen wird mit dem Mangel an strukturierten und gut dokumentierten Prozessen begründet ⁹ . In [ISO 12006-2:2001] findet sich ein grobes Modell, das vier Lebenszyklusstufen, Ressourcen (Produkte und Hilfsmittel, Beteiligte, Informationen) und Ergebnisse der einzelnen Stufen in Bezug setzt.
3	Kontrollierte Vokabularen, Taxonomien, Ontologien	Das bSI Data Dictionary beruht auf einem standardisiertem Taxonomiemodell [ISO 12006-3:2007]. Objekte, Kollektionen und Beziehungen bilden die Grundbausteine des Modells.
4	Offene Formate und Systeme	Alle spezifizierten Formate sind offen. Das Bekenntnis zur Entwicklung offener Standards findet sich in den Satzungen und offiziellen Aussagen.
5	Normalisierung	Strategien und Techniken werden nicht vorgestellt.
6	Reduzierte Formatkomplexität	Eine reduzierte Komplexität kann durch die Definition von Subsets (Model View Definition – MVD) und durch die Konfigurationsmöglichkeiten von STEP-XML [ISO 10303-28:2007] erreicht werden (simple ifcXML).
7	Dedizierte Dienstleister	Es wird die Rolle eines Informationsmanagers erwähnt (z. B. im Abstract zu [ISO/AWI 29481-1] oder in [ISO/TS 12911:2012]) als Adressat dieser Normen).
8	Zertifizierte Produkte	bSI führt auf Basis eines offenen Verfahrens Zertifizierungen von IFC-Schnittstellen von Softwareprodukten durch [bSI2010].
9	Zertifizierte Leistungserbringer	nein

⁹ siehe iug.buildingsmart.org/idms (Zugriff am 20.08.2013)

Zum Analyseaspekt 4: Grad der Standardisierung

Wie im Überblick zu buildingSMART / BIM bereits dargelegt, ist die nationale und internationale Standardisierung von Bauwerks- bzw. Infrastrukturmodellen, von Informationsprozessen entlang des Lebenszyklus sowie von Produktmodellen ein Hauptanliegen von bSI und der regionalen bzw. nationalen Chapters. Die bSI-Standards stützen sich auf internationale Standards, wie STEP / EXPRESS [ISO 10303-11:2004], STEP-File [ISO 10303-21:2012] und XML Schema¹⁰. Die bSI-Produktzertifizierung liegt jedoch außerhalb einer formalen Standardisierung und nutzt auch keine Basisstandards, wie die ISO-Reihe SQuaRE (Systems and software Quality Requirements and Evaluation). Standards aus dem Bereich der digitalen Langzeiterhaltung werden nicht referenziert.

4.5.3 Fazit

Ein hoch integriertes Datenformat, wie IFC, ist aus Sicht der Langzeitnutzung als vorteilhaft einzustufen, da es die Konstruktion von OAIS-*Informationspaketen* erheblich erleichtert. So kann die zusätzliche Vergabe struktureller Metadaten entfallen, da das Modell die fachlichen Zusammenhänge enthält und sie bei einer Serialisierung, also einer Überführung in ein speicherbares Format, automatisch bewahrt werden. Außerdem vereinfacht eine umfassende Formatspezifikation die Beschreibung von OAIS-*Informationspaketen*¹¹. Mit MVD (Model View Definition) steht eine einheitliche Methodik zur Verfügung, spezielle Sichten auch für die Langzeitnutzung zu erzeugen. Die konkrete Überführung von Planungs- und Ausführungsdaten in die Nutzungsphase ist jedoch nach wie vor mit offenen Fragen behaftet¹². Zusätzlich zur Integration kommen bei open BIM die Vorteile einer Standardisierung für die Langzeitnutzung zum Zuge. Der hohe Grad an Integration birgt auch Nachteile, wie den hohen Aufwand für die Spezifikation und Standardisierung sowie Fortschreibungen, die sich durch Änderungen im Bauwesen und in der Informationstechnologie ergeben. Ein modularer Aufbau durch Abstraktion und eine Segmentierung in Fachdomänen, wie in IFC gegeben, wirkt jedoch diesen Nachteilen entgegen. Als schädlich für die Langzeitnutzung einzustufen sind die schleppende Einführung von BIM in Deutschland sowie die Aktivitäten von Softwareherstellern, den Datenaustausch durch eine gegenseitige Unterstützung der eigenen Dateiformate statt standardisierter Formate zu bewerkstelligen. Ausführungen zu dieser Problematik finden sich u. a. im Tagungsband zum 2. Darmstädter Ingenieurkongress [Rüpp2013, S. 155 ff.] und speziell zur Tragwerksplanung unter dem Stichwort *proprietäre Anbindung* [Rüpp2013, S. 117]. Positiv hingegen sind die Aktivitäten in Praxis und Forschung bezüglich BIM, die den Mehrwert standardisierter und semantisch reicher Bauwerksmodelle demonstrieren und das Potenzial einer lebenszyklusbegleitenden Nutzung digitaler Bauwerksinformationen klar erkennen lassen (z. B. in [Sche2011b]).

¹⁰ siehe www.w3.org/XML/Schema (Zugriff am 28.08.2013)

¹¹ genauer von Repräsentationsinformationen (vgl. [ISO14721:2012, S. 4-21 ff.])

¹² vgl. z. B. die ausgeschriebenen Leistungen zu einer Studie des BBSR mit dem Thema „Sicherung von Datendurchgängigkeit im gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes“ vom 22.08.2012. Dort heißt es wörtlich: „Die Durchgängigkeit von Daten und deren Pflege von der Planung über die Durchführung einer Baumaßnahme bis letztendlich zum Betrieb dieser Immobilie stellt in der Praxis ein Problem mit hohem Kostenaufwand dar.“

4.6 Resümee zum Arbeitspaket 1

Alle bisher in dieser Studie analysierten Projekte und Initiativen adressieren mehr oder weniger tief ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement und betonen die Vorteile, digitale Informationen auf einfache Weise teilen und austauschen zu können. Explizite Vorkerhungen für die Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen finden sich jedoch nur vereinzelt¹³. Eine Diskussion über die Eignung grundlegender Erhaltungsmethoden, wie *Migration*, *Emulation* oder spezialisierte virtuelle Maschinen, findet überhaupt nicht statt. Ebenso bleibt vage, welchen Wert für die Phasen Nutzung, Umnutzung, Umbau oder Rückbau die Informationen aus den vorgelagerten Phasen haben. Standards, die das Thema Langzeitnutzung und Langzeitarchivierung zum Inhalt haben (vgl. Aufzählung in der Leistungsbeschreibung zu AP 2), werden in den analysierten Projekten nicht herangezogen. Obwohl 5Di und vor allem ForBAU einen Blick auf benachbarte technische Domänen, (in erster Linie auf die Automobilindustrie) richten, bleiben die dortigen Ansätze und Standardisierungsaktivitäten zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit unerwähnt, z. B. die mehrteiligen VDA-Empfehlungen 4958¹⁴. Das Arbeitspaket 2 wird helfen, den einschlägigen Standards die nötige Aufmerksamkeit zu verschaffen.

Positiv für die Langzeitnutzbarkeit sind vor allem die Bemühungen zu bewerten, die die Integration von Produkt- und Prozessmodellen und den zugehörigen Datenmodellen sowie deren Standardisierung vorantreiben. Jedoch divergieren die Ansätze noch und lassen bisher eine Reihe von bedeutenden Fragen für die Langzeitnutzung offen, z. B. wie die Integrität, Authentizität und Vertraulichkeit von Daten in virtuellen Projektorganisationen technisch, organisatorisch und rechtlich gesichert werden können. Außerdem ist bisher eine übergeordnete und klare Strategie zur Integration weder organisatorisch noch inhaltlich erkennbar, was sich u. a. in einem fehlenden umfassenden Referenzmodell ausdrückt, das Anforderungen, Prozesse und Produkte sowie eine Vorgehensweise in Richtung Spezialisierung und Implementierung einheitlich und hinreichend abstrakt beschreibt. Diese Mängel und die Aktivitäten zu ihrer Beseitigung sind bei der Entwicklung von Lösungskonzepten für die Langzeitnutzung digitaler Informationen zu berücksichtigen. Die einschlägigen Standards zur digitalen Langzeitnutzung können hierfür Hilfe bieten.

Zusammenfassend zeigt die durchgeführte Analyse, dass beim jetzigen Entwicklungsstand die Potenziale, die eine langfristige Verfügbarkeit digitaler Informationen bietet, wie in der einleitenden Motivation für dieses Projekt dargelegt, nur schwer genutzt werden können. Die Analyse legt aber auch strukturiert dar, welche Ansatzpunkte für die Entwicklung von Lösungen in den untersuchten Projekten und Initiativen bereits vorhanden sind.

¹³ Das dreijährige EU-Forschungsprojekt DURARK (Durable Architectural Knowledge) mit Beginn 02.2013 hingegen hat die Langzeiterhaltung (Long-Term Preservation) digitaler 3D-Architekturdaten zum Thema. Ergebnisse sind auf den offiziellen Internetseiten zum Zeitpunkt des Zugriffs nicht veröffentlicht. duraark.eu (Zugriff am 17.09.2013)

¹⁴ siehe Arbeitskreis PLM im VDA www.vda.de/de/verband/fachabteilungen/logistik/infos/plm (Zugriff am 17.09.2013)

5 Ergebnisse zum Arbeitspaket 2 (AP 2)

Dieses Arbeitspaket umfasst die Analyse des Standes der Standardisierung zum Thema Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen. Wie im Resümee zum Arbeitspaket 1 festgestellt, spielen die vorhandenen Standards zur digitalen Langzeitarchivierung bisher in den Projekten und Implementierungen zum Informationsmanagement im Bauwesen keine Rolle, obwohl sie hierfür offensichtlich Hilfestellung liefern können, insbesondere wenn der gesamte Lebenszyklus von Bauwerken im Fokus steht.

Die folgenden Abschnitte stellen die aktuellen Standardisierungsarbeiten vor, so dass deren Anwendbarkeit auch im Bauwesen bezüglich technischer und organisatorischer Aspekte erkennbar wird und im Arbeitspaket 3 näher ausgearbeitet werden kann.

5.1 OAIS – Open Archival Information System (ISO 14721)

5.1.1 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 DURAARK), sowie für Standards, die das Referenzmodell für allgemeine und fachspezifische Anwendungen erweitern und verfeinern, wie dieses Arbeitspaket noch zeigen wird. Im Arbeitspaket 1 kam das OAIS-RM bereits zur Anwendung, um strukturiert und vergleichbar zu analysieren, inwieweit im Bereich Bauwesen bisher Methoden und Mittel genannt werden, die speziell der digitalen Langzeitnutzung dienen. Die folgenden Ausführungen vertiefen die bisherige Darstellung aus Abschnitt 4.1 zur Entwicklung einer Vorgehensweise für die Analyse. Zum besseren Verständnis der eher abstrakten Konzepte finden sich zusätzliche Erläuterungen und Diskussionsbeiträge.

5.1.2 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 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 effiziente 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 (Industrie Foundation Classes). Eine andere Möglichkeit der semantischen Anreicherung ist die *Auszeichnung (Markup)* von Formatelementen, so wie es beispielsweise die Multimodell-Container von Mefisto vorsehen (siehe Abschn. 4.3). 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 Interpretati-

on 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 für diese Art von *Repräsentationsinformationen*.

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 Informationsobjekte, 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 ggf., 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 i. A. 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*)

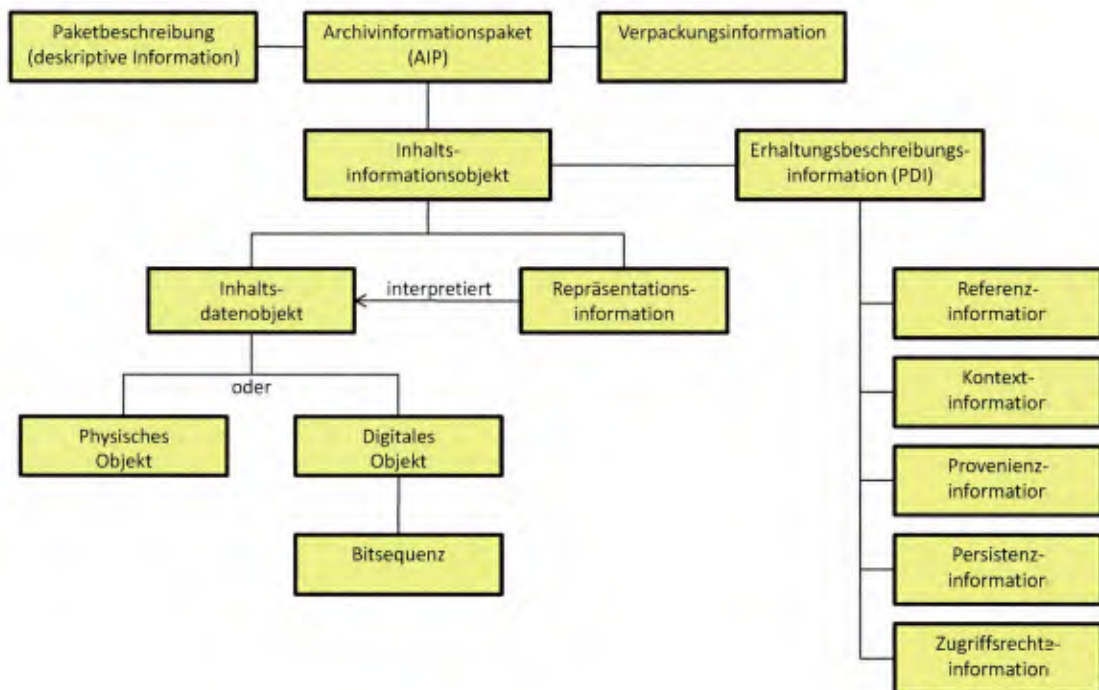


Abb. 2: Aufbau eines Archivinformationspakets (Archival Information Package – AIP)

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 anzufordern 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*.

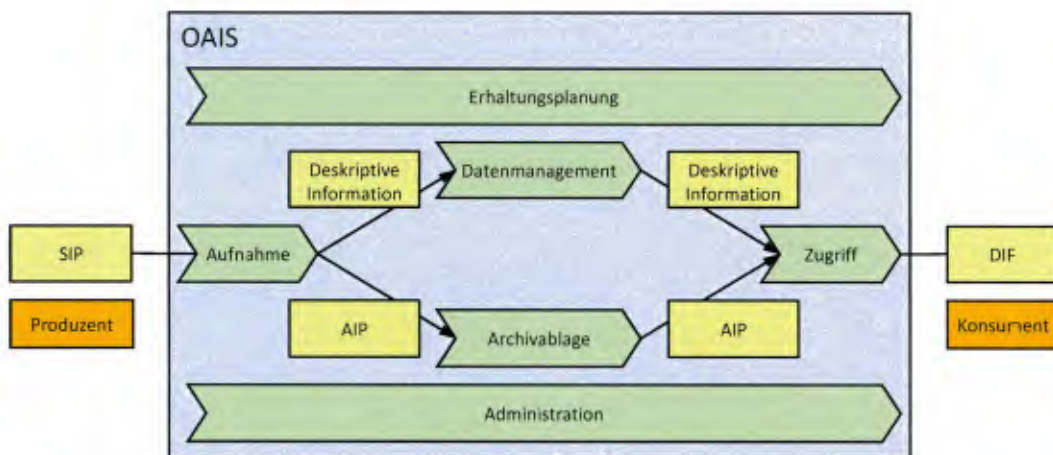


Abb. 3: Die sechs funktionalen Einheiten eines OAIS

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].

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, und 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 erforderlich werden, wenn für bestimmte Formate die erforderliche Software nicht mehr läuft und eine *Emulation* ausscheidet.

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].

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 im hohen 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* bildet 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.

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* i. A. 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. Aktuell laufen Aktivitäten, die Portierbarkeit von *Emulatoren* zu erleichtern, wie im Projekt KEEP (*Keeping Emulation Environments Portable*)¹⁵. 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 *Universeile Virtuelle Computer* (UVC). Eine ausführliche deutschsprachige Darstellung und Diskussion zur

¹⁵ siehe www.keep-project.eu

Emulation und alternativen Ansätzen enthält [Borg2003, Kap. 4]. Aktuelle und vertiefte technische Informationen zum UVC liefert [Kreb2012].

5.2 Producer-archive interface - Methodology abstract standard (ISO 20652)

5.2.1 Einführung

Dieser Standard wurde, wie das OAIS-RM, ebenfalls vom CCSDS als Empfehlung (Recommendation) entwickelt und als internationale Norm verabschiedet [ISO 20652:2006]. Sie fügt sich nahtlos in das OAIS-RM ein, indem sie die dort eingeführte Terminologie übernimmt und die beiden funktionalen Einheiten *Administration (Administration)* und *Aufnahme (Ingest)* verfeinert. Der Standard reflektiert die Erkenntnis, dass der Transfer zwischen *Informationsproduzenten* und Archiven in der Regel mit Problemen behaftet ist. Der Standard nennt hierzu einige Beispiele:

- Die eingelieferten digitalen Objekte entsprechen nicht den Erwartungen des Archivs.
- Es ist nicht klar definiert, was der *Produzent* abliefert.
- Der *Produzent* hält den Zeitplan für die *Einlieferung* nicht ein.
- Fehler beim *Transfer* werden durch das Archiv zu spät oder erst bei der Nutzung entdeckt.

Solche Probleme sind gerade im Bauwesen wegen der Komplexität und Verteiltheit der Informationen und der volatilen Organisationsformen zu erwarten. Die Entwicklung einer Standardmethode soll diese Art von Problemen reduzieren. Der Standard gibt auch Hinweise, wie sich aus der standardisierten abstrakten Methode eine anwendungsspezifische entwickeln lässt. Weitere Informationen zum Transferprozess finden sich u. a. in der DIN-Norm *Leitfaden zur Informationsübernahme in digitale Langzeitarchive* [DIN 31645:2011-11].

5.2.2 Inhalt

Der Standard liefert einen domänenneutralen, methodischen Rahmen für die Beziehung zwischen *Informationsproduzenten (Producer)* und Archiven im Sinne des OAIS-RM. Der *Produzent* kann z. B. ein Planungsbüro sein und das Archiv eine Organisationseinheit einer öffentlichen Bauverwaltung. Der Standard nimmt an, dass ein *Produzent* durch einen Verantwortlichen vertreten wird und ein eigenes Management besitzt. Das Management definiert die Ziele und Verantwortlichkeiten bezüglich der Aktivitäten des *Produzenten* und sorgt für die nötigen Ressourcen. Die Beziehungen zu den *Produzenten* können unterschiedlicher Natur sein. Eine Archivierung kann z. B. auf freiwilliger, vertraglicher oder gesetzlicher Basis stattfinden. Dementsprechend fallen die Verhandlungen zu Übereinkünften aus, die als Ergebnis zu einer *Einlieferungsübereinkunft (Submission Agreement)* führen sollen. Solche Vereinbarungen beschreiben präzise und vollständig, welche Datenobjekte übertragen werden und wie der Transfer abläuft. Finden mit den *Produzenten* keine Verhandlungen statt (z. B. bei der Sammlung von Web-Inhalten), legt ein Archiv die entsprechenden Regelungen fest. Ein *Produzent-Archiv-Projekt (Producer-Archive Project)* umfasst eine Reihe von Aktivitäten sowie Mittel des *Produzenten* und des Archivs, um eine festgelegte Menge an Informationen in das Archiv zu übertragen. Diese Informationen beinhalten die primären Informationen, welche

Gegenstand der Erhaltung sind, und zusätzliche Informationen, die nötig sind, um *Archivierungsinformationsspakete* (*Archival Information Package – AIP*) zu erstellen, wie *Repräsentationsinformationen* oder *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (*Preservation Description Information – PDI*) (siehe Informationsmodell des OAIS-RM).

Einen breiten Raum nimmt die Beschreibung der Interaktionen zwischen *Produzenten* und Archiven ein. Der Standard untergliedert dieses Zusammenwirken in vier Phasen:

- 1) Die *Vorphase* (*Preliminary Phase*) beinhaltet den ersten Kontakt zwischen *Produzenten* und Archiven und daraus resultierend eine Machbarkeitsstudie, eine vorläufige Definition des Projektrahmens, einen Entwurf der Definition von *Einlieferungsinformationsspaketen* (*Submission Information Package – SIP*) und einen Entwurf der *Einlieferungsübereinkunft*. Zu dieser Phase zählt auch die Identifizierung der *Bestimmten Gemeinschaft* (*Designated Community*).
- 2) Die *Formale Definitionsphase* (*Formal Definition Phase*) umfasst die Vervollständigung des Konzeptes (Design) der SIPs durch präzise Definition der zu liefernden digitalen Objekte sowie die Vervollständigung der *Einlieferungsübereinkunft* durch genaue vertragliche Regelungen des Transfers, wie Zugriffsbeschränkungen oder Zeitpläne für die Ablieferung.
- 3) Die *Transferphase* (*Transfer Phase*) leistet den eigentlichen Transfer der SIPs vom *Produzenten* zum Archiv sowie die Vorbereitung der SIPs entsprechend der *Einlieferungsübereinkunft*.
- 4) Die *Validierungsphase* (*Validation Phase*) beinhaltet die eigentliche Validierung der SIPs durch das Archiv und alle Nachbearbeitungen mit dem *Produzenten*. Hierzu können verschiedene systematische und in der Tiefe abgestufte Validierungen definiert sein. Je nach Randbedingungen können die Validierungen gleich nach jeder Einlieferung oder erst später durchgeführt werden.

Die Phasen werden in chronologischer Ordnung ausgeführt, wobei sich die *Transferphase* mit der *Validierungsphase* überlappen kann. Die Phasen unterteilen sich in Unterphasen und strukturieren die detailliert beschriebenen Einzelaktionen der Interaktion zwischen *Produzenten* und Archiven. Die Einzelaktionen können innerhalb einer Phase in beliebiger Reihenfolge ablaufen. Die Aktivitäten adressieren auch Fragen zu erforderlichen Ressourcen, Kosten, rechtlichen Aspekten und Risiken.

5.3 Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive (DIN 31644)

5.3.1 Einführung

Der Forderung nach Vertrauenswürdigkeit der Informationsverarbeitung kommt im Bauwesen besondere Bedeutung zu. Effektives und wirtschaftliches Bauen verlangt ein hohes Maß an Integration von Daten aus unterschiedlichsten Quellen sowie eine lebenszyklusbegleitende und damit in der Regel langfristige Nutzbarkeit digitaler und ggf. analoger Informationen. Daraus ergeben sich spezielle Herausforderungen an die Integrität, Vertraulichkeit, Authentizität, Vollständigkeit und – vor allem durch die Langfristigkeit bedingt – Interpretierbarkeit der Daten. Die damit verbundenen Fragestellungen lassen sich nicht auf ein Produkt oder gar

ein Format reduzieren, sondern können nur durch ein entsprechend leistungsfähiges und auf Langfristigkeit ausgelegtes soziotechnisches System gelöst werden. Dadurch kommen für eine Systembewertung Kategorien, wie Verlässlichkeit, Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit, ins Spiel. Um die Vertrauenswürdigkeit eines digitalen Langzeitarchivs einer Bewertbarkeit und ggf. einer Zertifizierbarkeit zugänglich zu machen, können Entscheider, *Informationsproduzenten* und *Informationskonsumenten* auf die DIN-Norm *Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive* [DIN 31644:2012-04] zurückgreifen. Eine ausführliche Darstellung der Hintergründe zu dieser Norm einschließlich einer Betrachtung internationaler Aktivitäten, wie *Audit and Certification Of Trustworthy Digital Repositories* [ISO16363:2012], sowie eine Erläuterung der einzelnen Kriterien liefert der Kommentar zur oben genannten DIN-Norm 31644 [Keit2013].

5.3.2 Inhalt

Zentraler Gegenstand sind vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive. Der Norm nach ist ein digitales Langzeitarchiv vertrauenswürdig, wenn es gemäß seinen Zielen und Spezifikationen zum Informationserhalt über lange Zeiträume hinweg operiert und seine Nutzer, Produzenten, Betreiber, Partner ihm dieses zutrauen. Die Norm lehnt sich eng an die Begrifflichkeiten sowie an das Funktionsmodell und das Informationsmodell des OAIS-RM an. Ein Archiv ist hier ebenfalls eine Organisation, bestehend aus Personen und technischen Systemen, die die Verantwortung für den Langzeiterhalt und die Langzeitverfügbarkeit von Information in digitaler Form sowie für die Bereitstellung für eine bestimmte Zielgruppe übernommen hat. *Langzeit* bedeutet hier über Änderungen in der Technik und in der Zielgruppe hinweg. Beim Informationsmodell des OAIS-RM kommt es zu Abweichungen, da sich die Kriterien nicht auf *Informationsobjekte* beziehen, sondern – implementierungsnäher – auf Daten. Statt *Informationsobjekte* zu Inhalten (hierzu zählen auch *Repräsentationsinformationen*) und zu *Erhaltungsbeschreibungen* (PDI), finden sich einerseits *Inhaltsdaten* und andererseits *Metadaten*, letztere unterteilt in beschreibende, strukturelle, technische und administrative. Aus den *Informationspaketen* werden *Pakete*, nämlich *Transferpaket*, *Archivpaket* und *Nutzungspaket*, die sich aber in funktionaler Hinsicht direkt den Definitionen des OAIS-RM zuordnen lassen, nämlich SIP, AIP und DIP. Dennoch bleiben die Kernkonzepte des OAIS-RM erhalten, wie die Sicherstellung der Interpretierbarkeit digitaler Objekte sowie der Integrität und Authentizität der Daten. Für die Bewertung des vertrauenswürdigen Umgangs mit *Informationsobjekten* und deren *Repräsentationen* definiert der Standard 20 Einzelkriterien. Hinzu kommen zwei Kriterien für die Infrastruktur und Sicherheit.

Eine Erweiterung bzw. Konkretisierung erfährt das OAIS-RM in organisatorischer Hinsicht, indem zusätzliche Kriterien einen Handlungsrahmen für digitale Langzeitarchive abstecken, der aus einer Zieldefinition, aus rechtlichen Bedingungen sowie personellen und finanziellen Ressourcen besteht. Die zwölf weiteren Kriterien betreffen:

- a) die Ziele eines Langzeitarchivs, mit den Kriterien:
 - 1) Auswahl der *digitalen Objekte*
 - 2) Verantwortung für den Erhalt
 - 3) Zielgruppen
- b) die angemessene Nutzung der *Informationsobjekte* und ihrer *Repräsentation*, mit den Kriterien:

- 4) Zugang
- 5) Interpretierbarkeit
- c) die gesetzlichen und vertraglichen Regelungen, mit den Kriterien:
 - 6) Rechtliche und vertragliche Basis
 - 7) Rechtskonformität
- d) die Planungen des digitalen Langzeitarchivs, mit den Kriterien:
 - 8) Finanzierung
 - 9) Personal
 - 10) Organisation und Prozesse
 - 11) Erhaltungsmaßnahmen
 - 12) Krisen-/Nachfolgeregelung.

In den informativen Anhängen der Norm finden sich Beispiele für Ausprägungen von digitalen Langzeitarchiven sowie für alle 34 Einzelkriterien.

5.4 Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (DIN 31646)

5.4.1 Einführung

Einen elementaren Baustein in einem lebenszyklusbegleitenden Informationsmanagement bildet die beständige Identifizierung digitaler Ressourcen im Netz. *Tote Links* (404-Fehler) und falsche Links, wie sie bei der Nutzung von URLs (*Uniform Resource Locator*) auftreten, sind nicht nur ein Ärgernis, sondern eine ernsthafte Bedrohung für den Erhalt der Informationen sowie die Integrität und Authentizität der zugrundeliegenden Daten, insbesondere in virtuellen Organisationsformen und bei virtuellen digitalen Informationsobjekten. So werden *Archivinformationspakete* (AIP) (siehe OAIS-RM) in größeren Sammlungen virtuell aufgebaut sein, um beispielsweise hochgradige Redundanzen an *Repräsentationsinformationen* zu vermeiden und um deren Pflege an dedizierte Dienste bzw. Dienstleister delegieren zu können. Eine dauerhafte Referenz kann durch eine Abtrennung der Angabe des Speicherortes erreicht werden, was einen zwischengeschalteten Dienst erfordert, der über technologische und organisatorische Änderungen hinweg die Zuordnung vom Namen einer Ressource zur aktuellen Speicheradresse sicherstellt. Solche *Resolver-Dienste* benötigen eine dauerhafte und verlässliche technische und organisatorische Infrastruktur und darüber hinaus Vereinbarungen mit den Betreibern der Datenquellen. Dieser Thematik widmet sich die DIN-Norm *Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (Persistent Identifier)* [DIN 31646:2013-01]. Eine Übersicht bereits implementierter Verfahren enthält [Borg2009, Kap. 7.4].

5.4.2 Inhalt

Diese Norm beschäftigt sich mit der Prüfung der Vertrauenswürdigkeit der *Basisdienste* von Persistent Identifier-Systemen (PI-System) im Kontext der digitalen Langzeitarchivierung. Ein PI-System ist definiert als eine aufeinander bezogene Kombination von Geschäftsregeln (Policy), PI-Registrierung, *Resolver Services (Resolver-Dienste)* und Datenquellen, welche für die Verwaltung und Nutzung von persistenten Identifikatoren verwendet werden. Der

Resolver ist laut Norm ein System, das PI registriert und auflöst, indem es auf Anfragen die Verknüpfungsdaten (derzeit URL) des PI mit den Angaben zur jeweils aktuellen Speicheradresse des Objekts zurückgibt. Die *Basisdienste* umfassen alle notwendigen Komponenten eines *Resolver*-Dienstes zur dauerhaften Verknüpfung der Identifikatoren mit den referenzierten Objekten. Mehrwertdienste hingegen erweitern die Funktionalität, ohne die Basisdienste beeinträchtigen zu dürfen; beispielsweise könnte sich die PI-Registrierung auf zusätzliche Metadaten erstrecken. Die *Basisdienste* erfordern folgende Hauptprozesse:

- 1) Namensvergabe und Verwaltung
- 2) PI-Registrierung
- 3) Periodische Prüfung der Gültigkeit der Zugriffsadressen
- 4) Änderungsmeldungen des Betreibers der Datenquelle
- 5) Administration und Monitoring des Systems.

Die in der Norm definierten obligatorischen und optionalen Kriterien beziehen sich auf diese Prozesse, betrachten aber auch übergeordnete Aspekte zur Dauerhaftigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Handhabung *persistenter Identifikatoren*. Die Kriterien sind wie folgt untergliedert:

- 1) Organisatorischer Rahmen
- 2) Umgang mit *persistenten Identifikatoren*
- 3) Umgang mit den Objekten
- 4) *Resolver-Dienste*
- 5) Infrastruktur und Sicherheit.

Darüber hinaus bietet der informative Anhang A der Norm Hilfestellungen zur Erarbeitung einer PI-Policy für *Resolver-Betreiber* und Anhang B diskutiert die Verwendung von *Fragment Identifier* (FI) in *Uniform Resource Names* (URN) und anderen PI-Systemen. Die Adressierung von Fragmenten bzw. Subobjekten wird im Bauwesen aufgrund der Strukturen der digitalen Objekte, z. B. wegen der Abbildung von Fachsichten oder der komplexen Bauwerksstrukturen, näher zu untersuchen sein.

5.5 LOTAR – Long Term Archiving and Retrieval (EN 9300)

5.5.1 Einführung

LOTAR (*Long Term Archiving and Retrieval*) *International*¹⁶ ist ein internationales Konsortium europäischer und US-amerikanischer Unternehmen der Luftfahrt-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie, mit dem Ziel, einen mehrteiligen Standard für die Archivierung von 3D-CAD-Modellen und Informationen aus Produktdatenmanagementsystem (PDM) zu entwickeln. Die Standardisierungsarbeiten stützen sich explizit in hohem Maß auf die bestehenden Standards STEP und OAIS-RM [DIN EN 9300-003:2012, S. 13]. Der umfangreiche LOTAR-Standard befindet sich in weiten Teilen noch in Entwicklung; einen aktuellen Überblick liefert der offizielle Web-Auftritt. Teile des Standards haben Eingang in die europäische Normierung gefunden, und entsprechend der Geschäftsordnung von CEN (Comité Européen de Normalisation) auch in die deutsche Normung. Um eine grundsätzliche Bewertung in Bezug auf das Bauwesen vornehmen zu können, soll die einführende Norm DIN EN 9300-003

¹⁶ siehe www.lotar-organisation.org (Zugriff am 04.11.2013)

LOTAR – Langzeit-Archivierung und -Bereitstellung digitaler technischer Produktdokumentation, wie zum Beispiel von 3D-, CAD- und PDM-Daten – Teil 003: Grundlagen und Konzepte vorgestellt werden [DIN EN 9300-003:2012].

5.5.2 Inhalt

Die Norm DIN EN 9300-003 definiert Grundbegriffe, legt den Kontext der Normenreihe EN 9300 fest und erläutert dabei die Rolle der anderen Bestandteile der EN 9300. Der Schwerpunkt der Begriffsdefinitionen behandelt die Unterscheidung zwischen *Speicherung (Retention)* und Langzeitarchivierung. Die Gegenüberstellung betrifft nicht nur die Zeiträume, sondern auch rechtliche und betriebliche Anforderungen, die gespeicherten Formen (differenziert nach *Detailniveau, Darstellung* und *Format*) und die *Invarianz*. Die *Invarianz* bezieht sich auf die Notwendigkeit, sicherzustellen, dass sich die Informationen nicht geändert haben und daher die Beweiskraft besitzen, dass sich die *Konstruktionsabsicht (Design intent)* nicht geändert hat. Die *Darstellung* beispielsweise untergliedert sich weiter in *native Darstellung, abgeleitete Darstellung* und *Präsentation*. Eine *native Darstellung* ist diejenige, die vom Quellsystem erstellt und für dieses spezifisch ist. Eine *abgeleitete Darstellung* ist eine Umwandlung von Originaldateien. *Präsentationen* sind visuelle Darstellungen von Daten für den Anwender. Unterschiede bei *Speicherung* und Langzeitarchivierung nennt die Norm u. a. bezüglich der *Invarianz*, die bei der *Speicherung* zwar erwartet wird, aber im Gegensatz zur Langzeitarchivierung nicht zwingend erforderlich ist. *Präsentationen* sind beispielsweise für die *Speicherung* nicht erforderlich und für die Langzeitarchivierung optional. Die Unterteilung des Zeitraums der Datenspeicherung orientiert sich an den Lebenszyklen von Hard- und Software (vor allem bei CAD-Systemen), der im Vergleich zu den Zyklen in der Luftfahrt-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie, mit 30 bis 50 oder mehr Jahren, kurz ist. Folgende Zeiträume sind definiert: *kurzfristig* – ein Zeitraum von ein oder zwei Versionen, *mittelfristig* – ein Zeitraum einer Generation, *langfristig* – über mehrere Generationen hinweg. Ein Generationswechsel ist durch eine grundsätzliche Änderung der Software charakterisiert und kann zur Verwendung neuer Datenformate führen. Basierend auf den auszugsweise vorgestellten Begriffsdefinitionen wird der Anwendungsbereich der EN 9300 wie folgt beschrieben:

- Die Gründe für die Archivierung digitaler Daten umfassen betriebliche und zulassungstechnische sowie rechtliche Anforderungen, wobei Daten für die Wiederverwendung verfügbar gehalten und die Originalinformationen aufbewahrt werden.
- Es wird eine *exakte Darstellung* gespeichert. Eine *approximative Darstellung* kann gespeichert werden, um die Geometrie von nach einer *Speicherung* wiederhergestellten Dateien zu validieren. Die Aufbewahrung der *nativen Darstellung* ist nur bei kurz- und mittelfristigen Zeiträumen relevant. Eine Visualisierung (*Präsentation*) unterstützt den Bereitstellungsprozess und ist optional.
- Speicherung für *lange* Zeiträume.
- Damit betriebliche und zulassungstechnische Anforderungen erfüllt werden, muss die *Invarianz* auditierbar sein.

Die Normenreihe EN 9300 dient in erster Linie dem Erhalt von Modellinformationen und nicht von herkömmlichen (rechtsrelevanten) Dokumenten. Die Norm weist darauf hin, dass ein hohes Maß an Information über die Daten und auch in der für die Erstellung und Veränderung verwendeten Software stecke (vgl. die Ausführungen zur *Emulation* im Abschn.

5.1.2) und dass der Datentransfer zwischen Systemen und verschiedenen Systemgenerationen eine gewisse Fehleranfälligkeit aufweisen könne.

Neben der Definition von Grundbegriffen widmet sich der Standard Prozessen und Daten. Ausgangspunkte sind hierbei die *betrieblichen Anforderungen (Business Requirements)*, wie Zertifizierung oder Unterstützung eines Produktlebenszyklus. Daraus leiten sich *Business Cases* zur Langzeitarchivierung ab, wie die Aufbewahrung einer 3D-Geometrie oder eines ganzen *CAD-Satzes*. Zur betrieblichen Bewertung der Archivierung dienen Kernmodelle, welche ein unentbehrliches Minimum an Daten festlegen, um die jeweiligen *Business Cases* zu unterstützen. EN 9300 lehnt sich an das OAIS-RM an, indem es eine Teilmenge des RM näher ausführt, nämlich die Funktionen *Einlieferung, Archivierung, Auslieferung* und *teilweise Zugriff*. Diese Prozesse verarbeiten *OAIS-Informationspakete* für die *Einlieferung (SIP), Archivierung (AIP)* und *Auslieferung (DIP)*; ausgeklammert bleiben die *Erhaltungsplanung, das Datenmanagement* und die *Administration*. Der Dateninhalt der *Informationspakete* ist in vier Kategorien eingeteilt, nämlich das Kernmodell, die erforderlichen *Metadaten*, die Daten zur technischen Zulassung und die Validierungsinformationen. Die Norm skizziert hierzu den Aufbau eines AIP und eine mögliche Erweiterung des Kernmodells um weitere Formate und Informationen. Bezüglich der Daten adressiert die Norm auch Aspekte, wie die Abgrenzung einer Archivierung von Produktmodellen und herkömmlichen Dokumenten, den Verlust von Inhalten, das Auftreten von Softwarefehlern, die Darstellung reeller Zahlen und den Verlust an Herkunftsinformationen. Bezüglich der Datenformate empfiehlt die Norm für eine Archivierung offene und standardisierte Formate. Als ein Argument für die Standardisierung werden die geregelten Änderungsprozesse angeführt. Für eine Aufzeichnung im Archiv verweist die Norm auf die Verwendung von STEP; die native und somit systemabhängige 3D-Darstellung der Modellgeometrie hingegen liegt außerhalb des Bereichs der Norm.

Weitere Themen betreffen digitale Signaturen, *Informationspakete* zur Beschreibung der Erhaltung (PDI) und den Einsatz von Submodellen bei komplexen Produktmodellen. Breiteren Raum nimmt die Qualitätssicherung der Daten ein. Dabei wird aus dem OAIS-RM eine Folge von Archivierungsphasen abgeleitet, innerhalb derer die Daten von einer Darstellungsart in eine andere konvertiert werden, z. B. SIP nach AIP. Hierfür enthält der Standard die Definition von Validierungseigenschaften sowie die Definition und Anwendung von Verifizierungsregeln. Wegen der hohen Anforderungen an die Datenqualität, die sich aus der Sicherstellung der langfristigen Interpretierbarkeit der archivierten Daten ergibt, beschreibt der Standard auch die Prüfung von LOTAR-Prozessen und -Komponenten. Ziel ist dabei die Zertifizierung einer gesamten LOTAR-Umgebung.

5.6 Resümee zum Arbeitspaket 2

Die Darstellung der Standards lässt deutlich erkennen, dass sie bereits erhebliches Potenzial für die Entwicklung von Konzepten, Standards und Implementierungen für die lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen besitzen. So erlaubt der ausgeprägt deskriptive Charakter der besprochenen Normen einen vertieften Einblick in die Problemstellung der digitalen Langzeitarchivierung. Beispielsweise diskutiert das OAIS-RM verschiedene Methoden der Langzeiterhaltung, wie *Migration* oder *Emulation*, und weist dabei auf kritische Aspekte und offene Fragestellungen hin und kann somit beitragen, das Problembewusstsein der Verantwortlichen zu schärfen. Darüber hinaus kann der Bezug auf ein umfassendes Referenzmodell, wie mit dem OAIS-RM gegeben, ein gemeinsames Verständnis herstellen,

was sich in einem heterogenen und volatilen Umfeld, wie dem Bauwesen, als Vorteil erweisen wird. Die vorgestellten Normen verdeutlichen auch, dass neben technischen Fragestellungen zusätzlich organisatorische Aspekte zu berücksichtigen sind, die sowohl das Management als auch die operative Ebene betreffen. Es wird auch klar, dass die Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit zusätzliche Kompetenzen und Ressourcen erfordert, die zumindest *kleinste* und *kleine* Unternehmen des Bauwesens nicht bereitstellen können. Die EN 9300 demonstriert, wie ein generisches Referenzmodell in eine technische Domäne übertragen werden kann. Sie lässt auch eine Reihe von Überschneidungen mit den Problemstellungen im Bauwesen erkennen, die sich für die Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen als relevant erweisen.

Da die vorgestellten Standards bereits ein breites Spektrum der digitalen Langzeitnutzung abdecken, eignen sie sich, die diesbezüglichen Lücken und Mängel im Bauwesen zu identifizieren, strukturieren und beschreiben. Darüber hinaus bieten die generischen Standards eine Basis für bauspezifische Konkretisierungen. Ausführungen hierzu liefert das Arbeitspaket 3.

6 Ergebnisse zum Arbeitspaket 3 (AP 3)

Einerseits hat die Analyse in AP 1 gezeigt, dass dedizierte Maßnahmen zur Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen praktisch nicht existieren und dass diesbezüglich die teilweise seit über zehn Jahren vorhandenen Standards keine Anwendung finden. Andererseits hat die Analyse aus AP 2 verdeutlicht, dass die verfügbaren Standards maßgebliche Hilfe bei der Etablierung abgestimmter Methoden im Bauwesen leisten können. Dieses Arbeitspaket umfasst eine Mängelanalyse bezüglich der digitalen Langzeitnutzung im Bauwesen an Hand der besprochenen Standards. Des Weiteren werden bauspezifische Konkretisierungen der generischen bzw. abstrakten Aspekte dieser Standards skizziert, um deren Anwendungspotenzial zu illustrieren. Schließlich folgen Vorschläge für ein weiteres Vorgehen im Standardisierungsprozess (Roadmap).

6.1 Mängelanalyse und Mängelbeseitigung durch Standards

6.1.1 OAIS (ISO 14721)

Da im Bauwesen keine konzeptionelle Basis für die digitale Langzeitnutzung erkennbar ist, kann das OAIS-Referenzmodell (OAIS-RM) diesen Mangel beseitigen. Aufgrund verschiedener Merkmale eignet es sich zur Erkennung und Beseitigung von Defiziten besonders: Es ist bezüglich der Kernprobleme umfassend und abstrakt genug, um einen Top-Down-Ansatz, den diese vielseitige Problemstellung erfordert, zu verfolgen und um bereits vorhandene Ansätze und unterstützende (implizite) Lösungen (vgl. Analyseaspekt 3 in AP 1) einzuordnen und vergleichbar zu machen. Darüber hinaus ist dieses Referenzmodell etabliert und dient als Leitfaden für Systementwicklungen und als Ausgangsbasis für weitere generische und fachspezifische Standardisierungen. Der deskriptive Charakter der Norm unterstützt auch die Schaffung von Problembewusstsein (*awareness building*), das im Bauwesen nach den bisherigen Analysen den Vorteilen der digitalen Langzeitnutzung gegenüber nicht angemessen ausgeprägt ist.

Ein wesentlicher Vorteil des OAIS-RM liegt in der Betrachtung der Kernproblematik der Langzeitnutzung digitaler Informationen, nämlich der Aufrechterhaltung der Interpretierbarkeit von Bitfolgen über technische Veränderungen hinweg sowie der Verständlichkeit durch den *Informationskonsumenten*, unabhängig vom *Informationsproduzenten*. Das OAIS-RM definiert dazu ein Informationsmodell, dessen Handhabung in einem funktionalen Modell und einem organisatorischem Rahmen eingebettet ist.

Die bisherigen, unterstützenden (impliziten) Teillösungen aus AP 1 (Analyseaspekt 3) können den Modellelementen des OAIS-RM wie folgt zugeordnet werden:

- Die *Mefisto-Multimodell-Container* unterstützen den vereinheitlichten Aufbau von *Informationspaketen* indem sie *Verpackungsinformationen* und teilweise *Repräsentationsinformationen* liefern.
- Die *Industry Foundation Classes (IFC)* unterstützen ebenfalls den Aufbau von *Informationspaketen*. Sie sind in der Lage, Teile der *Inhaltsinformationen* darzustellen, da sie durch ihre Semantik imstande sind, *Repräsentationsinformationen* zu beschreiben.

- *Model View Definitions* (MVD) erleichtern durch eine einheitliche Methodik die Erstellung von *Informationspaketen* sowie die Transformation der verschiedenen Typen von *Informationspaketen*, wie im funktionalen Modell beschrieben, nämlich SIPs nach AIPs und AIPs nach DIPs.
- Globally Unique Identifiers (GUID) ermöglichen eine eindeutige Adressierung im Sinne von *Referenzinformationen* als Bestandteil der *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI).
- Die in verschiedenen Projekten rudimentär beschriebenen *Metadaten* unterstützen punktuell die Realisierung von *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI) und *deskriptiven Informationen*.
- Das Klassenmodell von IFC beinhaltet die Referenzierbarkeit von externen digitalen und analogen Dokumenten und erlaubt somit die Darstellung von *Kontextinformationen*.
- Die mehrfach erwähnte Rolle des BIM-Managers könnte auch Funktionen des OAIS-RM wahrnehmen.

Somit sind die bisherigen Ansätze und Lösungen in einem standardisierten Rahmen eingeordnet und erlauben dadurch ein strukturiertes Vorgehen bei einer weiteren bauspezifischen Standardisierung. Trotz der aufgezählten Teillösungen bleiben zahlreiche Aspekte, die das OAIS-RM für eine Langzeitnutzung als nötig erachtet, unerwähnt. Hierzu zählen insbesondere vollständige *Informationspakete*, und als deren elementare Bestandteile die *Repräsentationsinformationen*, sowie die *Erhaltungsplanung* mit der Beobachtung technischer Entwicklungen und Änderungen in den Anforderungen der Zielgruppen.

6.1.2 Producer-archive interface - Methodology abstract standard (ISO 20652)

Dieser Standard setzt direkt auf dem OAIS-RM auf und vermeidet somit Brüche in der Begrifflichkeit und in den Konzepten, insbesondere jene, die ein Informations- und Funktionsmodell betreffen. Er adressiert die äußerst kritische Schnittstelle zwischen *Informationsproduzent* und Archiv in einem System zur digitalen Langzeitnutzung. Die komplexen Fachmodelle, die außergewöhnliche Arbeitsteilung in Deutschland und die flüchtigen Beziehungen der Akteure im Bauwesen erschweren einen Informationsübergang erheblich. Dieser Methoden-Standard lässt trotz seiner Abstraktion klar erkennen, welche Lücken im Bauwesen bei der Schnittstellengestaltung bestehen und mit welchen Maßnahmen eine Verbesserung der Situation herbeigeführt werden kann. Es fehlt insbesondere Klarheit darüber, welche Informationen in welcher Qualität langfristig gebraucht werden. Demnach ist es auch nicht möglich, die nötigen *Einlieferungsübereinkünfte* zu treffen. Der Standard kann als konzeptionelle Erweiterung von IFD (Information Delivery Manual) um Aspekte der Langzeitnutzbarkeit dienen.

6.1.3 Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive (DIN 31644)

Dieser Standard erweitert das OAIS-RM domänenneutral um Aspekte der Organisation, Sicherheit und Infrastruktur, um die Funktionsfähigkeit und Vertrauenswürdigkeit eines digitalen Langzeitarchivs sicherzustellen. Der Archivbegriff entspricht dem aus dem OAIS-RM, d. h. die Archivierung ist kein formaler Akt, sondern sichert die Nachnutzung von Informati-

onen entsprechend den definierten Bedürfnissen der Zielgruppen auch langfristig. Die Konzepte und Kriterien des Standards eignen sich daher unmittelbar für eine Anwendung auf das lebenszyklusbegleitende Informationsmanagement im Bauwesen.

Dedizierte Archive oder entsprechende und ggf. verteilt agierende Informationsmanager, die die im Standard genannten Prinzipien und Kriterien erfüllen, sind im Bauwesen aktuell nicht erkennbar. Der Standard kann helfen, die entsprechenden Aufgaben festzulegen und organisatorische Strukturen aufzubauen. Die Inhalte des Standards können in Kombination mit anderen Standards der digitalen Langzeitnutzung, vor allem mit dem OAIS-RM, als Ausgangsbasis für neue Dienstleistungen und innovative Geschäftsmodelle dienen. Herausragende Leistungen eines solchen Modells wären die zielgruppengerechte und kontinuierliche Feststellung des Informationsbedarfs und die Auswahl der entsprechenden digitalen Objekte sowie die Sicherstellung einer angemessenen Nutzung der Informationsobjekte insbesondere durch die langfristige Interpretierbarkeit der digitalen Objekte.

6.1.4 Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (DIN 31646)

Die dauerhafte Identifizierung digitaler Ressourcen stellt eine weitere Herausforderung dar, die auch im Bauwesen zu lösen ist. Welche Aspekte für eine langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (PI) zu betrachten sind, zeigt diese DIN-Norm auf. Die dauerhafte Referenzierung benötigt ein System, das aus mehreren technischen und organisatorischen Komponenten besteht, die sich nicht alle anwendungsneutral realisieren lassen. Spezifisch für das Bauwesen zu lösen sind u. a.:

- Namensvergabe und Verwaltung, die auch die Mitwirkung des Betreibers einer Datenquelle erfordert
- Registrierung der PI
- Metadaten für die Steuerung des Zugriffs, z. B. aus Gründen der Vertraulichkeit
- Adressierung von Fragmenten bzw. Subobjekten aufgrund der Strukturen der digitalen Objekte, z. B. wegen der Abbildung von Fachsichten oder der komplexen Bauwerksstrukturen.

Auch dieser Standard verdeutlicht, dass neben technischen Gesichtspunkten die Nachhaltigkeit einer Organisation zu betrachten ist.

6.1.5 LOTAR (EN 9300)

Die LOTAR-Standardisierung demonstriert die Übertragung von Konzepten des OAIS-RM in eine technische Domäne. Obwohl sich das Bauwesen in vielerlei Hinsicht von der Luftfahrt-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie unterscheidet, existieren auch nicht geringe Ähnlichkeiten, die eine nähere Betrachtung der Normenreihe EN 9300 rechtfertigen. So besitzen die Produkte dieses Industriezweiges eine erhebliche technische Komplexität und in einem bestimmten Maß ebenfalls den Charakter von Unikaten. Die Produktion ist darüber hinaus durch eine hohe Arbeitsteilung gekennzeichnet und in Teilbereichen nimmt, wie im Bauwesen, die Rolle des Auftraggebers und Betreibers die öffentliche Hand ein. Außerdem sind die Dauern für die Planung und Nutzung erheblich. Schließlich kommen für die Produktentwicklung ähnliche IT-Methoden und IT-Werkzeuge zum Einsatz, wie CAD- oder

Finite-Element-Systeme. Folgende Eigenschaften und Inhalte der EN 9300 können zur Mängelbeseitigung und eine Verbesserung im Bauwesen beitragen:

- Strukturierung einer technisch und organisatorisch komplexen Domäne und Modularisierung einer zugehörigen Standardisierung
- Fokussierung auf Produktmodelle, die auch im Bauwesen zunehmend an Bedeutung gewinnen (vgl. BIM)
- Einbindung von vorhandenen Techniken, Praktiken und Standards
- Festlegung von *Business Requirements* und *Business Cases* zur Fundierung der digitalen Langzeitnutzbarkeit
- Definition von Kernmodellen
- Konzeptionierung von *Informationspaketen* entsprechend dem Informationsmodell des OASIS-RM, insbesondere für die Archivierung, und deren Transformationen
- Einrichtung von Prüfprozessen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Normenreihe Teile der digitalen Langzeitnutzung ausklammert, wie in AP 2 dargelegt. Außerdem führt die LOTAR-Standardisierung klar vor Augen, mit welchen Schwierigkeiten die Langzeiterhaltung digitaler Informationen verbunden ist und welchen Aufwand ein Standardisierungsprozess benötigt. Dieser Aufwand lässt sich aber angesichts der volkswirtschaftlichen Bedeutung des Bauwesens mit Sicherheit rechtfertigen.

6.2 Bauspezifische Konkretisierungen

Dieser Abschnitt zeigt bauspezifische Konkretisierungen der generischen bzw. abstrakten Aspekte der bisherigen Standards zur Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen. Die Konkretisierungen dienen einerseits dem weiteren Verständnis der bisher besprochenen Konzepte und andererseits der Verdeutlichung künftiger Standardisierungsaktivitäten. Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt auf dem OASIS-RM, da es, wie oben ausgeführt, die Kernproblematik der digitalen Langzeiterhaltung adressiert.

Die Betrachtung beginnt mit den Komponenten der *Informationspakete* aus dem abstrakten und domänenunabhängigen OASIS-RM-Informationsmodell.

- 1) *Digitale Objekte*: Sie bilden in den meisten Umgebungen den Ausgang des Interpretationsprozesses. Als häufigste Organisationsform dienen Dateien, wie sie die üblichen Betriebssysteme durch das Dateisystem proprietär, portierbar (z. B. POSIX) oder durch eine *Emulation* (Dateisystemtreiber) bereitstellen. Zur Erzeugung und Interpretation dienen Anwendungsprogramme, die die Formatierung der Dateien und somit deren Inhalte kennen. Dateiformate bilden einen wesentlichen Bestandteil der *Repräsentationsinformationen*.
- 2) *Repräsentationsinformationen*: Erst durch die Anwendung dieser Informationen ergeben sich nach dem OASIS-RM Informationsobjekte. In der Regel sind die Inhalte von Dateien oder sonstigen Behältern nur interpretierbar, wenn die Formate bekannt sind, insbesondere wenn es sich um binäre Dateien oder Containerinhalte (z. B. *Binary Objects* in Datenbanksystemen) handelt. Ist die *Repräsentationsinformation* nur der Software bekannt,

bleibt als Erhaltungsmethode nur die *Emulation* übrig. Diese Methode ist nach jetzigem Stand angesichts der Komplexität und Spezifität der Anwendungen im Bauwesen als kritisch einzuordnen. Die Verfügbarkeit und Aufbewahrung von Quellcode ohne hinreichende Dokumentation erscheint ebenfalls problematisch, da schwer abzuschätzen ist, welche Werkzeuge, z. B. Compiler, in 40 oder mehr Jahren bereit stehen. Aus Sicht der Langzeitnutzung sind offene, präzise spezifizierte und semantisch reiche Formate ideal. Formatinformationen alleine sind im Allgemeinen nicht ausreichend. Je weniger strukturiert und beschrieben die Inhalte sind, desto mehr zusätzliche *Repräsentationsinformationen* müssen die *Informationspakete* aufnehmen, beispielsweise wenn die Inhalte bildlicher Art sind, wie bei Videoinspektionen. Aber auch die Beschreibung von Datenbank-schemata und ggf. die Definitionen der verwendeten Schemabeschreibungssprache zählen zu den *Repräsentationsinformationen* genauso wie die Dokumentation von Symbolen, die technische Zeichnungen oder Bild- und Videoaufnahmen als Einblendung enthalten. In die Kategorie der Repräsentationsinformationen fallen auch die Regeln bzw. Software zur Komprimierung und Verschlüsselung.

Eine weitere Komponente der *Informationspakete* bilden die *Erhaltungsbeschreibungsinformationen* (PDI) mit folgenden Bestandteilen:

- 1) *Referenzinformationen*: Unter dem Gesichtspunkt der Langzeitnutzung sind im Bauwesen Systeme zur persistenten Identifikation zu spezifizieren und zu implementieren, insbesondere wenn verteilte und lose gekoppelte Systeme installiert werden sollen (vgl. Architekturvorschläge der 5D-Initiative).
- 2) *Kontextinformationen*: Sie dokumentieren die Beziehungen von *Inhaltsinformationen* zu ihrer Umgebung. Beispiele sind:

- Verbindung von digitalen Bauwerken zu Geoinformationen
- Zusammenhang von digitalen Messdaten zu physischen Objekten wie Materialproben
- Bezug digitalisierter Pläne zu ihren analogen Originalen
- Verweis auf Normen und Standards, Handbücher oder Hilfedateien.

Kontextinformationen sollen auch dokumentieren, warum Inhalte erzeugt wurden. Gründe können sein:

- Durchführung von Erhaltungs- und Umbaumaßnahmen
- Rechtliche Erfordernisse
- Wunsch nach Aufbau und Weitergabe von Know-how über Planungs-, Bau-, Wartungs- und Betriebsprozesse
- Durchführung von Langzeitanalysen zum Nutzungs-, Bauwerks-, Baugrund- und Baustoffverhalten
- Baukulturelle Bedeutung von Baumaßnahmen.

- 3) *Provenienzinformationen* (Provenienz): Sie beschreiben, wer die *Inhaltsinformationen* wie erzeugt und verändert hat und wer die Aufsicht darüber hatte. Dazu gehören die jeweils verwendeten IT-Produkte oder Messinstrumente. Im Bauwesen kann ein Versionsmanagementsystem die Erzeugung solcher Informationen unterstützen.
- 4) *Persistenzinformationen*: Zur Prüfung der Datenintegrität können im Bauwesen die üblichen Verfahren eingesetzt werden, wie Prüfsummen oder digitale Signaturen.

- 5) *Informationen zu den Zugriffsrechten*: Da die *Inhaltsinformationen* im Bauwesen einen erheblichen Wert besitzen können, sind die Zugriffsrestriktionen zeitlich und inhaltlich genau festzulegen sowie die Maßnahmen zu ihrer Durchsetzung zu spezifizieren. Zu beachten ist, dass *Inhaltsinformationen* auch geschützte Softwareprodukte betreffen können.

Deskriptive Informationen dienen den Endnutzern, wie Planern, Bauherren oder Portfoliomanagern, potenziell interessante Informationen aufzufinden, zu analysieren und für eine Weiterverwendung anzufordern. Hierzu ist es zweckmäßig, Teile der *Repräsentationsinformationen* und PDI (*Erhaltungsbeschreibungsinformation*) zu übernehmen. Ggf. ist die Übersetzung in eine aktuelle, einheitliche und rollenspezifische Sprache zweckmäßig. Dieses Vorgehen vermeidet den Eingriff in die *Informationspakete*, verhindert die negativen Langfristeffekte, z. B. durch eine semantische Drift oder sich ändernde Klassifizierungssysteme, und erleichtert eine semantische Suche. So können beispielsweise Anfragen nach Bauwerken oder untergeordneten Strukturen gestellt werden, in denen ein bestimmter Baustoff verbaut wurde, die einer bestimmten Nutzung unterlagen oder bei denen eine bestimmte Berechnungssoftware für den Standsicherheitsnachweis zum Einsatz kam.

Die vorgestellten Informationsobjekte, außer den *deskriptiven Informationen*, werden nach dem OAIS-RM konzeptionell zu *Informationspaketen* zusammengefasst. Das OAIS-RM macht zwar keine Vorgaben für eine Implementierung, sie muss aber für einen langfristigen Zusammenhalt der Komponenten und eine Beschreibung der Pakete sorgen. Diesbezüglich ist eine Vielzahl von Implementierungsvarianten möglich, die durch eine standardisierte Detaillierung des konzeptionellen Paketmodells so gestaltet werden kann, dass sich die Prozesse der *Einlieferung*, *Archivablage* und *Auslieferung* und der Kooperation von Archiven vereinheitlichen lassen. Wesentliche Aspekte im Bauwesen betreffen:

- die hohe Anzahl und die Heterogenitäten der digitalen Objekte und der erforderlichen *Repräsentationsinformationen*, die sich kurzfristig nicht beseitigen lassen
- die Berücksichtigung der Verteilung und der verschiedenen Fachsichten
- den Umfang der Daten einzelner Projekte
- ein gewisses Maß an Lebendigkeit der *Archivinformationspakete* (AIP).

Diese Merkmale erfordern eine entsprechende inkrementelle Bearbeitungsmöglichkeit und die dafür nötige Navigation. Deshalb scheiden monolithische Konzepte aus, wie sie teilweise in der Langzeitarchivierung realisiert sind.

Mit dem Verständnis über *Informationspakete* gewinnen auch weitere abstrakte Konzepte an Konkretheit. So wird deutlich, was im Rahmen der Funktion *Administration* und *Erhaltungsplanung* des OAIS-RM zu leisten ist. Beispielsweise ist zwischen *Informationsproduzenten* und Archiv zu vereinbaren, wie die *Informationspakete* für eine Einlieferung (SIP) aufzubauen sind und welchen Beitrag das Archiv für eine Vervollständigung bezüglich einer Archivierung (AIP) zu erbringen hat. Teile der Vereinbarung können sein: Dateiformate einschließlich Versionen und Varianten, Methoden zu *Migrationen*, Techniken der Validierung, z. B. anhand von XML-Schemata für die Paketstruktur, Verfahren zur Prüfung der Integrität und Authentizität von Daten, die Verwendung von Schemata für deskriptive Metadaten, die Namenskonventionen für Dateien und Organisation der Registrierung von Identifikatoren in

einem PI-System, den Nachweis der Provenienz, die Dokumentation der Funktion *Einlieferung* und – im Bauwesen besonders schwierig – die Prüfung der inhaltlichen Qualität. Bereits an dieser Stelle wird deutlich, welche Vorteile ein standardisiertes Vorgehen bringt. Bezieht man langfristige Aspekte mit ein, z. B. die Bereitstellung von Information nach 40 Jahren (ein Zeitraum in dem häufig die ersten größeren Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen anfallen), ist die Beherrschbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Langzeitnutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen nur durch eine Standardisierung erreichbar!

6.3 Vorgehen für weitere Standardisierungen (Roadmap)

Dieser Abschnitt enthält Vorschläge für das weitere Vorgehen bezüglich einer Standardisierung. Die in dieser Studie durchgeführten Analysen erlauben trotz der Komplexität der Aufgabenstellung und der diffusen Ausgangssituation im deutschen Bauwesen eine relativ konkrete Roadmap für eine Standardisierung sowie für begleitende bzw. vorbereitende Maßnahmen.

6.3.1 Verwendung der vorhandenen Standards in einem Standardisierungsprozess

Als Orientierung für ein strukturiertes Vorgehen auf einem technisch und organisatorisch komplexen Feld eignet sich das Vorhaben LOTAR, das u. a. aufzeigt, wie Standards modular aufgebaut werden können. Die Modularisierung ergibt sich durch einen schichtweisen Aufbau entsprechend der Abstraktion bezüglich fachspezifischer Sichten mit folgenden Teilen: *Basic Parts*, *Common Process Parts* und *Data Domain Specific Parts* (vgl. auch *domain specific data schemas* in [IFC4:2013, Kap. 7]). Neben der Übernahme dieser Methodik bietet sich wegen der sachlichen Überschneidungen, wie in Abschn. 6.1.5 dargelegt, eine nähere inhaltliche Betrachtung der Normenreihe EN 9300 an.

Als Ausgangsbasis für eine Standardisierung im Bauwesen sollte wegen der in Abschn. 6.1.1 beschriebenen Eigenschaften das OAIS-RM dienen. Auf dieser Grundlage lassen sich Standards entwickeln, die den Teilen aus LOTAR *Basic Parts* und *Common Process Parts* entsprechen. Im Gegensatz zur EN 9300 sollten das gesamte *funktionale* Modell übernommen sowie keine Informationstypen ausgeschlossen werden, um divergierende Begrifflichkeiten und Konzepte zu vermeiden und um den Implementierungsaufwand zu verringern. Dieses Vorgehen schließt spezialisierte Dienste und Dienstleister, z. B. für bestimmte Informationstypen, wie einen BIM-Server, nicht aus.

Wegen der grundsätzlichen Problematik des Informationstransfers (siehe Abschn. 5.2.1) und der Rahmenbedingungen im Bauwesen (siehe Abschn. 6.1.2) sollte bei der Interaktion zwischen *Informationsproduzent* und Archiv die Norm ISO 20652 Anwendung finden indem deren abstrakte Konzepte zur Ergänzung des OAIS-RM herangezogen und bauspezifisch erweitert werden.

Eine eigenständige bauspezifische Erweiterung der DIN-Norm 31646 zu persistenter Identifikatoren kann entfallen, da sich die bauspezifischen Belange (siehe Abschn. 6.1.4) vor allem mit den OAIS-Modellelementen *Informationspakete*, *Einlieferung* und *Erhaltungsplanung* abhandeln lassen.

Die Inhalte der DIN 31644 zum Thema Vertrauenswürdigkeit können in Kombination mit anderen Standards der digitalen Langzeitnutzung, vor allem in Ergänzung zum OASIS-RM, als Ausgangsbasis für neue Dienstleistungen und innovative Geschäftsmodelle dienen. Herausragende Leistungselemente eines solchen Modells wären die zielgruppengerechte und kontinuierliche Feststellung des Informationsbedarfs und die Auswahl der entsprechenden *digitalen Objekte* sowie die Sicherstellung einer angemessenen Nutzung der *Informationsobjekte* insbesondere durch eine langfristige Interpretierbarkeit der *digitalen Objekte* (siehe Abschn. 6.1.3).

6.3.2 Nationale vs. internationale Standardisierung

Wegen der zahlreichen Besonderheiten des deutschen Bauwesens, z. B. aufgrund der strikten Trennung von Planung und Ausführung, der Bundesauftragsverwaltung nach Artikel 85 des Grundgesetzes oder des nationalen öffentlichen Baurechts, ist eine nationale Normierung sinnvoll. Außerdem lassen sich nationale Normen, Standards, Richtlinien u. ä. besser einbinden, wie die DIN 276 zur Baukostenplanung und -ermittlung im Hochbau und Ingenieurbau, die DRL (Dokumentationsrichtlinie des BBR), die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) oder der Datenaustausch nach GAEB (Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen)¹⁷. Implementierungs- und techniknahe Bereiche, z. B. generische Bauwerksmodelle und Containerformate zur Realisierung von *Informationspaketen* nach dem OASIS-RM, eignen sich jedoch für eine internationale Standardisierung, ggf. mit einer – ebenfalls standardisierten – Möglichkeit einer nationalen bzw. lokalen Profilierung. Containerformate für die digitale Langzeitarchivierung sind bereits Gegenstand einer Standardisierung, wie METS (Metadata Encoding & Transmission Standard)¹⁸ oder XFDU (XML Formatted Data Unit)¹⁹.

6.3.3 Problembereiche und erforderliche begleitende bzw. vorbereitende Maßnahmen

Ein gravierender Mangel besteht nach wie vor im weitgehend unspezifizierten Informationsbedarf in späteren Phasen von Bauwerkslebenszyklen. Spezifiziert heißt bezüglich der digitalen Langzeitnutzung, dass sich *Informationspakete* entsprechend dem OASIS-RM und die Abbildung fachspezifischer Sichten einheitlich in einem konzeptionellen Modell darstellen lassen. Die digitale Langzeitnutzung muss daher in einem größeren zeitlichen Kontext eingebettet werden, da Informationen aus allen Phasen Relevanz besitzen. Dieser Kontext kann mit Hilfe einer *Process Map* abgebildet werden, die den gesamten Lebenszyklus umfasst. Als Startpunkte bieten sich die *Process Map* der 5D-Initiative und die in den verschiedenen Projekten skizzierten Lebenszyklusmodelle an. Nach [ISO 29481-1:2010, Kap. 4.5.1] besteht der Zweck einer *Process Map* in der Beschreibung des Tätigkeitsflusses innerhalb eines bestimmten Themenbereichs, der Rollen der beteiligten Akteure und der erforderlichen, erzeugten und konsumierten Informationen. Eine Darstellung sollte durchgehend so weit wie möglich auf einer international standardisierten Notation beruhen, wie BPMN (Business Process Model and Notation) [ISO/IEC 19510:2013].

¹⁷ zum Thema nationale vs. internationale Standardisierung siehe auch die Ausführungen in der Publikation GAEB – Europäischer Vergleich [BMVB2012]

¹⁸ www.loc.gov/standards/mets

¹⁹ sindbad.gsfc.nasa.gov/xfdud

Eine grobe Übersicht zu Informationen im Bauwerkslebenszyklus und ihrer Relevanz für eine längerfristige oder dauerhafte Aufbewahrung liefert ein DIN-INS-Bericht zur Langzeitarchivierung von Bauwerksinformationen [DIN2012, Kap. 4]. Grundlagen für ein methodisches Instrumentarium zur Herstellung und Verwendung von Bau- und Nutzungsdokumentationen zur Unterstützung von Prozessen und Leistungen im Facility Management (FM) sowie eine Strukturierung von Gebäuden, Räumen und Flächen sowie von Dokumenten bzw. Dokumenteninhalten liefern die Normen der Reihe [DIN 32835-2:2007-01] [DIN 32835-1:2007-01]. Umfassende, aber nicht näher spezifizierte inhaltliche Forderungen an eine Langzeitnutzbarkeit wurden im Rahmen des Projektes ForBAU durch einen Vertreter der öffentlichen Bauverwaltung aufgestellt (siehe Abschn. 4.2.2, Analyseaspekt 1).

Das Vorhaben objektINFO der Zukunftsinitiative BAU des BMVBS zeigt den Informationsbedarf entlang des Lebenszyklus von Gebäuden und baulichen Anlagen vor allem aus immobilienwirtschaftlicher Sicht [Rohd2011]. Der zugehörige Schlussbericht enthält auch Übersichten 1) über Normen und Richtlinien von BHKS, DIN, ISO, GEFMA und VDI zur Systematisierung von Immobilieninformationen und 2) über existierende Instrumente zur Beschreibung und Bewertung von Gebäuden, wie Gebäudepass, Bauwerkspass oder Immopass, mit einem Hinweis auf die Unterschiedlichkeit der Ansätze. Die in der Studie vorgeschlagene Typisierung der Informationen beinhaltet u. a. eine Unterscheidung zwischen befristet und unbefristet vorzuhaltenden Informationen. Vorschläge für die Realisierung einer unbefristeten Verfügbarkeit digitaler Informationen in einer verteilten Umgebung unter Bewahrung einer konsistenten Datenhaltung enthält die Studie jedoch nicht. Zudem verweisen die Autoren auf die häufigen Informationsverluste bei kurzen Haltedauern von Immobilienobjekten und sehen weiteren Untersuchungsbedarf für ein lebenszyklusbegleitendes Informationsmanagement.

Ein weiteres, in 2008 abgeschlossenes Projekt der Zukunftsinitiative BAU beschäftigt sich mit dem modellbasierten Datenaustausch von alphanumerischen Gebäudebestandsdaten (nach BFR GBestand) mit dem IFC View *Facility Management Bestandsdaten* [Hiek2013].

Im Rahmen einer Standardisierung zur digitalen Langzeitnutzung bieten sich ein Review, eine Harmonisierung und eine Fortschreibung der Einzelaktivitäten zur Lebenszyklusmodellierung an.

Ein weiterer schwerwiegender Nachteil für die Sicherstellung der Langzeitnutzbarkeit liegt in der mangelnden Integration der Informationen und ihrer damit verbundenen unzureichenden Qualität. Eine kurzfristige Verbesserung der Situation in Deutschland ist nicht zu erwarten; die schleppende Entwicklung und Einführung semantischer Bauwerksmodelle (BIM/IFC) ist ein Indiz hierfür²⁰. Aus Sicht der Langfristigkeit bieten die Ansätze aus dem Projekt Mefisto wegen ihrer konzeptionellen Ausrichtung und Fundierung die größten Erfolgsaussichten. Die hierin vorgestellten *Multimodell-Container* (MMC) können die Konzeptionierung und Implementierung von *Informationspaketen* entsprechend dem OAIS-RM unterstützen.

Pränormativer und begleitender Handlungsbedarf besteht auch bei den Grundlagen zur digitalen Langzeitnutzung, insbesondere zu *Emulationen*, virtuellen Maschinen und zur Verlustfreiheit von *Transformationen (Migration)* komplexer Formate. Die Herausforderungen bei der Erhaltung computergestützter Entwürfe (CAD) beschreibt ein technischer Report der

²⁰ zu den Ursachen und den Fortschritten im Ausland siehe die Studien BIM – HOAI [Lieb2011] und BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan [Both2013]

Digital Preservation Coalition (DPC) [Ball2013]. Der Bericht enthält u. a. Empfehlungen, die neben der *Migration* bzw. der *Normalisierung* auf Standardformate auch die *Emulation* als Erhaltungsmethode in Betracht ziehen (vgl. hierzu auch die Ausführungen zu Erhaltungsmethoden im Abschn. 5.1.2).

Die noch offenen Fragen im Bereich der Bauwerks- und Prozessmodellierung sowie der Langzeitnutzbarkeit digitaler Informationen sollten kein Hindernis für eine Standardisierung sein. Die grundsätzlichen Probleme können innerhalb eines Standards in deskriptiver statt präskriptiver Art dargelegt werden (vgl. z. B. die Ausführungen zu Erhaltungsmethoden im OAIS-RM), während die offenen implementierungsnahen und eher schnelllebigen Aspekte in begleitenden Dokumenten behandelt werden sollten, z. B. in Berichten über (Best) Practices. Wegen der teilweise abstrakten und außerhalb des Ausbildungsspektrums der meisten Baubeteiligten liegenden Inhalte und Hintergründe vorhandener Standards ist eine ausführliche Erläuterung in Form von Kommentierungen, Fachberichten u. ä. angebracht, so wie beispielsweise bei der Norm zur Vertrauenswürdigkeit digitaler Archive (vgl. [Keit2013]).

6.3.4 Handlungsempfehlung

Auf Basis der vorangegangenen Ausführungen werden folgende konkrete Arbeitsschritte empfohlen:

- Entwicklung eines nationalen Referenzmodells zur Langzeitnutzung digitaler Bauwerksinformationen in Deutschland, mit:
 - ISO 14721 OAIS-RM als Ausgangsbasis und Leitstandard für die digitale Langzeitnutzung
 - Erweiterung des OAIS-RM durch Integration des domänenneutralen Standards ISO 20652 zur Schnittstelle *Informationsproduzent - Archiv* unter Berücksichtigung der Konzepte aus ISO 29481-1 zu BIM-IDM (Information Delivery Manual)
 - Erweiterung des OAIS-RM bezüglich organisatorischer Aspekte mittels DIN 31644 und ggf. ISO 16363 zur Vertrauenswürdigkeit von Archiven
 - Konzeptionierung eines Containerformats für *Informationspakete* entsprechend dem OAIS-RM unter Beachtung von Ansätzen wie MMC, XFDU, METS
 - Berücksichtigung der Handhabung persistenter Identifikatoren entsprechend DIN 31646 im Funktionsmodell und Informationsmodell des OAIS-RM sowie in der o. g. organisatorischen Erweiterung
 - Beachtung der EN 9300 LOTAR in methodischer und inhaltlicher Hinsicht.
- Auswertung, Harmonisierung und Ergänzung der verfügbaren Lebenszyklusmodelle (einschließlich Informationsbedarf) im Bauwesen in konzeptioneller und inhaltlicher Hinsicht
- Entwicklung von Modulen für die einzelnen Fachdomänen des Bauwesens auf Basis des Referenzmodells und vorhandener baufachlicher Standards
- Grundlagenuntersuchungen zum langfristigen technischen Umgang mit komplexen digitalen Informationsobjekten und heterogenen Datenbeständen im Bauwesen
- Begleitende Erstellung erläuternder Informationsmaterialien.

Wegen der erheblichen Vorteile integrierter Bauwerks- und Infrastrukturmodelle auch für die digitale Langzeitarchivierung, ist deren Weiterentwicklung, Evaluierung, Standardisierung und Einführung in die Praxis dringend geboten.

Abb. 4 gibt einen Überblick zu einer möglichen Standardisierung, mit dem OAIS-FM als Ausgangsbasis für eine domänenneutrale Erweiterung und darauf aufbauend für eine bauspezifische Ausformung bezüglich der digitalen Langzeitnutzung (LZN) in Deutschland (DE), die aus einem Referenzmodell (RM) und weiteren fachdomänenspezifischen Modulen, z. B. für das Facility Management (LZN FM), bestehen kann.

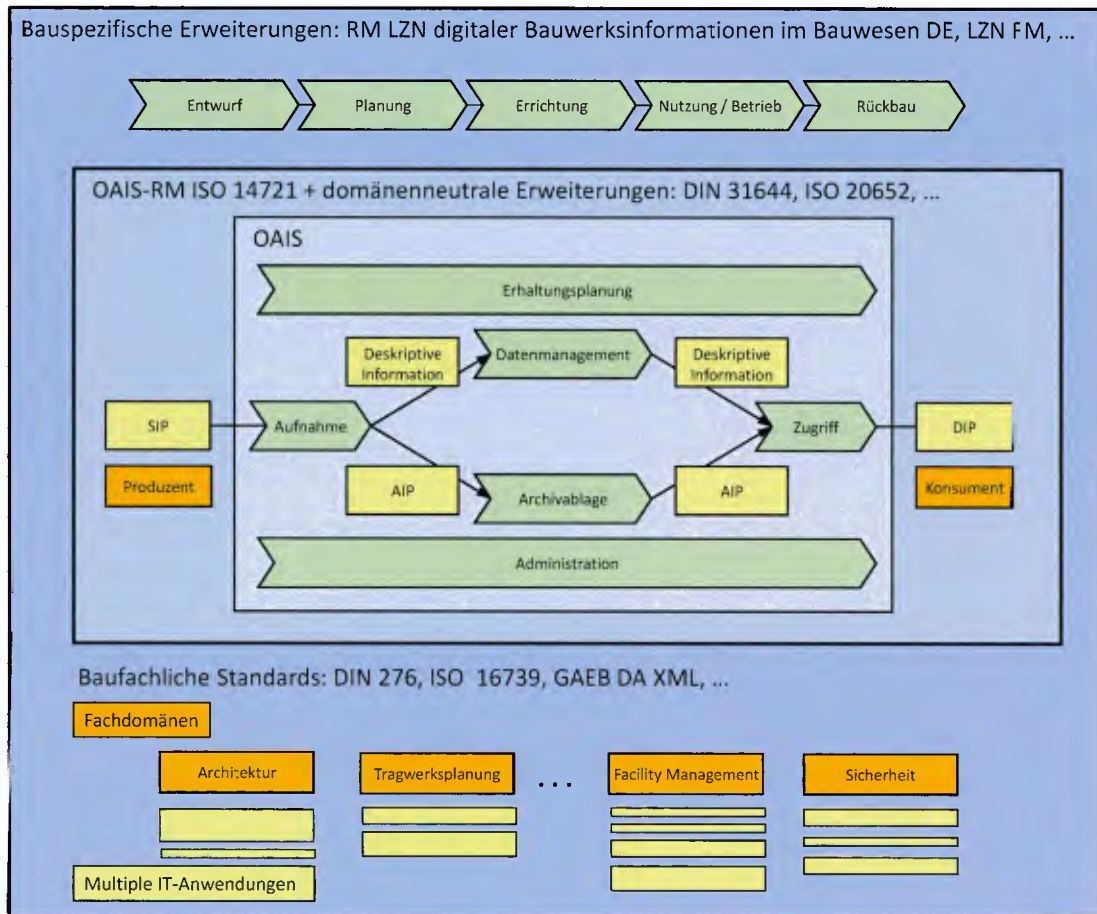


Abb. 4: Standardisierung zur Langzeitnutzung (LZN) digitaler Bauwerksinformationen

7 Literaturverzeichnis

- Ball2013 Alex Ball; Preserving Computer-Aided Design (CAD) – DPC Technology Watch Report 13 – 02 April 2013, Great Britain, 2013
- BMVB2012 GAEB – Europäischer Vergleich. Wissenschaftliche Untersuchung der verschiedenen europäischen Datenaustauschformate für Ausschreibung und Vergabe im Vergleich zum GAEB-Datenaustauschformat, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 17/2012, Hrsg. BMVBS, 10.2012
- Borg2003 Uwe M. Borghoff, Peter Rödiger, Jan Scheffczyk, Lothar Schmitz; Langzeitarchivierung – Methoden zur Erhaltung digitaler Dokumente, dpunkt.verlag, Heidelberg, 2003
- Borg2009 Uwe M. Borghoff, Peter Rödiger; Standards und Standardisierung im Kontext von Grid/eScience und Langzeitarchivierung – nestor-materialien 11, 2009
nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0008-2009012103
- Both2013 Petra von Both, Andreas Kindsvater, Volker Koch; BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan – Analyse der Potentiale und Hemmnisse bei der Umsetzung der integrierten Planungsmethodik Building Information Modeling – BIM – in der deutschen Bauindustrie und Ableitung eines Handlungsplanes zur Verbesserung der Wettbewerbssituation, Forschungsinitiative Zukunft BAU F2844, Schlussbericht 30.05.2012
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart, 2013
- bSeV2012 Satzung des Vereins buildingSMART e.V., Neugefasst und beschlossen auf der Mitgliederversammlung vom 05.11.2012, 2012
- bSI2010 IFC CERTIFICATION 2.0: Specification of Certification Process, Final, 21.06.2010
- bSI2012 The BIM Evolution Continues with OPEN BIM, Draft V8, 31.01.2012
- DIN 31644:2012-04 Information und Dokumentation – Kriterien für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive
- DIN 31645:2011-11 Information und Dokumentation – Leitfaden zur Informationsübernahme in digitale Langzeitarchive
- DIN 31646:2013-01 Information und Dokumentation – Anforderungen an die langfristige Handhabung persistenter Identifikatoren (Persistent Identifier)
- DIN 32835-1:2007-01 Technische Produktdokumentation - Dokumentation für das Facility Management - Teil 1: Begriffe und Methodik
- DIN 32835-2:2007-01 Technische Produktdokumentation - Dokumentation für das Facility Management - Teil 2: Nutzungsdokumentation
- 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
- DIN2012 DIN e.V.; Langzeitarchivierung digitaler Bauwerksinformationen – Innovationen mit Normen und Standards (INS 1171), 2012

Günt2010	Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen – Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Hrsg. Willibald Günther, André Borrmann, Springer Verlag, 2010
Günt2011	Studie Datenmanagement im Bauwesen – Bauprojektdateien effizien- ter verwalten und nutzen, Hrsg. Willibald A. Günther, Garching bei München, 2011
Hiek2013	Sieglinde Hieke, Thomas Liebich, Matthias Weise, Elke Böttcher; Modellbasierter Datenaustausch von alphanumerischen Gebäude- bestandsdaten (nach BFR GBestand) mit der produktneutralen Schnittstelle Industry Foundation Classes (IFC) – Endbericht 15.11.2008, Forschungsinitiative Zukunft BAU F 2874 Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart, 2013
IFC4:2013	www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html
ISO 10303-11:2004	Industrial automation systems and integration – Product data Rep- resentation and exchange Part 11: description methods: The EX- PRESS Language Reference Manual Stage: 90.20 (2013-04-15)
ISO 10303-21:2012	Industrial automation systems and integration – Product data Rep- resentation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure Stage: 90.92 (2012-11-13)
ISO 10303-28:2007	Industrial automation systems and integration – Product data rep- resentation and exchange – Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas Stage: 90.93 (2012-11-19)
ISO 12006-2:2001	Building construction – Organization of information about con- struction works – Part 2: Framework for classification of infor- mation Stage: 90.92 (2012-03-14)
ISO 12006-3:2007	Building construction – Organization of information about con- struction works – Part 3: Framework for object-oriented infor- mation Stage: 90.93 (2012-05-30)
ISO 14721:2012	Space data and information transfer systems – Open archival in- formation system (OAIS) – Reference model Stage: 60.60 (2012-08-21)
ISO 16363:2012	Space data and information transfer systems – Audit and certifica- tion of trustworthy digital repositories Stage: 60.60 (2012-02-14)
ISO 16739:2013	Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the con- struction and facility management industries Stage: 60.60 (2013-03-21)
ISO 19005-1:2005	Document management – Electronic document file format for long-term preservation – Part 1: Use of PDF 1.4 (PDF/A-1) Stage: 90.93 (2009-11-19)

ISO 20652:2006	Space data and information transfer systems – Producer-archive interface – Methodology abstract standard Stage: 90.93 (2009-06-30)
ISO 29481-1:2010	Building information modeling – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format Stage: 90.92 (2011-10-03)
ISO 29481-2:2012	Building information models – Information delivery manual – Part 2: Interaction framework Stage: 60.60 (2012-12-12)
ISO/AWI 29481-1	Building information modeling – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format Stage: 20.00 (2012-03-16)
ISO/AWI 29481-3	Building information modeling – Information delivery manual – Part 3: Model View Definitions Stage: 20.00 (2012-03-16)
ISO/DIS 16757-1	Product Data for Building Services System Models – Part 1. Concepts, architecture and model Stage: 40.00 (2013-08-07)
ISO/IEC 19510:2013	Information technology - Object Management Group Business Process Model and Notation Stage: 60.60 (2013-07-15)
ISO/TS 12911:2012	Framework for building information modeling (BIM) guidance Stage: 60.60 (2012-08-31)
Keit2013	Vertrauenswürdige digitale Langzeitarchivierung nach DIN 316444 – Kommentar, Hrsg. Christian Keitel, Astrid Schoger, DIN e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2013
Kreb2012	Nico Krebs; Universeller Virtueller Computer, Weiterentwicklung der Spezifikation zur effizienteren und vielseitigeren Verwendung in der Langzeitarchivierung. Dissertation Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2012
Lieb2011	Thomas Liebich, Carl-Stephan Schweer, Siegfried Wernik, Léon Wohlhage; Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung (Gutachten BIM - HOAI) – Schlussbericht 03.05.2011, Forschungsinitiative Zukunft BAU, 2011
Rohd2011	Christoph Rohde, Thomas Lützkendorf, Matthias Schulz, David P. Lorenz, Jürgen Kertes, Andrea Immendorfer; Projekt objektINFO – Analyse der Informationsbedürfnisse ausgewählter Akteursgruppen zu Objektinformationen im Lebenszyklus von Gebäuden als Voraussetzung für die Entwicklung einer Bauwerks- Informations-Systematik (BIS), Forschungsinitiative Zukunft BAU F 2785, Schlussbericht 02.2011 Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart, 2011
Rüpp2013	Tagungsband – 2. Darmstädter Ingenieurkongress Bau und Umwelt, Hrsg. Uwe Rüppel, Shaker Verlag, Darmstadt, 2013

- Sche2011a MEFISTO: Management – Führung – Information – Simulation
im Bauwesen, Tagungsband 2. Kongress, Hrsg. Raimar J. Scherer,
Helga Tauscher, Sven-Eric Schapke, Dresden, 13.10.2011
- Sche2011b Bauinformatik – Baupraxis 2011, Industrieforschungsprojekte in
der Bau-IT, Hrsg. Raimar J. Scherer, Gerald Faschingbauer, Dres-
den, 2011
- Sche2012 Programm – 3. Mefisto-Kongress, Hrsg. Raimar J. Scherer, Sven
Eric Schapke, Dresden, 2012

8 Abkürzungsverzeichnis

5Di	5D-Initiative
AIC	Archival Information Collection (OAIS-RM)
AIP	Archival Information Package (OAIS-RM)
AWI	Approved new Work Item (ISO)
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BFR GBestand	Baufachliche Richtlinien Gebäudebestandsdokumentation
BHKS	Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V., jetzt BTGA
BIM	Building Information Model (buildingSMART) Building Information Model(ing) (buildingSMART) Building Information Management (buildingSMART)
BIS	Bauwerks-Informations-Systematik (objektINFO)
BLM	Building Lifecycle Model
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BPMN	Business Process Model and Notation
bSI	buildingSMART International
BTGA	Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V.
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems
CDO	Content Data Object (OAIS-RM)
CEN	Comité Européen de Normalisation / Europäisches Komitee für Normung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIP	Dissemination Information Package (OAIS-RM)
DIS	Draft International Standard (ISO)
DMS	Dokumentenmanagementsystem
DPC	Digital Preservation Coalition
DRL	Dokumentationsrichtlinie (BBR)
DURAARK	Durable Architectural Knowledge (Projekt)
EN	Euronorm
FI	Fragment Identifier
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
GEFMA	German Facility Management Association e.V.
GIS	Geographisches Informationssystem
GUID	Globally Unique Identifier
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IDM	Information Delivery Manual (BIM/ISO)
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force

IFC	Industry Foundation Classes (BIM/ISO)
INS	Innovationen mit Normen und Standards
ISO	International Organization for Standardization
LOTAR	LOng Term Archiving and Retrieval (EN)
METS	Metadata Encoding & Transmission Standard (Library of Congress)
MMC	Multimodell-Container (Mefisto)
MVD	Model View Definition (BIM/ISO)
OAIS	Open Archival Information System (ISO)
PDI	Preservation Description Information (OAIS-RM)
PDM	Produktdatenmanagementsystem
PI	Persistent Identifier / persitenter Identifizierer
PLM	Product Lifecycle Model
POSIX	Portable Operating System Interface (ISO, IEC, IEEE)
RM	Referenzmodell
SIP	Submission Information Package (OAIS-RM)
SQuaRE	Systems and software Quality Requirements and Evaluation (ISO)
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data (ISO)
TS	Technical Specification (ISO)
URL	Uniform Resource Locator (IETF)
URN	Uniform Resource Name (IETF)
UVC	Universeller Virtueller Computer
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
W3C	World Wide Web Consortium
XFDU	XML Formatted Data Unit (CCSDS)
XML	Extensible Markup Language (W3C)

Verzeichnis der in dieser Schriftenreihe erschienenen Hefte

- 96/1 **Gebbeken, N.:** *Zur Untersuchung des linearen Tragverhaltens von Faserverbundkonstruktionen mittels numerischer Methoden*
- 97/1 **Rötzer, J.:** *Ein Beitrag zur Berechnung von Stahlbetontragwerken unter hohen Dehnungsgeschwindigkeiten und hohen Drücken*
- 97/2 **Gebbeken, N.; Wanzek, T.; Petersen, C.:** *„Semi-rigid“ Verbindungen – Versuche an „T-stubs“. Versuchsbericht*
- 97/3 **Jian, Y.:** *Tragverhalten dünner rechteckiger Stahlplatten mit großen Verformungen unter Berücksichtigung der Membranwirkung*
- 97/4 **Reif, F.:** *Mittels geregelter harmonischer Endpunktverschiebung induzierte räumliche Seilschwingungen*
- 97/5 **Wei, Y.:** *Influences of Creep, Shrinkage and Steel Relaxation on Structural Behaviour*
- 97/6 **Wurzer, O.:** *Zur Tragfähigkeit von Betondübeln.*
- 97/7 **Wanzek, T.:** *Zu Theorie, Numerik und Versuchen verformbarer Anschlusskonstruktionen*
- 97/8 **Gebbeken, N.; Rothert, H.; Wanzek, T.:** *Zur Theorie und Finite-Element-Berechnung des Tragverhaltens von verformbaren (semi-rigid) Anschlusskonstruktionen im Stahlbau*
- 99/1 **Böge, G.:** *MAKROS – Pre- und Postprozessing für Finite Elemente – AutoCAD-Erweiterung zur Generierung von FE-Modellen*
- 00/1 **Gebbeken, N.:** *Beiträge zur Begabungs-, Bildungs- und Hochschulpolitik*
- 00/2 **Bettin, I.; Urrutia Galicia, J.C.; Gebbeken, N.:** *On the analysis of vertical circular cylindrical tanks under earthquake excitation at its base*
- 00/3 **Gebbeken, N.:** *Wörterbuch Bauwesen Englisch-Deutsch Deutsch-Englisch*
- 00/4 **Ruppert, M.:** *Zur numerischen Simulation von hochdynamisch beanspruchten Betonstrukturen*
- 00/5 **Sauer, M.:** *Adaptive Kopplung des netzfreien SPH-Verfahrens mit finiten Elementen zur Berechnung von Impaktvorgängen*
- 01/1 **Zapfe, C.:** *Trag- und Verformungsverhalten von Verbundträgern mit Betondübeln zur Übertragung der Längsschubkräfte*
- 01/2 **Urrutia-Galicia, J. L.:** *Contributions to Applied Mathematics in Engineering*
- 01/3 **Gebbeken, N.:** *Wörterbuch Bauwesen Englisch-Deutsch Deutsch-Englisch ergänzte und überarbeitete 2. Auflage*

- 02/1 Matias León, J.C. :** *Ein Beitrag zur Wirkung von Wellen und Schockwellen in Tragwerken*
- 02/2 Bosl, R.:** *Zum Nachweis des Trag- und Verformungsverhaltens von Wandscheiben aus Brettlagenholz*
- 02/3 Fischer, O.; Heinen, A.H.; Thalheim, J.-U.:** *Nichtlineare räumliche Seilschwingungen*
- 02/4 Paulke, S.:** *Ein Beitrag zur Herleitung und Lösung nichtlinearer, thermomechanisch gekoppelter Grundgleichungen für Schalenträgerwerke*
- 02/5 Mangerig, I.; Zapfe, C.:** *Nachweisverfahren und Sanierungsmöglichkeiten für Stahlträgerdecken mit Betonausfachung*
- 03/1 Gebbeken, N.:** *Wörterbuch Bauwesen Englisch-Deutsch Deutsch-Englisch erheblich ergänzte Auflage, 3. Auflage*
- 03/2 Urrutia-Galicia, J.L.:** *„The Best Manifold Theory“, In Frequency Interpretation of Time Dependent Functions, An Application to Seismic Engineering*
- 03/3 Gebbeken, N.; Bletzinger, K.-U.; Rothert, H.:** *Hrsg. Aktuelle Beiträge aus Baustatik und Computational Mechanics*
- 03/4 Gebbeken, N.; Dittrich, G.; Mueller-Hagen, S.:** *Zur Verwendung und Berechnung von Fahnenblechanschlüssen*
- 04/1 Weiß, J.:** *Vereinfachte Integration von Fachwissen in Computerprogramme am Beispiel eines Planungssystems für die Bauindustrie*
- 04/2 Thalheim, J.-U.:** *Nichtlineare Seilschwingungen und Stabilitätsanalysen für Seilbewegungen*
- 04/3 Gebbeken, N.:** *Wörterbuch Bauwesen Englisch-Deutsch Deutsch-Englisch ergänzte Auflage, 4. Auflage*
- 04/4 Greulich, S.:** *Zur numerischen Simulation von Stahlbeton- und Faserbetonstrukturen unter Detonationsbeanspruchung*
- 04/5 Ehrlich, I.:** *Impactverhalten schwach gekrümmter Strukturen aus faserverstärkten Kunststoffen*
- 05/1 Lichte, U.:** *Klimatische Temperatureinwirkungen und Kombinationsregeln bei Brückenbauwerken*
- 05/2 Petersen, C.:** *Studien zum Einsatz von Erdbebenschutzsystemen*
- 06/1 Kustermann, A.; Keuser, M.; Zimbelmann R. K.; Grimm, R.:** *Hochfeste Bindemittel und Zuschlagstoffe für hochfeste Betone unterschiedlicher Güte“ für Schutzanlagen der militärischen Sonderinfrastruktur*
- 06/2 Bludau, Ch.; Keuser, M.; Kustermann, A.; Thienel K.-Ch.:** *Schutzplatten aus hochfestem Beton (Abschlussbericht)*
- 06/3 Purainer, R.; Keuser, M.:** *Versuche an Stahlbetonscheiben und –platten unter Zugbeanspruchung*

- 06/4 Gebbeken, N.; Keuser, M.; Klaus, M.; Mangerig, I.; Thoma, K.: (Hrsg.):**
2. Workshop „BAU-PROTECT“ Sicherheit der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen
- 07/1 Gollwitzer, T.;** *Finite Stabelemente für mehrteilige nachgiebige Verbundquerschnitte zur Berechnung von Brettrippenschalen*
- 08/1 Urrutia-Galicia, J.L.:** *Contributions to Applied Mathematics in Engineering*
- 08/2 Gebbeken, N.; Thoma, K. (Hrsg.):** *3. Workshop „BAU-PROTECT“ Sicherheit der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen*
- 09/1 Hartmann, T.:** *Zur mesomechanischen Modellierung von Beton und ihrer Anwendung zur makromechanischen Modellbildung*
- 10/1 Baumhauer, A.:** *Beurteilung geschädigter Brückenbauwerke unter Berücksichtigung unscharfer Tragwerksparameter*
- 10/2 Bierbrauer, K.:** *Ein Beitrag zur Ermittlung der Biegetragfähigkeit bestehender Stahlbetonbrücken unbekannter Eigenschaften*
- 10/3 Rüdiger, L.:** *Tragverhalten von Stahlbetonplatten unter Berücksichtigung der Steifigkeitsänderung im gerissenen Zustand*
- 10/4 Fuchs, M.:** *Stahlbetonbauteile nach außergewöhnlichen Einwirkungen – Schadensquantifizierung und Instandsetzung*
- 10/5 Braml, T.:** *Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Massivbrücken auf der Grundlage der Ergebnisse von Überprüfungen am Bauwerk*
- 10/6 Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig**
- 10/7 Seel, U.:** *Der konzeptionelle Entwicklungswandel von Flughafenterminalgebäuden in der Gegenüberstellung zur Entstehungsgeschichte des Flughafens München*
- 11/1 Retze, U.:** *Beispielhafte Untersuchung zum Einsatz von Monitoringmethoden an einer Brücke*
- 11/2 Burger, S.:** *Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Betondübeln im Verbundbau*
- 11/3 Kroyer, R.:** *Instationäres Temperatur- und Strukturverhalten von Stabwerkstrukturen*
- 11/4 Urrutia-Galicia, J. L.:** *Contributions to Applied Mathematics in Engineering III*
- 11/5 Köck, B.:** *Barocke Dachwerke: Konstruktion und Tragverhalten*
- 12/1 Teich, M.:** *Interaktionen von Explosionen mit flexiblen Strukturen*
- 12/2 Beucher, S.:** *Zur aktiven Temperierung von Brückenfahrbahnen*
- 12/3 Döge, T.:** *Zur Reflexion von Luftstoßwellen an nachgiebigen Materialien und Baustrukturen*
- 12/4 Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser**

- 12/5 Gebbeken, N.; Klaus, M.; Thoma, K. (Hrsg.):** 5. Workshop „BAU-PROTECT“
Sicherheit der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen
- 12/6 Linse, T.:** *Materialmodelle für Mörtel und Ziegel für die diskrete Modellierung von Mauerwerk unter dynamischen Einwirkungen*
- 13/1 Haese, A.:** *Beitrag zur Bemessung scheibenbeanspruchter Stahl-Glas-Elemente*
- 14/1 Wensauer, R.:** *Zum Einfluss hochdynamischer Einwirkungen auf das Verbundverhalten von Stahlbeton*
- 14/2 Lenner, R.:** *Safety Concept and Partial Factors for Military Assessment of Existing Concrete Bridges*
- 14/3 Pfeiffer, E.; Rödiger, P.:** *Lebenszyklusbegleitende Nutzbarkeit digitaler Bauwerksinformationen*