

Franziska Weise

Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

41 | 2023

Erfolgskritische Faktoren in  
exemplarischen Building Information  
Modeling-Anwendungsfällen:  
Eine Analyse unter der Beachtung  
schleppender Digitalisierung und  
organisationaler Veränderungen

## Impressum

Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Herausgeber

© Bauhaus-Universität Weimar

Fakultät Bauingenieurwesen

Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Melzner

Marienstraße 7A

D-99423 Weimar

Tel.: (+49) 03643/584585

Bezugsmöglichkeit

Eigenverlag der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

E-Mail: [bbv@bauing.uni-weimar.de](mailto:bbv@bauing.uni-weimar.de)

Druck

Blueprint. druck + medien gmbh

Der Volltext dieser Publikation ist abrufbar unter folgender DOI:

<https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.4928>

Jahr der Ersterscheinung: 2023

# **Erfolgskritische Faktoren in exemplarischen Building Information Modeling-Anwendungsfällen:**

**Eine Analyse unter der Beachtung schleppender Digitalisierung und  
organisationaler Veränderungen**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen

der

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR

vorgelegt von

M.A.

**Franziska Weise**

geboren am 01.07.1989 in Erfurt

Gutachter: 1. Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt (Bauhaus-Universität Weimar)  
2. Vertr.-Prof. Dr.-Ing. Sven Schneider (Bauhaus-Universität Weimar)  
3. Prof. Dr.-Ing. Christian Stoy (Universität Stuttgart)

Tag der Disputation: 02. Dezember 2022

# Vorwort der Herausgeber

Die Digitalisierung im Bauwesen ist prinzipiell auf einem guten und sich dynamisch entwickelnden Weg. Dennoch tun sich viele Planungsunternehmen und Bauunternehmen noch schwer, für sich selbst bzw. für ihre Mitarbeiter den Mehrwert aus der Anwendung von Building Information Modeling (BIM) zu erkennen und diesen planmäßig für die eigene Tätigkeit zu nutzen.

Das Ziel, die Zurückhaltung insbesondere bei KMU bei der Anwendung von BIM zu überwinden, war Ausgangslage für den Forschungsansatz von Frau Weise. Die Dissertation mit dem Obertitel „Erfolgskritische Faktoren in exemplarischen Building Information Modeling-Anwendungsfällen“ untersucht die sehr heterogene Ausgangslage möglicher Baupartner in ihrer Eigenschaft als Planungsbeteiligte oder auch als kleine und mittlere Bauunternehmen.

Da die Informationslage zu den Hemmnissen gegen die Einführung von BIM recht schwierig zu erfassen ist und oft die Beteiligten „den Wald vor lauter Bäumen“ nicht sehen, hat sich Frau Weise darangemacht, die Erkenntnisse bei dem Einstieg in BIM an Hand von besonders gut dokumentierten und wissenschaftlich begleiteten Pilotprojekten aus den letzten Jahren zu erarbeiten. Eines dieser Pilot- und Transferprojekte hat sie selbst während seiner Kernphase als Projektmanagerin geleitet.

Die Ergebnisse der Dissertation werden in einer Handlungsmatrix gebündelt. Es ist ein Leitfaden, wie sich ein Unternehmen je nach vereinbartem oder beabsichtigten Anwendungsfall auf den erforderlichen Kenntnisstand in Building Information Modeling einstellen kann und so abschätzen

Die Dissertation ist sehr aktuell, auch weil die Durchdringung der Bauwirtschaft mit BIM nur langsam vorangeht. Selbst in komplexen und mit modernen Werkzeugen innovativ gemanagten Bauprojekten trifft man weiterhin auf eine große Zahl von Vertragspartnern und Mitwirkenden, beispielsweise auf Ämterseite oder in der Gutachterbranche, die noch nicht ausreichend in die digitale Plattform von Building Information Modeling eingebunden sind und daher nur mit gebremster Kraft mitziehen können.

Die Professur Baubetrieb und Bauverfahren baut mit dieser Veröffentlichung ihr Engagement im Forschungsgebiet der Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau im gesamten Lebenszyklus von Planen, Bauen und Betrieb konsequent weiter aus.

Wir wünschen allen Leserinnen und Lesern dieser Arbeit einen hohen Erkenntnisgewinn und eine ansprechende Lektüre. Insbesondere freuen wir uns mit Frau Weise, dass die Arbeit auch aktuell über ihre Tätigkeit als Geschäftsführerin der Architektenkammer Thüringen ein wertvoller Baustein sein kann, die Weiterverbreitung des Einsatzes von Building Information Modeling bei Planungs- und Bauunternehmen zu unterstützen.

Weimar im Dezember 2022

**Jürgen Melzner**

Leiter der Professur  
Baubetrieb und Bauverfahren

**Hans-Joachim Bargstädt**

Seniorprofessor an der  
Professur Baubetrieb und Bauverfahren

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit wurde im April 2022 von der Fakultät Bauingenieurwesen an der Bauhaus-Universität Weimar angenommen. Ohne die Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen hätte sie in dieser Form nicht realisiert werden können.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt, der mich in der Erstellung der Arbeit sehr unterstützt hat. Er machte mich in meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Baubetrieb und Bauverfahren erstmalig mit der Thematik Building Information Modeling vertraut. In der Folge ließ er mich vertrauensvoll als Projektkoordinatorin in einem Wirtschaftsförderungsprojekt zur Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau agieren. Meinen wissenschaftlichen Kolleginnen und Kollegen aus dieser Zeit fühle ich mich noch heute freundschaftlich verbunden. Besonderer Dank geht an dieser Stelle an Jenny Rütz und Immo Feine. An unsere gemeinsame, konstruktive Arbeit an der Bauhaus-Universität Weimar denke ich gern zurück und auch auf dem Weg zur Erstellung dieser Arbeit tauschten wir uns häufig inhaltlich aus.

Ich bedanke mich bei Herrn Vertr.-Prof. Dr.-Ing. Sven Schneider der Bauhaus-Universität Weimar, der spontan und zuverlässig der Erstellung eines Zweitgutachtens zugestimmt hat.

Mein herzlicher Dank gilt meiner ehemaligen Vorgesetzten Frau Prof.in Yvonne Brandenburger. Sie räumte mir während meiner Tätigkeit an der Fachhochschule Erfurt viel Freiraum ein, um die Arbeit zu verfassen. Zusätzlich stand sie mir mit vielfältiger inhaltlicher Unterstützung und persönlichem Engagement zur Seite. Sie unterstützte und ermutigte mich stets zur Beteiligung an Forschungsnetzwerken und Publikationen und gab mir die Möglichkeit mich weiterzubilden. Sie hat maßgeblich Anteil daran, dass diese Arbeit existiert.

Von Herzen danke ich meinem Mann Peter, der während der Zeit zur Erstellung der Arbeit viele Aufgaben im familiären Umfeld allein bewältigt hat, um mir Freiraum zum Verfassen der Arbeit zu ermöglichen. Darüber hinaus unterstützte er mich beim Korrekturlesen. Außerdem danke ich meiner Familie, besonders meiner Mutter und Großmutter, die mich uneingeschränkt bei der Betreuung meiner Kinder unterstützt hat. Meinen Freundinnen Kristin, Sandra, Sarah und meinem Freund Adrian danke ich sehr für die Momente der mentalen Unterstützung.

Abschließend danke ich meinen Töchtern, Helena und Matthea, für deren Verständnis für jede abendliche Stunde, die ich noch in die Arbeit investiert habe. Sie sind ohnehin das größte Geschenk meines Lebens.

## Zusammenfassung

Die fortschreitende Digitalisierung lässt innovative bauprojekt- und unternehmensinterne Workflows sowie Organisationssysteme entstehen. In diesem Zusammenhang ist die digitale Fortentwicklung durch Building Information Modeling [BIM] als Veränderungsprozess zu definieren, der Organisationsstrukturen nachhaltig umformen wird. BIM ist die führende digitale Arbeitsmethodik im Bauwesen, die entwurfs-, ausführungs- und bauprojektbezogenen Belangen gerecht werden kann. Die deutsche Bauwirtschaft ist im Vergleich zu anderen Branchen jedoch als digital rückständig zu betrachten. Sie ist durch einen Markt gekennzeichnet, an dem kleine und mittelständische Unternehmen [KMU] in hoher Zahl vertreten sind. Aufgrund von Anwendungsunkennntnis der kleinen und mittelständischen Unternehmen fehlt der flächendeckende und durchgängige BIM-Einsatz in Projekten. Mit dem Fokus auf dem Bauprojekt als temporärer Organisation adressiert der vorliegende Forschungsschwerpunkt die Schaffung eines realistischen Abbilds erprobter BIM-Anwendungsfälle in Modellprojekten. Herausgearbeitet werden derzeit bestehende BIM-Herausforderungen für Erstanwender, die die durchgängige BIM-Anwendung in Deutschland bisher hemmen.

Die Forschungsarbeit fokussiert sich auf die Evaluation erfolgskritischer Faktoren [ekF] in BIM-Anwendungsfällen [AWF] im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse. Die digitale Transformation birgt strukturelevante Veränderungsdeterminanten für Organisationen durch die BIM-Anwendung und außerdem Herausforderungen, die in der Anwendungsfallforschung betrachtet werden.

Die Zielstellung ist dreiteilig. Ein entwickeltes BIM-Strukturmodell erfasst die aktuelle Richtlinienarbeit sowie Standardisierung und stellt dadurch den Rahmen notwendiger BIM-Strukturen im Bauprojekt auf. Aus dem Strukturmodell ist ein Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken abgeleitet worden. Dieses wird auf gezielt recherchierte BIM-Modellprojekte in Deutschland angewendet, um aus den erfolgskritischen Faktoren der darin praktizierten BIM-Anwendungsfälle eine ekF-Risikomatrix abzuleiten. Daraus geht ein unterstützendes BIM-Anwendungsinstrument in Form von BPMN-Abläufen für KMU hervor. Resultierend aus der Verbindung des BIM-Strukturmodells und der Anwendungsfallanalyse wird in den einzelnen Ablaufübersichten eine Risikoverortung je Anwendungsfall kenntlich gemacht. Unternehmen ohne BIM-Anwendungsexpertise in Bauprojektorganisationen erhalten auf diese Weise einen instrumentellen und niederschweligen Zugang zu BIM, um die kollaborativen und wirtschaftlichen Vorteile der digitalen Arbeitsmethodik nutzen zu können.

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>9</b>
<b>Hintergrund und Methode</b>	
<hr/>	
<b>1. Untersuchungsgegenstand .....</b>	<b>11</b>
1.1 Hintergrund und Zielstellung .....	11
1.2 Stand der Forschung und Abgrenzungen .....	14
1.3 Aufbau der Arbeit.....	18
1.4 Konventionen .....	19
<b>2. Phasen des Forschungsprozesses .....</b>	<b>21</b>
2.1 Übersicht über den Forschungsprozess .....	21
2.2 Forschungsdesign Teilbereich A.....	22
2.3 Forschungstheoretische Einordnung Teilbereich B.....	24
2.4 Forschungsdesign Teilbereich C .....	24
<b>Forschungsteilbereich A</b>	
<hr/>	
<b>3. Gegenwärtige Digitalisierungsrealität.....</b>	<b>31</b>
3.1 Anwendung des TREAD-Schemas.....	31
3.2 Gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsrealität im Anwendungsbezug .....	32
3.3 Digitalisierung der deutschen Bauwirtschaft .....	36
3.3.1 Größenklassen als Strukturdaten .....	36
3.3.2 Digitalisierungsaktivitäten der deutschen Bauwirtschaft .....	40
<b>4. BIM als digitale Arbeitsmethodik .....</b>	<b>45</b>
4.1 Definitionsebenen.....	45
4.2 Systemtheoretische Einordnung in die Anwendungsdimension .....	49
4.3 Strukturtheoretische Einordnung von Anwendungsfällen .....	52
4.4 Strukturebenen der Anwendungsfälle .....	54
4.5 BIM-Anwendungsrealität.....	55
<b>Forschungsteilbereich B</b>	
<hr/>	
<b>5. Determinanten des Change Managements .....</b>	<b>60</b>
5.1 Organisationstheoretische Einordnung .....	60
5.2 Begriffliche Spezifikation.....	62
5.3 Veränderungsbeeinflusste Felder auf Organisationsebene.....	64

<b>6. BIM-Strukturmodellentwicklung im Organisationskontext</b> .....	<b>70</b>
6.1 BIM-Strukturmodellentwicklung in den Ebenen I bis II .....	70
6.2 BIM-Strukturmodellentwicklung der Ebene III .....	73
6.3 Erfolgskritische Faktoren als Risiko für Organisationsveränderungen.....	74
<b>Forschungsteilbereich C</b>	
<b>7. Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken</b> .....	<b>75</b>
7.1 Modellphasen .....	75
7.2 Anwendung des SALSA-Schemas .....	76
7.3 Anwendungsfallanalyse .....	79
7.3.1 Verteilungsdaten .....	79
7.3.2 Evaluierung der Anwendungsfälle .....	81
7.3.3 Häufigkeitsausprägungen der Anwendungsfälle in den Bauprojektstufen.....	83
7.3.4 Teilbereichshäufigkeit entsprechend der Objektart.....	83
<b>8. ekF – Risikomatrix</b> .....	<b>85</b>
8.1 Faktorenkollektion .....	85
8.2 Matrixdarstellung .....	89
8.3 Externe Validität .....	91
8.4 Faktorenallokation .....	93
<b>9. BIM-Strukturmodell-anwendung</b> .....	<b>94</b>
9.1 Faktorenallokation im Strukturbereich Aufbauorganisation .....	94
9.2 Faktorenallokation im Strukturbereich Ablauforganisation .....	101
9.3 Faktorenallokation im Strukturbereich Informationsressourcen.....	103
9.4 Faktorenallokation im Strukturbereich Technologie .....	104
<b>10. Risikoverortung</b> .....	<b>112</b>
10.1 Faktorenaggregation .....	112
10.2 Exemplarische BPMN-Darstellung.....	113
10.3 Diskussion.....	117
<b>Gesamtfazit und Ausblick</b>	
<b>11. Fazit und Ausblick</b> .....	<b>119</b>
11.1 Fazit .....	119
11.2 Ausblick.....	123
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>125</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>136</b>



**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
ABl.	Amtsblatt
AHO	Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung
AIA	Auftraggeber-Informationen-Anforderungen
AIM	Asset-Informationsmodell
Anm.	Anmerkung
AR	Augmented Reality
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
Aufl.	Auflage
AWF	Anwendungsfall
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BCF	BIM Collaboration Format
ber.	Berichtigt
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BIM	Building Information Modeling
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BPMN	Business Process Model and Notation
BSI	British Standards Institution
bspw.	beispielsweise
BTL	Building Transfer Language
CAD	Computer-Aided Design
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CDE	Common Data Environment

CPI	Construction Process Integration
CSV	Comma-Separated-Values
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
DIN	Deutsches Institut für Normung
dwg	Drawing-Dateiformat
dxf	Drawing Interchange-Dateiformat
ekF	erfolgskritische Faktoren
entspr.	entsprechend
erw.	erweitert
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FM	Facility Management
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
gem.	gemäß
GIS	Geografische Informationssysteme
GML	Geography Markup Language
GUID	Globally Unique Identifier
HFCKW	[hydrogen] Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFKW	[hydrogen] Fluorkohlenwasserstoffe
Hg.	Herausgeber
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IoT	Internet of Things
i.S.d.	im Sinne des
Kap.	Kapitel
KG	Kostengruppe
KMU	kleine und mittelständische Unternehmen
LAS	Laserscanning-Dateiformat

LOD	Level of Detail
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LPH	Leistungsphase
LV	Leistungsverzeichnis
MA	Mitarbeitende
MVD	Model View Definition
OK	Oberkante
OKSTRA	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
PAS	Publically Available Specification
PIM	Projekt-Informationsmodell
QTO	Quantity-Take-Off
s.	siehe
SALSA	Search Appraisal Synthesis and Analysis
StB	Stahlbeton
Tab.	Tabelle
TGA	technische Gebäudeausrüstung
TREAD	Time Resources Expertise Audience and Purpose Data
TRGW	Tragwerk
TXT	Text-Dateiformat
u. a.	unter anderem
UK	Unterkante
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VR	Virtual Reality
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
XML	Extensible Markup Language

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellentwicklung zur Anwendungsfallanalyse.....	13
Abbildung 2: Stand der Forschung .....	15
Abbildung 3: Kapitelaufbau der Arbeit .....	18
Abbildung 4: Phasen des Forschungsprozesses .....	21
Abbildung 5: Forschungsdesign Teilbereich A.....	22
Abbildung 6: Forschungsdesign Teilbereich C.....	25
Abbildung 7: Phasen der qualitativen Inhaltsanalyse.....	27
Abbildung 8: Rohling des BIM-Strukturmodells.....	27
Abbildung 9: Schaubild Operationalisierungsprozess .....	28
Abbildung 10: Überprüfungsschema ekF-Zuordnung zum Strukturmodell .....	28
Abbildung 11: Schematische Darstellung: BMPN und ekF-Risikomatrix .....	30
Abbildung 12: Datenbankrecherche zur gesamtwirtschaftlichen Digitalisierungsrealität.....	33
Abbildung 13: Digitale Instrumente und Anwendungsherausforderungen .....	34
Abbildung 14: Größenklassen im Bauhauptgewerbe .....	38
Abbildung 15: Anteil der Beschäftigtengrößenklassen am Umsatz im Ausbaugewerbe .....	39
Abbildung 16: Unternehmensgrößen- und Umsatzgrößenklassen in der Bauplanung .....	39
Abbildung 17: TREAD-Schema: bauwirtschaftliche Digitalisierungsrealität.....	40
Abbildung 18: Digitalisierungsindex im deutschen Branchenvergleich.....	41
Abbildung 19: Digitale Fähigkeiten Bauhauptgewerbe und Bauplanung .....	43
Abbildung 20: BIM entlang des Lebenszyklus von Bauwerken .....	46
Abbildung 21: Sichtweise auf Entwicklungsgrade des BIM-Informationmanagements .....	48
Abbildung 22: Schematische Darstellung des Stufenplans .....	50
Abbildung 23: BIM-Leistungen im Bauprojekt .....	53
Abbildung 24: BIM-Prozess – BIM-Ziel und BIM-Anwendung .....	54
Abbildung 25: Datenbankrecherche BIM-Anwendungsrealität .....	56
Abbildung 26: Ermitteltbare BIM-Einzelanwendungen .....	57
Abbildung 27: BIM-Anwendungsherausforderungen.....	58
Abbildung 28: Schematischer BIM-Prozess .....	59
Abbildung 29: Felder Change Management .....	64
Abbildung 30: Struktur der Aufbauorganisation .....	65
Abbildung 31: Wertschöpfungsprozess nach DIN EN ISO 9001:2015-11 .....	66
Abbildung 32: Entwicklung BIM-Strukturmodell .....	72
Abbildung 33: Analysephasen der erfolgskritischen Faktoren in BIM-Anwendungsfällen.....	75
Abbildung 34: Schaubild Scoping-Suche zur Modellprojektauswahl .....	77
Abbildung 35: Anwendungsfälle in den einbezogenen Modellprojekten: Projektphasen .....	79
Abbildung 36: BIM-Anwendungsfallverteilung nach Teilbereichen.....	83
Abbildung 37: Faktorenkollektion schematisch .....	85
Abbildung 38: Faktorenkollektion: ekF1 bis ekF39.....	86
Abbildung 39: Faktorenkollektion: ekF40 bis ekF54.....	87
Abbildung 40: Ausschnitt ekF-Faktorenkollektion in den Anwendungsfällen .....	88
Abbildung 41: ekF-Risikomatrix .....	90
Abbildung 42: Beispiel für die Interpretation der ekF-Risikomatrix .....	91
Abbildung 43: Modellprojektauslassung .....	92
Abbildung 44: Faktorenallokation schematisch.....	93
Abbildung 45: Strukturmodell Aufbauorganisation .....	94
Abbildung 46: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Aufbauorganisation.....	95
Abbildung 47: Überprüfungsschema Aufbauorganisation: ekF-Erfassung: AWF 17.....	97
Abbildung 48: Attribute im Objekt- und Klassendiagramm .....	98
Abbildung 49: CPI-Filter: Konsistenzprüfung .....	98
Abbildung 50: Kompositionen im Modell.....	99
Abbildung 51: Modellnachbesserung: Verortung über Konstruktionsebenen .....	99
Abbildung 52: Mehrschichtiges Bauteil .....	100

Abbildung 53: Kompositionszuordnung .....	100
Abbildung 54: Strukturmodell Ablauforganisation .....	101
Abbildung 55: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Ablauforganisation .....	102
Abbildung 56: Ergänzende Allokation im Strukturbereich Ablauforganisation .....	103
Abbildung 57: Strukturmodell Informationsressourcen.....	103
Abbildung 58: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Informationsressourcen ..	104
Abbildung 59: Strukturmodell Technologie .....	104
Abbildung 60: Häufigkeitsausprägung der Austauschformate.....	105
Abbildung 61: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Technologie .....	106
Abbildung 62: Übersicht ekF-wirksame Teilbereiche semantischer Objektbeziehungen ....	107
Abbildung 63: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 19;23.....	107
Abbildung 64: Informationsinhalte Teilbereich Material [ifcRealAssociates].....	108
Abbildung 65: ifcRelAssociates in der Vererbung [ifcMaterialLayerSet für ifcWall].....	109
Abbildung 66: ifcRelAssociates in der Vererbung [ifcMaterialLayerSet für ifcSlab] .....	110
Abbildung 67: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 17.....	111
Abbildung 68: Risikonäherung schematisch .....	112
Abbildung 69: Schaubild BPMN-Ableitung.....	114
Abbildung 70: Exemplarische BPMN-Darstellung: AWF 19 .....	116
Abbildung 71: Zusammenfassung erfolgskritischer Auswirkungen Teil 1 .....	121
Abbildung 72: Zusammenfassung erfolgskritischer Auswirkungen Teil 2 .....	122
Abbildung 73: Nutzbarkeit des Modells in BIM-basierten Bauprojekten .....	123
Abbildung 74: Kategorienermittlung der Digitalisierungsstudien .....	145
Abbildung 75: Digitalisierungsherausforderungen in der Organisationsstruktur .....	149
Abbildung 76: Bauvolumen nach Produzentengruppen 2018 .....	152
Abbildung 77: Größenklassen im Bauhauptgewerbe 2012 bis 2019.....	153
Abbildung 78: Aufgabenanalyse und -synthese in der Aufbauorganisation.....	159
Abbildung 79: BIM-Organisation: Einzelplaner und Einzelunternehmer .....	163
Abbildung 80: BIM-Organisation: Generalplaner und Generalunternehmer .....	163
Abbildung 81: Häufigkeiten der BIM-Anwendungsfälle in Projektmanagementphasen.....	177
Abbildung 82: Häufigkeitsausprägungen der Einzelfaktoren.....	178
Abbildung 83: Modellaufbereitung; Projektabschluss LPH 8.....	183
Abbildung 84: Häufigkeitsvorkommen der ekF im Strukturbereich Aufbauorganisation.....	191
Abbildung 85: Häufigkeitsvorkommen der ekF im Strukturbereich Ablauforganisation.....	192
Abbildung 86: Häufigkeitsvorkommen der ekF im Strukturbereich Ressourcen .....	192
Abbildung 87: Häufigkeitsausprägungen der ekF im Strukturbereich Technologie.....	193
Abbildung 88: Aufbauorganisatorische ekF-Erfassung .....	194
Abbildung 89: Überprüfungsschema Aufbauorganisation: ekF-Erfassung: AWF 19.....	195
Abbildung 90: Vorbereitende Bauablaufplanung: Datenprüfung .....	196
Abbildung 91: Vorbereitende Bauablaufplanung.....	197
Abbildung 92: Beispiel für Geometriedivergenz .....	198
Abbildung 93: Konstruktionsebenen im Architekturmodell, native Modellierungssoftware... 198	
Abbildung 94: Zustandsmodellierung für nachträgliche Planungsanpassungen.....	200
Abbildung 95: Außenbezug für innenliegende Wand .....	200
Abbildung 96: Assoziationen im Modell .....	201
Abbildung 97: Kollisionsprüfung Objektplanungsmodell und Fachmodell TGA .....	202
Abbildung 98: Information Delivery Manual .....	203
Abbildung 99: Überprüfungsschema Ablauforganisation: ekF-Erfassung: AWF 21;26;28 ...	205
Abbildung 100: Ausschnitt der Bauteiltypentabelle als Datenaustauschanforderungen .....	206
Abbildung 101: Überprüfungsschema Ablauforganisation: ekF-Erfassung: AWF 4.....	208
Abbildung 102: ekF-Erfassung .....	210
Abbildung 103: Rollen im BIM-Informationsmanagement.....	210
Abbildung 104: Überprüfungsschema Informationsressourcen: ekF-Erfassung: AWF 6 .....	213
Abbildung 105: Ausschnitt: importierte Planansicht [dwg] als Punkt- und Linienpeicher....	214
Abbildung 106: Markierung des Referenzpunkts .....	216
Abbildung 107: ergänzende ekF-Allokation im Strukturbereich Technologie.....	224

---

Abbildung 108: Ergänzung zu semantischen Objektbeziehungen .....	225
Abbildung 109: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 23;28 .....	226
Abbildung 110: Informationsinhalte Teilbereich Property [ifcRelDefinesbyProperty] .....	226
Abbildung 111: Fehlende Attributwertdefinition im PropertySet für ifcSlab .....	228
Abbildung 112: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 30 .....	228
Abbildung 113: Editoranzeige zur verwendeten Model View Definition im Modellprojekt ....	229
Abbildung 114: Auszug der Entitätsliste im Coordination View 2.0 Export .....	230
Abbildung 115: Schnittprüfung .....	231
Abbildung 116: Fehlerquelle für die objektorientierte QTO-Formelanwendung .....	232
Abbildung 117: Exemplarische QTO-Formelanwendung, Teilbereich Straßenbau .....	233
Abbildung 118: CPI-Mengengenerierung .....	234
Abbildung 119: Ausschnitt zur Übersicht über semantisch bedeutsame IFC-Entitäten .....	235
Abbildung 120: Abstraktionshierarchie ifcObjectDefinition .....	235
Abbildung 121: Exemplarische BPMN-Darstellung: AWF 30 .....	236

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschränkungen im Rapid Review nach der TREAD-Methode .....	23
Tabelle 2: Beschränkungen entsprechend der SALSA-Kriterien im Scoping .....	25
Tabelle 3: Anwendung TREAD-Schema .....	32
Tabelle 4: Referenzen für Strukturdaten der deutschen Bauwirtschaft .....	36
Tabelle 5: Definitionsebenen BIM .....	45
Tabelle 6: Anforderungen BIM-Leistungsniveau I ab 2020 .....	51
Tabelle 7: Übersicht Leistungsniveaus nach VDI 2552 Blatt 1 BIM-Grundlagen .....	52
Tabelle 8: Anforderungskategorien an BIM-Anwendungsfälle .....	55
Tabelle 9: Interpretationen Change Management .....	63
Tabelle 10: Technologiebezug im strukturellen Change Management .....	68
Tabelle 11: Strukturbezogene Handlungsbereiche im Bauprojekt .....	70
Tabelle 12: Inhalte des Strukturmodells, Ebene III .....	74
Tabelle 13: Prozessschritte im Risikomanagement .....	74
Tabelle 14: Operationalisierung der Variablen .....	76
Tabelle 15: Anwendung SALSA-Methode .....	77
Tabelle 16: Evaluierte Modellprojekte .....	79
Tabelle 17: Teilbereiche und Umfänge der Modellprojekte .....	81
Tabelle 18: Evaluierte Anwendungsfälle der einbezogenen Modellprojekte .....	82
Tabelle 19: Näherungsmatrix nach Jaccard .....	113
Tabelle 20: BPMN: Erläuterung der Symbolik .....	115
Tabelle 21: Kritikpunkte einer Metaanalyse .....	137
Tabelle 22: Datenbankrecherche gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsrealität .....	142
Tabelle 23: Studien: gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsrealität in Deutschland .....	144
Tabelle 24: Rohdatenblatt zu den Kategorien der Digitalisierungsstudien .....	146
Tabelle 25: Rohdatenblatt: digitaler Instrumente und Herausforderungen .....	147
Tabelle 26: Rohdatenblatt: Stand der Digitalisierung .....	148
Tabelle 27: Rohdatenblatt: Digitalisierungsherausforderungen, gesamtwirtschaftlich .....	150
Tabelle 28: Rohdatenblatt: innerbetriebliche Herausforderungen, gesamtwirtschaftlich .....	151
Tabelle 29: Datenbankrecherche: Digitalisierung der deutschen Bauwirtschaft .....	154
Tabelle 30: Einbezogene Studien zur Digitalisierung der deutschen Bauwirtschaft .....	155
Tabelle 31: Rohdatenblatt zu digitalen Fähigkeiten der deutschen Bauwirtschaft .....	156
Tabelle 32: Datenbankrecherche BIM-Anwendungsrealität .....	157
Tabelle 33: Einbezogene Studien zur BIM-Anwendungsrealität .....	158
Tabelle 34: Bestimmungselemente einer Aufgabe .....	160
Tabelle 35: BIM-Strukturmodell .....	161
Tabelle 36: Referenzen des Strukturmodells .....	162
Tabelle 37: Modellprojekte und mitwirkende Institutionen .....	164
Tabelle 38: Darstellung der evaluierten Anwendungsfälle aus den Modellprojekten .....	165
Tabelle 39: Zuordnung der AWF zu den Leistungsbeschreibungen (HOAI) .....	176
Tabelle 40: ekF-Kollektion .....	185
Tabelle 41: ekF-Vorkommen in AWF .....	190
Tabelle 42: Modellausarbeitungsgrade und Planmaßstäblichkeit .....	204
Tabelle 43: Exemplarische Bauteiltypentabelle: Straßenablauf .....	207
Tabelle 44: Exemplarische Vorgabe: Modellprüfung als Datenaustauschanforderung .....	209
Tabelle 45: BIM-Informationsrollen .....	211
Tabelle 46: Koordinatensysteme .....	214
Tabelle 47: Einpassung in das Bezugskordinatensystem .....	214
Tabelle 48: Kurzbeschreibungen der evaluierten Dateiformate .....	217
Tabelle 49: Modellarten und Dateiformate [Sekundärformate] .....	218
Tabelle 50: Kurzbeschreibungen zu Informationsaustauschformaten .....	220
Tabelle 51: BIM-Modellarten .....	220
Tabelle 52: Informationsarten innerhalb ermittelter Austauschformate [Sekundärformate] .....	221

Tabelle 53: ifcEXPRESS-Format mit aufgetretenen Modellarten .....	223
Tabelle 54: cpiXML-Format und aufgetretene Modellarten .....	223
Tabelle 55: ifcPropertySet für ifcSlab.....	227
Tabelle 56: ifcQuantity für ifcSlab .....	227
Tabelle 57: MVD für IFC2x3 .....	229
Tabelle 58: Attributorientierte Quantity-Take-Off-Anwendungen.....	231



## Hintergrund und Methode

---

### 1. Untersuchungsgegenstand

#### 1.1 Hintergrund und Zielstellung

Kleine und mittelständische Unternehmen [KMU]<sup>1</sup> der Bauwirtschaft generieren über 70 % des Gesamtumsatzes im deutschen Bauwesen (vgl. Statistisches Bundesamt 2020b). Die Bedeutung des Mittelstands ist für die Bauwirtschaft grundlegend. Die Anwendung digitaler Instrumente im deutschen Bausektor, speziell im Mittelstand, ist jedoch rückständig. Besonders notwendige Erneuerungen von IT-Infrastrukturen, die fehlende Entwicklung von technologiebezogenen Kompetenzen und die nicht-standardisierte Reorganisation der Arbeitsprozesse im Bauwesen führen dazu, dass die Branche hinter anderen Industriesektoren zurückliegt (vgl. Zimmermann 2018). Eine durchgängige Building Information Modeling [BIM]<sup>2</sup>-Anwendung in deutschen Bauprojekten wird derzeit nicht praktiziert (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2020; Cacciatore und Kaiser 2018). Als digitale Arbeitsmethodik bietet BIM erhebliche Vorteile für unternehmensinterne und bauprojektbezogene Strukturen. Hinsichtlich der Wertschöpfungskette Bau ist der digitale Erfolg einer unternehmensinternen, durchgängigen BIM-Anwendung mit ökonomischen und wettbewerblichen Vorteilen zu begründen, die sich in analogen Prozessen der Bauplanung und -ausführung nicht erreichen lassen. In der Konsequenz ist BIM als kooperatives Tool der Problemlösung einzustufen, das einem gesamten Projektteam zur Verfügung steht. Der vorherrschende Kommunikationspfad zwischen sämtlichen Anspruchsgruppen innerhalb des Projekts kann durch den Output verschiedener Dateiformate – basierend auf BIM-Software und bezogen auf das gleiche Ursprungsmodell – erfolgen (vgl. van Treeck et al. 2016, 17 f.). Überdies gehen die Vorteile der digitalen Arbeitsteilung mit der Vermeidung von Bauteilkollisionen und verminderten Nachtragskosten einher (vgl. Albrecht 2015, S. 26).

BIM übt einen disruptiven Einfluss auf organisationale Strukturen innerhalb von Bauprojekten aus. Nicht nur projektspezifische Prozesse, sondern auch Informationserzeugung und -übertragung verlangen eine Prüfung und Veränderung der Arbeitsprozesse (vgl. Liebich et al. 2018, S. 26). Die Implementierung sollte demzufolge als organisationsbezogener Change-Management-Prozess erfasst werden. Die vorbereitende Implementierungschronologie für Deutschland begann bereits 2013. Der durch das BMVBS [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung] erstellte BIM-Leitfaden sollte zur Unterstützung der BIM-Implementierung in die deutsche Bauwirtschaft dienen (vgl. Egger et al. 2013, S. 3). Die durch

---

<sup>1</sup> Definition KMU: Kleinstunternehmen sind Unternehmen, die weniger als 10 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens zwei Mio. Euro haben; kleine Unternehmen sind Unternehmen, die 10 bis 49 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens 10 Mio. Euro haben; mittlere Unternehmen sind Unternehmen, die 50 bis 249 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. Euro haben (Richtlinie (EU) 2003/124 des Rates v. 20.05.2003, ABl. Der EU Nr. L 124/36).

<sup>2</sup> Building Information Modeling wird im Fließtext auch in der abgekürzten Form BIM verwendet.

das BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur] ausgerufene Vorbereitungszeit zwischen 2015 und 2020 war als dreistufiges Verfahren zur vorbereitenden BIM-Anwendungspraxis und Erarbeitung notwendiger Standardisierung vorgesehen. Mit dessen Ende sollte ab 2020, zunächst für Infrastrukturvorhaben, ein definiertes Leistungsniveau I in deutschen Bauprojekten Anwendung finden (vgl. Bramann und May 2015, S. 3). Das Leistungsniveau I ist das angestrebte Resultat eines ministeriellen Stufenmodells zur Vorbereitung der deutschen Bauwirtschaft auf den Einsatz der BIM-Arbeitsmethodik. Es beinhaltet u.a. die Festschreibung digitaler BIM-Leistungen als Vertragsbestandteil sowie die Kennzeichnung der Zuständigkeiten, Abläufe und informationstechnischen Schnittstellen im BIM-Beschaffungsprozess. Des Weiteren umfasst das Leistungsniveau I eine Überprüfung potenzieller Auftragnehmer im Vergabeverfahren auf BIM-Kompetenzen für die vertraglich geforderten BIM-Leistungen (vgl. Bramann und May 2015, S. 9–11).<sup>3</sup> Bauunternehmen ohne BIM-Expertise und ohne intern durchführbaren BIM-Workflow werden wettbewerbsfähig bei öffentlichen Verträgen zukünftig benachteiligt sein. Derzeitige BIM-Anwendungsstudien zeigen, dass sich ungeübte BIM-Anwender nach wie vor mit vielfältigen BIM-Herausforderungen konfrontiert sehen, bevor die wirtschaftlichen Vorteile deutlich erkennbar werden. Die Anwendungsquote ist demzufolge nach wie vor gering ausgeprägt und ein Großteil der bauplanenden und bauausführenden Unternehmen befindet sich auch im Jahr 2022 vor einer Erstanwendung. (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2020; Cacciatore und Kaiser 2018). Es bedarf gleichwohl eines gemeinsamen Verständnisses der Methodik innerhalb der Leistungsphasen unter den Bauprojektakteuren, um digitalen Erfolg zu verzeichnen.

Die vorliegende Arbeit greift diese Problemstellung auf und evaluiert die BIM-Anwendungsrealität und die damit im Zusammenhang stehenden überrepräsentierten Kompetenzlücken erstanwendender BIM-Akteure.

Das Ziel der Arbeit ist, die flächendeckende und fehlerfreie BIM-Anwendung durch ein Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken zu unterstützen [gewerke- und phasenübergreifend]. Dieses übergeordnete Ziel teilt sich in drei Unterziele [Abb. 1]:

1. Evaluierung von notwendigen BIM-Strukturen in Bauprojekten und Ableitung eines BIM-Strukturmodells zur Anwendung für KMU,
2. Analyse von BIM-Anwendungsfällen im IST-Zustand, Ermittlung der erfolgskritischen Faktoren [ekF]<sup>4</sup> und Zuordnung zum BIM-Strukturmodell,

---

<sup>3</sup> Eine detaillierte Beschreibung zum Leistungsniveau I ist dem Kapitel 4.2 zu entnehmen.

<sup>4</sup> Im Text wird sowohl die Abkürzung ekF als auch die ausgeschriebene Form [erfolgskritische Faktoren] verwendet.

3. Entwicklung eines unterstützenden BIM-Anwendungsinstruments für KMU mit Risikoverortung.<sup>5</sup>

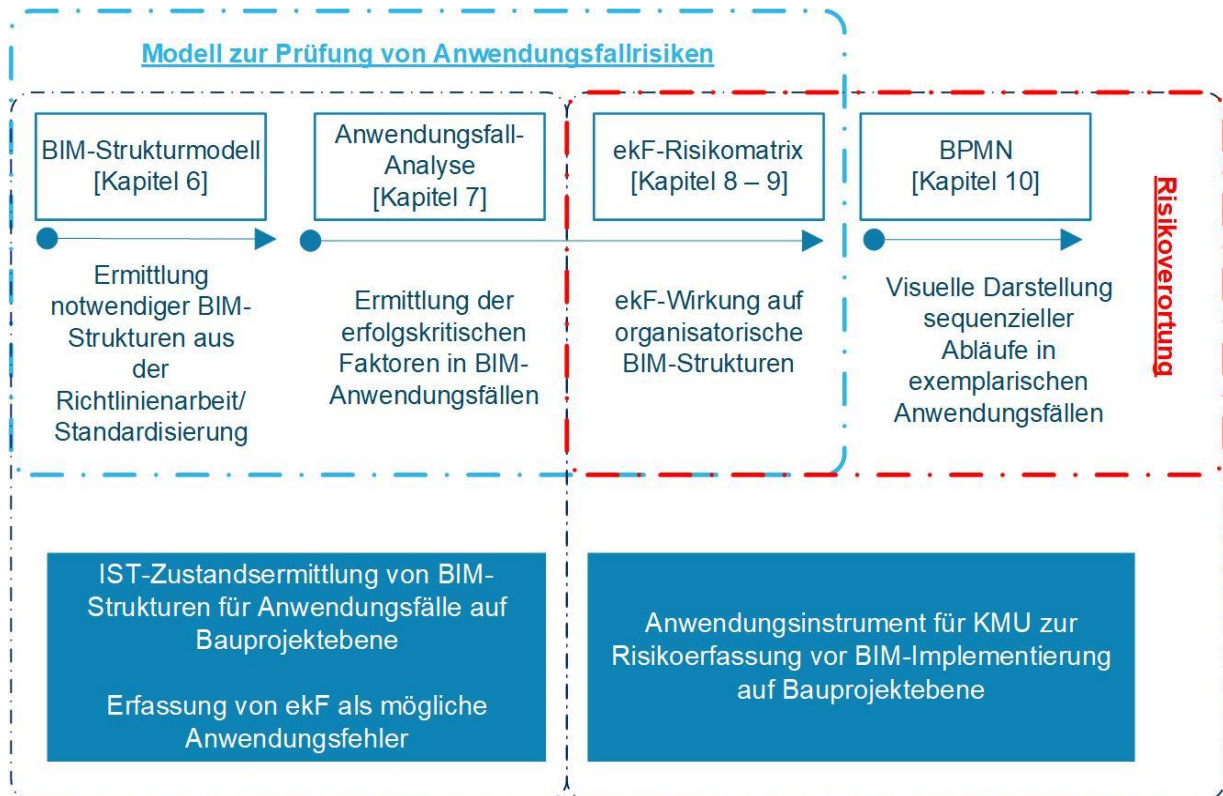


Abbildung 1: Modellentwicklung zur Anwendungsfallanalyse

Das BIM-Strukturmodell bildet den Rahmen der Zustandsermittlung. Es definiert die notwendigen BIM-Bedingungen im Bauprojekt. Die Modellprojekte werden auf Bauprojektebene analysiert, weshalb die Organisationsstrukturen für BIM-Projekte im Fokus der Analyse stehen. Da die Einführung und Anwendung der BIM-Methodik einen Veränderungsprozess begründet, ist die Beachtung organisationaler Veränderungen für die Entwicklung des BIM-Strukturmodells grundlegend (vgl. Liebich et al. 2018, S. 26). Die IST-Zustandsermittlung definiert sich als Analyse aus Modellprojekten der Vorbereitungsphase auf Leistungsniveau I nach Bramann und May 2015 mit KMU-Beteiligung. Die BIM-anwendende Zielgruppe sind auftragnehmende Planungs- und Bauausführungsunternehmen. Die gesammelten Anwendungsfälle [AWF] aus der AWF-Analyse münden in einer ekF-Risikomatrix zum ganzheitlichen Überblick über risikobehaftete AWF- und BIM-Strukturbereiche. Zusammen mit den exemplarisch abgeleiteten BPMN ist die ekF-Risikomatrix die Risikoverortung für BIM-Anwendungsfälle. Die BPMN-Übersichten dienen der Risikosensibilisierung, während das BIM-Strukturmodell ein Nachschlagewerk zur Fehlervermeidung für die KMU-Zielgruppe ist. Es werden keine individuellen Unternehmensorganisationen betrachtet, sondern das Bauprojekt als Organisation, in der

<sup>5</sup> Darstellung als BPMN [Business Process Model and Notation]: vertikale und horizontale Sequenzflüsse zur Standardisierung von Prozessen [Erläuterung im Kapitel 2.4].

vielfältige BIM-AWF Anwendung finden. Die Ergebnisse können demgemäß in einer Bauprojektorganisation, aber auch für einzelne KMU Anwendung finden.

Mit diesem Vorgehen soll der geringen Anwendungspraxis der BIM-Methodik entgegengewirkt werden (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2019, 2020; Cacciatore und Kaiser 2018; Helmus et al. 2017). Es ist zu vermuten, dass sich die auftraggeberseitigen Forderungen nach BIM-Leistungen zukünftig über den öffentlichen Infrastrukturbau in weitere Bereiche ausdehnen werden (vgl. Bramann und May 2015, S. 3). Als Folge, sofern die BIM-Anwendungshemmnisse nicht abgebaut werden, kann eine mangelnde Wettbewerbsfähigkeit in der vorherrschend KMU-geprägten Struktur der deutschen Bauwirtschaft entstehen.

## **1.2 Stand der Forschung und Abgrenzungen**

Die von der öffentlichen Hand vorgesehene Vorbereitungszeit seit 2015 bis zur wettbewerbsreifen BIM-Praktizierung in Deutschland ab 2020 für Infrastrukturbauvorhaben erscheint als nicht ausreichend für die risikofreie Anwendung in Bauprojekten (vgl. Bramann und May 2015, S. 5). Aktuelle Befragungen der deutschen Bauindustrie verdeutlichen, dass rund 70 % der auftragnehmenden Unternehmen die Kompetenzen zur Anwendung der digitalen Arbeitsmethodik BIM auch im Jahr 2020 als stark defizitär und herausfordernd bewerten (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2020, S. 16).

Es sind verschiedene BIM-Implementierungshilfen und Handreichungen zur Unterstützung der flächendeckenden BIM-Anwendung in Deutschland von unabhängigen Initiativen, im Rahmen von Forschungsprojekten und von öffentlichen Institutionen erarbeitet worden. Der BIM-Leitfaden für Deutschland im Jahr 2013 stellt – noch vor der Vorbereitungszeit auf das Leistungsniveau I – eine erste überblicksartige Information zur BIM-Arbeitsmethodik dar (vgl. Egger et al. 2013, S. 9).<sup>6</sup> Demgegenüber sind gezielte Bestrebungen zur Standardisierung von BIM-Anwendungen ab 2018 verstärkt erkennbar [Abb. 2].

---

<sup>6</sup> Die Inhalte des BIM-Leitfadens beziehen sich 2013 auf: Strukturen von Bauwerksmodellen, Modellelemente, Fertigstellungsgrade, Nutzung auf Projektebene als konsistente digitale Arbeitsmethodik, Möglichkeiten des Informationsmanagements mit BIM und notwendige Rahmenbedingungen (vgl. Egger et al. 2013).

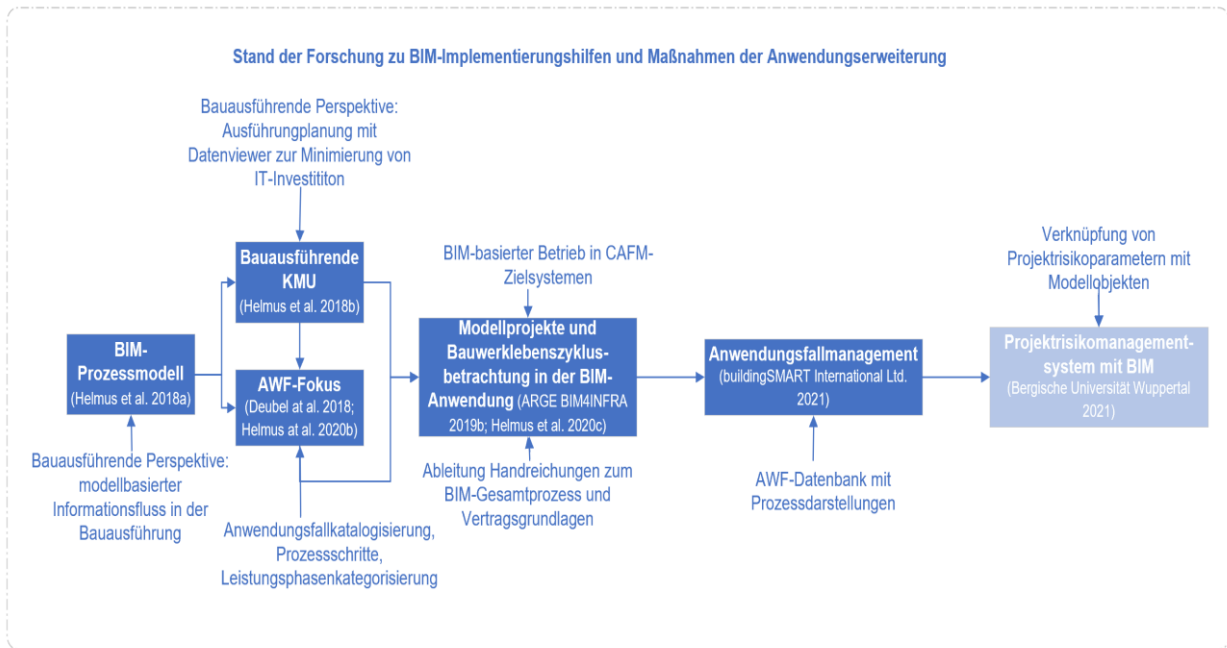


Abbildung 2: Stand der Forschung

Seit 2018 ist ein spezifischerer Fokus zur Entwicklung eines allgemeingültigen BIM-Prozessmodells zu erkennen. Zunächst wird für bauausführende Unternehmen das Ziel adressiert, den modellbasierten Informationsfluss in bauausführenden Leistungsphasen zu vereinfachen – besonders auf die Definition von Informationsaustauschanforderungen und auf die Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Gebäudedatenmodelle, um diese im Aufbau zu vereinheitlichen (vgl. Helmus et al. 2018a). Ebenfalls 2018 wurden KMU der Bauwirtschaft und deren Herausforderungen in der BIM-Anwendung im Speziellen betrachtet. Auch hier lag der Fokus auf bauausführenden Unternehmen. Vordergründig ist die Arbeitsplanung unter Anwendung eines Datenviewers evaluiert worden, um nicht native Modellierungssoftware nutzen zu müssen und dennoch gewerkespezifische BIM-Modellinformationen ableiten zu können. Damit sollte eine Verringerung der Investitionsquoten für informationstechnische BIM-Systeme angestrebt werden, um die finanzielle Herausforderung für KMU zu minimieren (vgl. Helmus et al. 2018b).

Eine spezifische BIM-Anwendungsfallperspektive nahmen 2018 bis 2020 Deubel et al. 2018 und Helmus et al. 2020b ein. Anwendungsfälle<sup>7</sup> wurden identifiziert und nach Projektbeteiligten und -phasen kategorisiert. Das Ziel war die Katalogisierung und Visualisierung von Anwendungsfällen in ihren Prozessschritten und die Einbeziehung der Auftraggeberperspektive, um zu ermitteln, welche BIM-Leistungen beauftragt werden können. Eine Validierung wurde dabei über Experteninterviews erreicht (vgl. Deubel et al. 2018). Es

<sup>7</sup> Der Begriff Anwendungsfall wird synonym mit der Abkürzung AWF im Text verwendet.

wurde ein Leitfaden zum Aufbau von BIM-Anwendungsfällen entwickelt, der konkrete Strukturebenen umfasst (vgl. Helmus et al. 2020b).<sup>8</sup>

Parallel wurde durch die ARGE BIM4INFRA und Helmus et al. 2020c der ganzheitliche Lebenszyklus für Bauwerke<sup>9</sup> in Verbindung mit der BIM-Arbeitsmethodik beachtet. Auf Basis praktizierter BIM-Modellprojekte in Deutschland gab die ARGE BIM4INFRA Handreichungen zum BIM-Gesamtprozess über alle Lebenszyklusphasen sowie für Vertragsgrundlagen heraus, deren Ergebnisse überblicksartige Leitfäden zu praktizierten BIM-Anwendungsfällen, BIM-Leistungsbeschreibungen als Muster für besondere Vertragsbedingungen sowie informationstechnologische Datenaustauschmöglichkeiten einschließen (vgl. ARGE BIM4INFRA 2019b, Teile 1 - 10). Im Jahr 2020 erfolgte eine Untersuchung zum BIM-basierten Betreiben durch Helmus et al. 2020c. Die Resultate zum aktuellen Stand der Technik in CAFM-Zielsystemen [Computer-Aided Facility Management] ließ die Ableitung eines Prozessmodells für AWF der Bauobjektnutzung zu (vgl. Helmus et al. 2020c).

Das buildingSMART Use Case Management entwickelte 2021 eine sich erweiternde Datenbank, die ebenfalls die Prozessperspektive von Anwendungsfällen verfolgt. Mit dem Ziel der vereinheitlichten Darstellung von BIM-Anwendungsfällen lassen sich hinterlegte AWF nach Bausektor, Region und Sprache filtern. Die AWF sind den Leistungsphasen nach HOAI und den Akteuren entsprechend dem BIM-Rollenverständnis zugeordnet. Dabei findet die Anwendungsfallstruktur, wie in Helmus et al. 2020b erläutert, Anwendung. Bisher sind nicht alle AWF mit Prozessdarstellungen versehen und die derzeitige Auswahl von Anwendungsfällen ist noch begrenzt und nicht lebenszyklusübergreifend. Perspektivisch sollen die AWF-Mehrwerte, AWF-Zielstellungen und mehrdimensionale Workflowdarstellungen verzeichnet werden (vgl. buildingSMART International Ltd. 2021).

Das Bestreben ein effizientes Risikomanagementsystem für die Erfassung allgemeiner Bauprojektisiken aufzubauen soll durch die BIM-Methode bis 2022 realisiert sein. Mit dem Fokus auf verlässliche Termin- und Kostenprognosen über die gesamte Bauprojekt-dauer werden in diesem Forschungsvorhaben Projektisiken bis auf Bauteilebene im Datenmodell verknüpft. Die Betrachtung erfolgt aus Bauunternehmens- und Bauherrenperspektive. Das angestrebte Resultat ist ein transparenter Informationsfluss im Risikomanagement von Bauprojekten (vgl. Bergische Universität Wuppertal 2021).

---

<sup>8</sup> Dazu gehören die BIM-Zieldefinition, der Mehrwert der BIM-Anwendung, die Kurzbeschreibung der BIM-Anwendung, Voraussetzungen, Workflowdarstellung, Spezifikation der Prozesse, Informationseinheiten, Ergänzung um Model View Definition: Erstellung anwendungsfallbezogener MVD – Model View Definition: die MVD-Erläuterung erfolgt in Kapitel 9.4.

<sup>9</sup> Lebenszyklus-Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.

Die Recherche zeigt, dass der Forschungsschwerpunkt insbesondere zwischen 2018 und 2021 in der Anwendungsfallperspektive liegt, um standardisierte BIM-Aufgaben und -Prozesse voranzutreiben. Damit wird das Ziel verfolgt, ein einheitliches Anwendungsvorgehen in der Baupraxis umzusetzen und die Übertragung der Grundleistungen und besonderen Leistungen nach HOAI [Honorarordnung für Architekten und Ingenieure] zu fördern.

Wie bereits erläutert, ist die tatsächliche BIM-Anwendung in deutschen Bauprojekten in 2022 weiterhin gehemmt. Die Erfassung erfolgskritischer Faktoren [ekF] in konkreten BIM-Anwendungsfällen ist bisher unterrepräsentiert. Im Unterschied zum zitierten Forschungsstand ist das Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit nicht auf Interview-Basis aufgebaut, sondern basiert auf den Erkenntnissen durchgeführter BIM-Modellprojekte in Deutschland. Eine realistische Zustandsdarstellung derzeitiger anwendungsreifer Szenarien ergibt sich vordergründig durch die Einbeziehung von Modellprojekten. Eine spezifische KMU-Betrachtung ist bisher lediglich im Vorhaben von Helmus et al. 2018b für die Bauausführung gegeben. Demzufolge werden in dieser Arbeit Anwendungsrisiken aus konkreten BIM-Anwendungsfällen in Modellprojekten mit KMU-Beteiligung evaluiert, um herauszufinden, welche erfolgskritischen Faktoren nach wie vor die BIM-Anwendung hemmen. Dies erfolgt unter Einbeziehung der aktuell geltenden Richtlinien und Normen, um die notwendige BIM-Struktur im Projekt und die Abläufe der BIM-Anwendungsfälle bestimmen zu können:

1. Abbildung der digitalen Zustandsrealität der deutschen Bauwirtschaft,
2. Erarbeitung eines BIM-Strukturmodells mit erfolgsrelevanten Struktureinheiten für BIM-basierte Bauprojekte,
3. Beachtung von Organisationsstrukturen in Veränderungssituationen für digitalen Erfolg in Wandlungsprozessen,
4. BIM-Anwendungsfälle: Darstellung einer Kollektion erfolgskritischer Faktoren mit Risikobezug,
5. Ableitung eines Überprüfungsschemas und einer Risikomatrix zur Darstellung kritischer BIM-Strukturbereiche in derzeit angewandten BIM-Anwendungsfällen als ekF-Risikomatrix,
6. Ableitung einer BPMN-Darstellung als visuelles Tool für BIM-Erstanwendende in sequenzieller Workflowdarstellung für Anwendungsfälle zur schnellen Risikoerfassung.

Die Ergebnisse lassen sich durch die bauplanenden und -ausführenden Akteure der Bauwirtschaft anwenden. Die Einbeziehung mehrerer schematisch recherchierter BIM-Modellprojekte und der Synthese dieser Daten ermöglichen eine weitreichende Erfassung erfolgskritischer Faktoren [Kapitel 7 - 9]. Die Erkenntnisse sind vom Stand der Forschung abzugrenzen, da die Entwicklung eines BIM-Strukturmodells [Kapitel 6] im Zusammenhang mit der Evaluation erfolgskritischer Faktoren der BIM-Anwendung ein anwendbares Instrument für Workflow-Risiko-Darstellungen bietet. Die vorliegende Arbeit thematisiert BIM im Kontext organisatorischer Veränderungsprozesse. Die Herausforderung besteht darin, einen niederschweligen Zugang für bauwirtschaftliche Unternehmen in Deutschland zu

ermöglichen. Dabei wird ein Risikobewusstsein für erstanwendende Akteure geschaffen, um den digitalen Erfolg zu unterstützen. Aufgrund des Modellprojektbezugs aus verschiedenen Forschungsvorhaben lässt sich eine hohe Anwendungsfallzahl darstellen.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht aus 11 Kapiteln [Abb. 3].

Kapitel	Titel	Inhalt	Forschungsteilbereich	Ergebnis
1;2	Untersuchungsgegenstand; Phasen des Forschungsprozesses	Hintergrund und Zielstellung      Stand der Forschung      Skizzierung der Phasen des Forschungsprozesses; Teilbereiche A - C		Problemstellung und Forschungsdesign
3	Gegenwärtige Digitalisierungsrealität	Datenbankrecherche zur Digitalisierungsrealität zwischen 2015 und 2020      Datenbankrecherche zur Struktur der deutschen Bauwirtschaft	A	Darstellung des IST-Zustandes der Digitalisierung und der KMU-Besonderheit der Bauwirtschaft
4	BIM als digitale Arbeitsmethodik	Definition und systemtheoretische Einordnung von BIM-Anwendungsfällen      Datenbankrecherche zu BIM-Anwendungsrealität in der Bauwirtschaft von 2015 bis 2020		Darstellung der BIM-Anwendungsrealität [Auftragnehmerperspektive]
5	Determinanten des Change Managements	Organisationsstrukturen; Determinanten in Veränderungsprozessen	B	konzeptioneller Bezugsrahmen für das BIM-Strukturmodell; BIM als Transformationsprozess
6	BIM-Strukturmodellentwicklung im Organisationskontext	notwendige BIM-Strukturbereiche in BIM-basierten Bauprojekten	C	Entwicklung BIM-Strukturmodell für die ekF-Analyse
7	Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken	Erläuterung der Modellphasen; Evaluation der BIM-Anwendungsfälle		Übersicht über angewandte AWF in den Modellprojekten
8	ekF-Risikomatrix	ganzheitliche ekF-Zuordnung zum BIM-Strukturmodell		Übersicht aller ekF in Strukturbereichen
9	BIM-Strukturmodellanwendung	exemplarische ekF-Erläuterung in Anwendungsfällen unter Anwendung des BIM-Strukturmodells		exemplarische Erläuterung in den AWF
10	Risikoverortung	Risikounterschiede zwischen den Anwendungsfällen; Näherungsmatrix nach Jaccard		BPMN-Darstellung als abgeleitetes Anwendungsinstrument für KMU: Risikodarstellung in den Anwendungsfällen und BIM-Strukturbereichen
11	Fazit und Ausblick	Diskussion des empirischen Teils      Gesamtfazit und Ausblick		Darstellung der Nutzbarkeit des Modells

Abbildung 3: Kapitelaufbau der Arbeit

Kapitel 1 adressiert die Problemstellung zur derzeitigen BIM-Anwendung in deutschen Bauprojekten. Die Zielstellung der Arbeit wird erläutert. Definiert werden überdies der Forschungsstand auf BIM-Anwendungsfallebene sowie die Abgrenzung der vorliegenden Arbeit. Angewandte Konventionen im Schriftbild der Arbeit sind ebenfalls im Kapitel 1 erläutert. Kapitel 2 konkretisiert die angewandte Methode. Kapitel 3 und 4 definieren die Darstellung der gesamtwirtschaftlichen und bauwirtschaftlichen Digitalisierungsrealität. Des Weiteren wird die besondere Struktur der deutschen Bauwirtschaft in der Bauplanung und im Bauhauptgewerbe ermittelt. Darauf aufbauend wird die digitale Arbeitsmethodik BIM auf verschiedenen Definitionsebenen erfasst und erfährt eine systemtheoretische Einordnung in die Anwendungsfallperspektive. Mit einer Datenbankrecherche zwischen 2015 und 2020 soll die BIM-Anwendungsentwicklung in der Perspektive auftragnehmender Unternehmen erfasst werden. Diese Inhalte begründen den Forschungsteilbereich A.

Im Kapitel 5 wird ermittelt, welche Determinanten des Change Managements die Strukturbereiche eines Wandlungsprozesses definieren. Diese systemtheoretische



Einordnung begründet den Forschungsteilbereich B. Im Kapitel 6 wird die Entwicklung des BIM-Strukturmodells erarbeitet. Kapitel 7 fokussiert sich auf die Erläuterung des Modells zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken sowie auf die Evaluation der Anwendungsfälle aus den Modellprojekten. In Kapitel 8 sind die erfolgskritischen Faktoren [ekF] ganzheitlich als Risikomatrix in Zuordnung zu BIM-Strukturbereichen dargestellt. Kapitel 9 beschreibt die BIM-Strukturmodell-anwendung exemplarisch, indem konkrete BIM-Anwendungsfälle und deren ekF je Strukturbereich erläutert werden. Kapitel 10 umfasst die Risikoverortung. Die inhaltlichen Unterschiede von Anwendungsfällen [AWF] in ihrer Risikoausprägung werden geschildert. Innerhalb von BPMN-Ansichten werden die Risiken der sequenziellen Abläufe von BIM-Anwendungsfällen optisch zugeordnet. Außerdem wird die Analyse aus den Kapiteln 7 – 10 diskutiert. Die Abhandlungen in den Kapiteln 7 – 10 bilden den Forschungsteilbereich C. Abschließend wird in Kapitel 11 ein Gesamtfazit der Arbeit gezogen und ein Ausblick auf anknüpfende Forschungsbereiche erarbeitet.

#### 1.4 Konventionen

Folgende Konventionen gelten für die vorliegende Arbeit.

Die **maskuline und feminine Schreibweise** werden gleichwertig behandelt, ohne dass beide Formen ausformuliert werden.

Die **indirekte Zitierweise** erfolgt im Text als Kurzbeleg nach der Harvard-Zitierweise (vgl. Autor, Jahr, Seite). Diese Form wird für Monografien, Sammelwerke und Journalartikel angewendet. Ein gesondertes Vorgehen findet sich gemäß der Zitationsrichtlinie nach Theisen für Gesetze, Gesetzeskommentare, Normen und Richtlinien sowie Internetdokumente (vgl. Theisen und Theisen 2017, 164; 181-185).

Die **direkte Zitierweise** wird ebenfalls im Text als Kurzbeleg nach der Harvard-Zitierweise (Autor, Jahr, Seite) in Anführungszeichen genutzt.

**Zitationen für Abbildungen und Tabellen im Text** mit inhaltlicher Übernahme aus einer Quelle erfolgen mit dem Hinweis in Anlehnung an; bei vollständiger inhaltlicher und grafischer Übernahme der Grafik erfolgt die direkte Zitation unter der Abbildung oder Tabelle.

**Unter Abbildungen**, die direkt den Primärdokumenten [nicht veröffentlicht: Modellierungstagebuch; Protokolle; Besprechungsroutinen] entnommen sind, erfolgt der Verweis Projektauswertung.

**Abbildungen und Tabellen ohne Zitationshinweise** sind eigene Darstellungen. **Abbildungen und Tabellen** werden im Text bei Verweis auf deren Nummerierung abgekürzt verwendet [Abb.; Tab.]. In der Tabellen- und Abbildungsunterschrift werden die Begriffe ausgeschrieben.

**Fußnotenerläuterungen** dienen der Kurzbeschreibung lokaler Sinnzusammenhänge und werden eingefügt, um den Textfluss nicht zu beeinträchtigen.

**Im Umgang mit fremdsprachlicher Literatur** erfolgt eine direkte Übersetzung, um sich im gesamtsprachlichen Gefüge einzuordnen. In einigen Fällen werden Originale übernommen und in eckige Klammern gesetzt, um Informationsverluste aus Übersetzungen zu vermeiden. Bei **bedeutungsgleichen Begriffen** wird in der Fußnote auf eine synonyme Verwendung hingewiesen.

**Eckige Klammern** enthalten im Fließtext Zusatzinformationen oder Verweise [inhaltliche Erläuterungen, Verweise auf Abbildungen, Tabellen, Anhang].

**Abkürzungen**, die im Text verwendet werden, sind im Abkürzungsverzeichnis enthalten und werden bei der ersten Verwendung im Text erläutert.

Der **Anhang** wird der Arbeit als gesondertes Druckzeugnis beigelegt. Die Bestandteile sind im Anhangverzeichnis mit fortlaufender Seitenzahl gekennzeichnet.

## 2. Phasen des Forschungsprozesses

### 2.1 Übersicht über den Forschungsprozess

Der Forschungsprozess gliedert sich wie folgt in die Phasen A bis C [Abb. 4].

<b>A</b>		<b>Forschungsteilbereich A: Digitalisierungsrealität</b>	<b>Methode</b>	<b>Kapitel</b>
A.1	<b>Forschungssynthese</b>	deutsche Wirtschaft in branchenvielfältiger Betrachtung	<b>systematisches Review</b>	3
A.2		deutsches Bauhaupt- mit Ausbaugewerbe, Bauplanungswirtschaft		
A.3		Anwendungsrealität Building Information Modeling: Bauhaupt- mit Ausbaugewerbe, Bauplanungswirtschaft		4
<b>B</b>		<b>Forschungsteilbereich B: systemtheoretische Einordnung von Organisationsstrukturen in das Change Management</b>		5 - 6
<b>C</b>		<b>Forschungsteilbereich C: Analyse erfolgskritischer Faktoren in Building Information Modeling - Anwendungsfällen</b>	<b>Methode</b>	<b>Kapitel</b>
C.1	<b>Modell zur Prüfung von Anwendungsfällen</b>	forschungsgenerierte Dokumentenanalyse	<b>qualitative Inhaltsanalyse</b>	7
C.2		BIM-Strukturmodell-anwendung [notwendige Strukturbereiche der BIM-Anwendung]	<b>konzeptioneller Bezugsrahmen</b>	8 - 10
C.3		Faktorenkollektion, -allokation -aggregation [ekF]	<b>ekF-Matrix und Risikoverortung</b>	

Abbildung 4: Phasen des Forschungsprozesses

Teil A fasst die Digitalisierungsrealität der deutschen Wirtschaft auf Basis von Sekundärdaten zusammen. Die Dreiteilung A.1 bis A.3 gewährt einen Überblick über die gesamtwirtschaftliche Situation in Deutschland. Verdeutlicht werden allgemeine Herausforderungen der digitalen Transformation in spezifischen Bereichen der deutschen Bauwirtschaft sowie für die Anwendung der Methodik BIM [Abb. 5].

Teil B bezieht sich auf die organisationstheoretische Einordnung der digitalen Transformation durch BIM. Das Change Management und die damit im Zusammenhang stehenden erfolgskritischen Faktoren als Bestandteil des Change Monitoring in Veränderungsprozessen werden theoretisch erläutert.

Teil C beschreibt Evaluation erfolgskritischer Faktoren in BIM-Anwendungsfällen [Abb. 6]. In Teilbereich C.1 wird die forschungsgenerierte Dokumentenanalyse erläutert. Diese inkludiert eine qualitative Inhaltsanalyse auf Basis vorliegender Dokumente der einbezogenen

Modellprojekte. Teilbereich C.2 generiert den konzeptionellen Bezugsrahmen durch ein Strukturmodell. Die Erkenntnisse sollen zeigen, in welchen Strukturbereichen in Bauprojekten erfolgskritische Faktoren der BIM-Anwendung im Besonderen wirken. Teilbereich C.3 baut eine Faktorenkollektion auf. Darin werden ekF den entsprechenden BIM-Anwendungsfällen und den BIM-Strukturbereichen zugeordnet. Es folgt eine Risikoverortung in den evaluierten Anwendungsfällen und die Sammlung aller evaluierten ekF in einer Risikomatrix. C.1 bis C.3 bilden das Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken.

## 2.2 Forschungsdesign Teilbereich A

Um den gegenwärtigen Digitalisierungsstand innerhalb der Stufen A.1 bis A.3 [Abb. 4] abbilden zu können, bedarf es der Einbeziehung reliabler Studien im gleichen Erhebungsdesign zur Repräsentation einer Grundgesamtheit. Mit dem Ziel der Aggregation einzelner Forschungsergebnisse zu einer Gesamtaussage wird ein forschungssynthetisierendes Vorgehen verfolgt, das die Erkenntnisse thematisch geeigneter Erhebungen erfasst und konsolidiert. Diverse aggregierende Verfahren sind gegeneinander abzuwägen. Der hier aufgeworfene Aussageschwerpunkt zur Digitalisierungsrealität wird in Form eines systematischen Reviews bearbeitet. Demgegenüber stehen die methodischen Vorgehensweisen einer Metaanalyse sowie eines narrativen Reviews. Die kritische Diskussion zur Abwägung zwischen diesen Syntheseformen und letztlich die Entscheidung für das systematische Review ist im Anhang 1 zur Vollständigkeit der Ausführungen zu entnehmen. Abb. 5 veranschaulicht das Stufenmodell des systematischen Reviews. Die Schritte 1 – 4 finden gleichzeitig in den Kapiteln 3 und 4 Anwendung. Auf diese Weise kann die Evaluation des derzeitigen digitalen Status für die gesamte deutsche Wirtschaft, die deutsche Bauwirtschaft und die Building Information Modeling vollzogen werden.

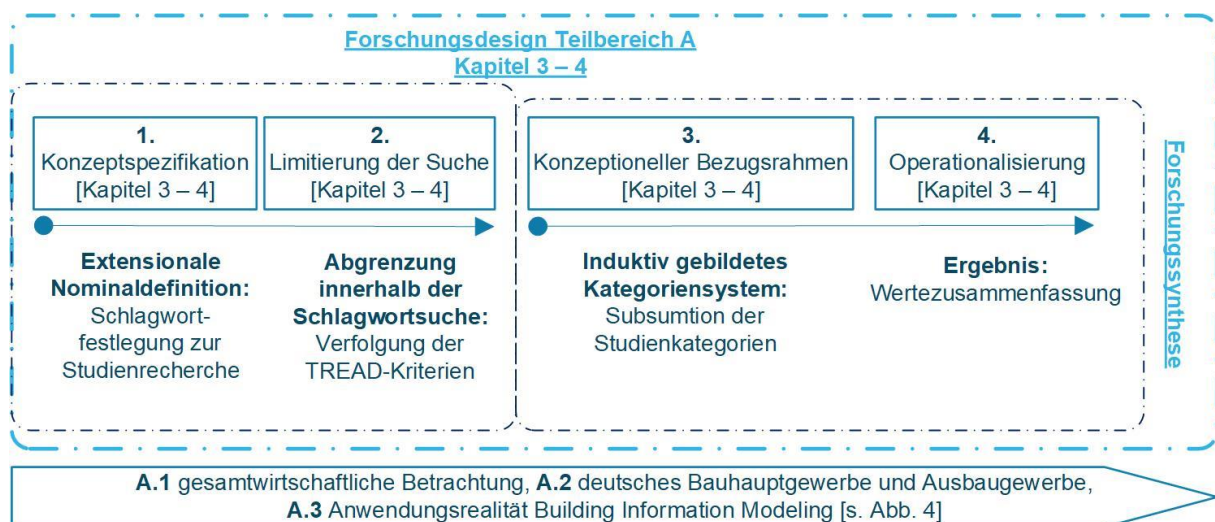


Abbildung 5: Forschungsdesign Teilbereich A (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Döring und Bortz 2016, S. 225–232; Schneider und Albert 2019, S. 8; Booth et al. 2016, S. 36)

Um die Nachvollziehbarkeit und Eindeutigkeit des gebildeten Konzeptes abzubilden [1. Konzeptspezifikation, Abb. 5]<sup>10</sup> gilt für das hier verfolgte Review eine extensionale Nominaldefinition. Sie bezeichnet den für die Forschung bedeutsamen abgesteckten Rahmen. (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 225). Im konkret beschriebenen Review benennt das die Schlagwortauswahl und somit die Eingrenzung innerhalb der Suche problemadäquater Studien. Es ergibt sich eine Schlagwortliste als Suchmechanismus, die an den Zielstellungen der Arbeit ausgerichtet ist. Die Recherche wird in den Kapiteln 3 und 4 aufgegriffen.

In Verbindung mit der TREAD-Methode [Time; Resources; Expertise; Audience and Purpose; Data] nach Booth et al. 2016 werden die einzubeziehenden Studien ausgewählt [2. Limitierung der Suche, Abb. 5]. Somit wird eine systematische Herangehensweise für eine überblicksartige Studienaggregation geschaffen (vgl. Schneider und Albert 2019, S. 8; vgl. Booth et al. 2016, S. 36). Das Kapitel 3.2 zur Digitalisierungsrealität zeigt die konkrete Verschlagwortung, die mit dem Kern dieses Untersuchungsschwerpunkts in Verbindung stehen. Entsprechend der TREAD-Beschränkung nach Booth et al. 2016 ergibt sich aus den vorgelagerten Überlegungen und dem Abgleich der Limitierungskriterien, dass für die Zusammentragung der Studien zur überblicksartigen Aussage das Rapid Review als Unterform des systematischen Reviews Anwendung finden sollte. Die TREAD-Methodik [Tab. 1] definiert Abgrenzungskriterien innerhalb der Schlagwortsuche und ermöglicht die objektive Auswahl zu inkludierender Überblicksstudien in der Sekundärdatenforschung (vgl. Booth et al. 2016, S. 36).

<b>TREAD</b>	<b>Limitierung</b>
Zeit [Time]	Erhebungsjahre der einbezogenen Studien
Ressourcen [Resources]	verwendete Datenbanken zur Ressourcenauswahl
Expertise [Expertise]	transparente Methodendarstellung: Studiendesign
Zweck und Zielpublikum [Audience and Purpose]	formulierte Studienziele
Daten [Data]	Quantität, Qualität, Verfügbarkeit

*Tabelle 1: Beschränkungen im Rapid Review nach der TREAD-Methode (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Booth et al. 2016, S. 10–37)*

Aus dem zugrunde liegenden Studienmaterial bilden sich die forschungsseitig überrepräsentierten Kategorien heraus, um die tatsächliche Digitalisierungsrealität zu erfassen [3. konzeptioneller Bezugsrahmen: gesamtwirtschaftlich, bauwirtschaftlich, BIM-anwendungsspezifisch, Abb. 5]. Döring und Bortz verweisen bei dieser Form der Kategorienbildung auf die Verdichtung vorliegender Daten (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 223). Die enthaltenen Kategorien der berücksichtigten Studien sind die Analyseeinheiten. Es

<sup>10</sup> Konzeptspezifikation: zur Überprüfung einer These ist die eindeutige Definition des Rahmens notwendig: Rahmen meint theoretische Konzepte oder definierte Kriterien, die das Konzept begründen. Daran schließt sich die Operationalisierung an, die festlegt, anhand welcher Indikatoren die Konzepte zu messen sind (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 222–223).

erfolgt die Zusammenfassung und Interpretation nach Sinneinheiten (vgl. Kuckartz et al. 2008, 39 f.)

Die Operationalisierung legt die beobachtbaren Variablen [Indikatoren] und deren Erfassungsmöglichkeiten innerhalb des Bezugsrahmens fest [4. Operationalisierung, Abb. 5]. Auf diese Weise können die Indikatoren gemessen werden. Das Messniveau ist von der möglichen Skalierung abhängig (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 228–231). Die Operationalisierung dieses systematischen Reviews bezieht sich auf die Häufigkeitsausprägungen innerhalb der einbezogenen Studien. Um einen Gesamtwert zu ermitteln, werden die kumulierten Häufigkeitsausprägungen erfasst, die sich auf Basis des jeweiligen Stichprobenumfangs je Studie aggregieren lassen. Auf rein statistische Signifikanztests ist in Anwendung des Rapid Reviews zu verzichten. Hierfür müssten alle erfassten Indikatoren von metrischem Skalenniveau sein, was in diesem Fall nicht gegeben ist. Eine entsprechende Belastbarkeit würde in Frage gestellt. Das erläuterte Vorgehen wirkt dem entgegen.

### **2.3 Forschungstheoretische Einordnung Teilbereich B**

Innerhalb der forschungstheoretischen Auseinandersetzung wird die BIM-Anwendungsdimension im Bauprojekt erörtert. Strukturebenen in BIM-Anwendungsfällen werden charakterisiert. Danach wird die organisationstheoretische Darstellung des Change Managements vorgenommen, unter welches sich die BIM-Anwendung als digitaler Transformationsprozess einordnen lässt [Kapitel 5]. Dargestellt werden die Determinanten in Wandlungsprozessen in strukturellen Organisationsdimensionen, gefolgt vom Transfer allgemeingültiger und wandlungsbezogener Organisationsstrukturen auf die Bauprojektebene. Auf diese Weise kann der inhaltliche Bezug zwischen BIM-Anwendung und Change Management verdeutlicht werden. Der entstehende konzeptionelle Bezugsrahmen fundiert die Analyse der erfolgskritischen Faktoren. Die Notwendigkeit zur Beachtung des Anwendungsrisikos ist in Kapitel 6 erläutert.

### **2.4 Forschungsdesign Teilbereich C**

Der Teilbereich C befasst sich mit der Evaluierung und Kategorisierung von ekF in BIM-Anwendungsfällen [Abb. 6].

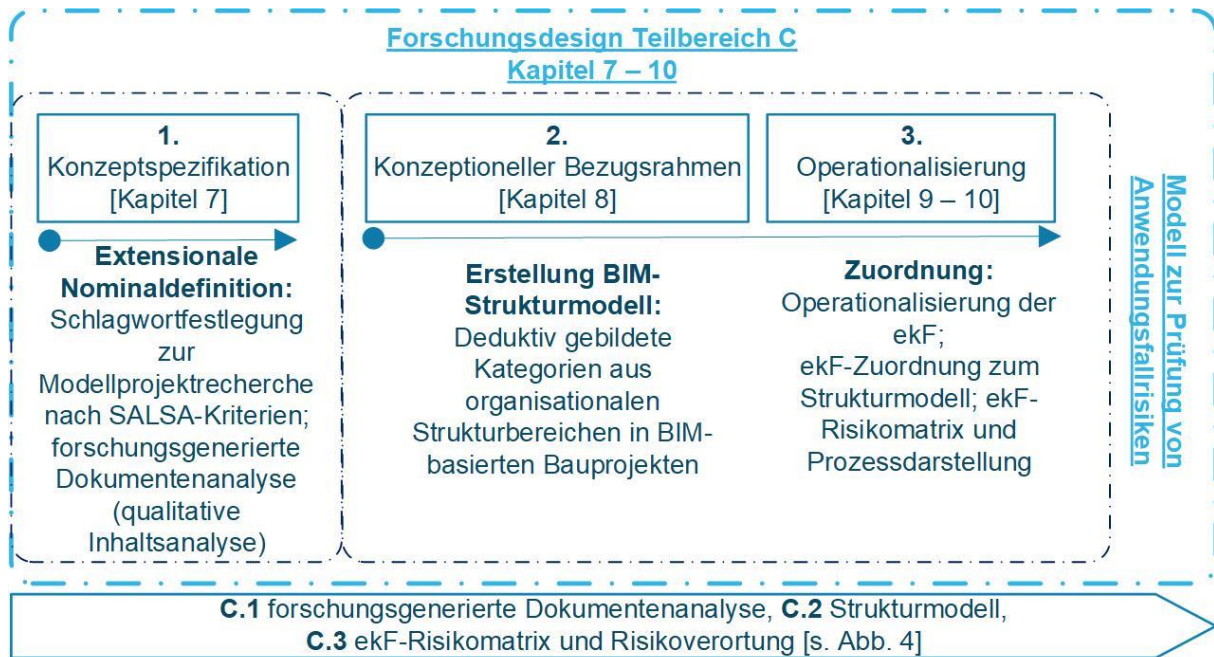


Abbildung 6: Forschungsdesign Teilbereich C (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Döring und Bortz 2016, S. 225)

Die Nominaldefinition bezeichnet den für den Forschungsbereich C abgesteckten Rahmen [1. Konzeptspezifikation, Abb. 6] (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 225). Dieser besteht aus einem Scoping, welches die einzubeziehenden Modellprojekte identifiziert. Im Unterschied zu einem systematischen Review ist diese Methode ein Überblick über die vorliegenden faktischen Gegebenheiten zu einem spezifischen Bereich (vgl. Elm et al. 2019, S. 2), in diesem Fall zum Bereich der BIM-Modellprojekte und darin praktizierten BIM-Anwendungsfällen in Vorbereitung auf das Leistungsniveau I der BIM-Anwendung [erläutert in Kapitel 4.2 - 4.4]. Anhand der SALSA-Kriterien [Search, Appraisal, Synthesis and Analysis] werden aufzunehmende BIM-Modellprojekte als Scoping evaluiert (vgl. Booth et al. 2016, S. 23). Tab. 2 listet die Kriterien. Sie finden innerhalb der Forschungsdatenbank des Fraunhofer Informationszentrums Raum und Bau [IRB] Anwendung.

SALSA	Teilschritte	Kriterien
Suche [Search]	Scoping	Identifizierung gleichartiger Fragestellungen in einzubeziehenden Studien
	Scoping-Suchen	geeignete Datenbanken und Schlüsselworte identifizieren; Identifizierung relevanter Studien
Bewertung [Appraisal]	Qualitätsbewertung und selektive Datenextraktion	Auswahl der vorliegenden Daten für die Interpretation; Beurteilung der Datenqualität
Synthese und Analyse [Synthesis and Analysis]	Datenanalyse und -synthese	Analyse- und Datensynthesetechniken definieren, numerische Interpretation der qualitativen Daten
	Berichterstattung	Ergebnisdarstellung

Tabelle 2: Beschränkungen entsprechend der SALSA-Kriterien im Scoping (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Booth et al. 2016, S. 23; Elm et al. 2019, S. 3–5)

Die Datensynthese erfolgt durch eine forschungsgenerierte Dokumentenanalyse. Diese befasst sich mit Dokumenten, die im Zuge des Forschungsprozesses der einzelnen BIM-Modellprojekte entstanden sind. Als Forschungsform ist sie ein von der Datenart unabhängiges Verfahren zur Datengewinnung und -analyse. Exemplarische Dokumente können Protokolle, Transkripte oder Feldnotizen sein (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 533). Im vorliegenden Fall setzen sich die Dokumente aus der wissenschaftlichen Begleitung der jeweiligen Modellprojekte zusammen, die in Zwischen- und Abschlussberichten sowie Modellierungstagebüchern und Sitzungsprotokollen zusammengefasst sind [Appraisal: Qualitätsbewertung und Datenextraktion]. Der Projektauswahlprozess ist im Kapitel 7 nachzuvollziehen [Search: Scoping].

Um die Dokumente sämtlicher einbezogenen Modellprojekte zu erfassen, wird innerhalb einer qualitativen Inhaltsanalyse [Synthesis & Analysis: Datenanalyse und -synthese] das Datenmaterial entsprechend dem Skalenniveau ausgewertet. Die qualitative Datenanalyse bewegt sich im Bereich kleiner Stichproben und hat den Anspruch der inhaltlichen Gesamterfassung. Innerhalb der BIM-Modellprojektanalyse findet eine heterogene gezielte Stichprobe Anwendung. Die Fallauswahl ähnelt sich in den Zielmerkmalen, während die Daten aus verschiedenen Studien rekrutiert wurden (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 305).

Nach Mayring strukturiert die qualitative Inhaltsanalyse die vorliegenden Dokumente anhand eines Strukturmodells [2. Konzeptioneller Bezugsrahmen. Abb. 6]. Auf diese Weise wird numerisches Datenmaterial extrahiert (vgl. Mayring 2010, S. 66; Döring und Bortz 2016, S. 542). Die Kategorienbildung erfolgt deduktiv abgeleitet auf Basis aktueller Fachliteratur und Standardisierung zu BIM-basierten Strukturen in Organisationen. Die genaue Definition der Kategorien ergibt sich aus der theoretischen Auseinandersetzung mit organisationsbezogenen Determinanten im Change Management und deren Übertragung auf die Bauprojektebene [Kapitel 5 und 6]. Das Ziel besteht darin, die Kategorien zu evaluieren, die aufgrund häufig auftretender erfolgskritischer Faktoren im Besonderen risikobehaftet sind. Folglich lässt sich ableiten, welche Anwendungsfälle mit welcher Art des strukturellen Risikos durch die veränderte digitale BIM-Arbeitsweise vorliegen. Weiterhin sind häufige Anwendungsfehler, die den digitalen Erfolg mindern, ersichtlich. Das Risikoausmaß zeigt die Lücke zwischen der vorgesehenen Standardisierung im Strukturmodell und der in den Modellprojekten tatsächlich aufgetretenen kritischen Faktoren (vgl. Mayring und Frenzl 2019, S. 636). Abb. 7 illustriert die Phasen der qualitativen Inhaltsanalyse. Jeder ekF, der aus den Textstellen evaluiert wird, wird in der Kollektion eindeutig kodiert. Die Allokation ordnet die ekF dem BIM-Strukturmodell zu. Kritische BIM-Strukturbereiche und die direkten Auswirkungen im Anwendungsfall werden sichtbar. Daraus resultierend zeigt die Aggregation Risikounterschiede zwischen den



Anwendungsfällen und leitet das Anwendungsinstrument für KMU ab. Mögliche Bedrohungen der qualitativen Inhaltsanalyse sind zur Vollständigkeit im Anhang 2 nachzulesen.

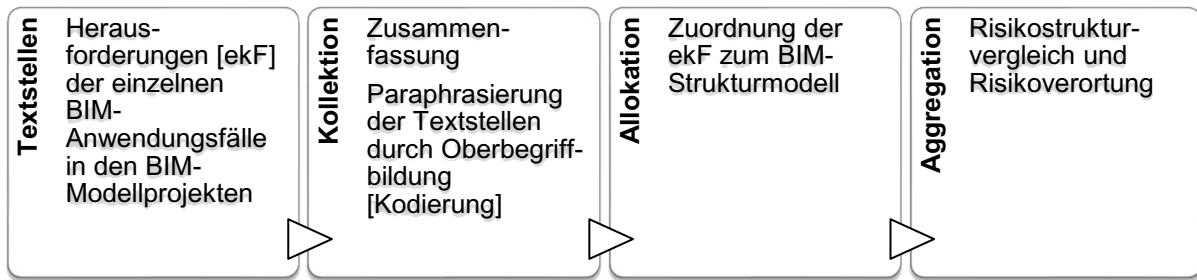


Abbildung 7: Phasen der qualitativen Inhaltsanalyse (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Döring und Bortz 2016, S. 543; Kuckartz 2019, Abschnitt 6)

Die Zuordnung [Allokation] verlangt formale und auf Relevanz geprüfte Strukturbereiche im BIM-Strukturmodell [2. konzeptioneller Bezugsrahmen, Abb. 6] (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 225). Diese werden aus strukturellen Bereichen einer Organisation im BIM-basierten Projektkontext, die in der Standardisierung und in der Fachliteratur aufgegriffen werden, gebildet. Das Strukturmodell ist tabellarisch aufgebaut [Abb. 8].

	weite Kontextanalyse nach Mayring [Kap. 5 Determinanten des Change Managements]	enge Kontextanalyse nach Mayring [Kap. 6 BIM-Strukturmodellentwicklung im Organisationskontext]			Vorkommen in Standardisierung und Fachliteratur				
	Strukturkategorien								
	Ebene 0		Ebene I	Ebene II	Ebene III	Ressource A	Ressource B	Ressource n	
	allgemeine Organisationsstrukturen		BIM-bezogene Struktureinheiten						
formale Strukturierung nach Mayring:	Organisationsstrukturfeld 1	inhaltliche Strukturierung nach Mayring:	übergeordnet 1	gruppiert 1	spezifisch 1	✓		✓	
	Organisationsstrukturfeld 2		übergeordnet 2	gruppiert 2	spezifisch 2		✓		
	Organisationsstrukturfeld n		übergeordnet n	gruppiert n	spezifisch n				

Abbildung 8: Rohling des BIM-Strukturmodells (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Mayring 2019, 3)

Nach dieser Spezifikation wird im Kapitel 5 die formale Strukturierung nach allgemeinen Determinanten des Change Managements und Organisationsstrukturen festgelegt. Im Kapitel 6 wird die inhaltliche Strukturierung im BIM-bezogenen Kontext auf Bauprojektebene adressiert. Die evaluierten ekF aus den BIM-Anwendungsfällen werden dem BIM-Strukturmodell zugeordnet.

Das Grundprinzip der Operationalisierung [3. Operationalisierung, Abb. 6] ist die Erfassung einzelner Merkmalsausprägungen der ekF [Abb. 9].

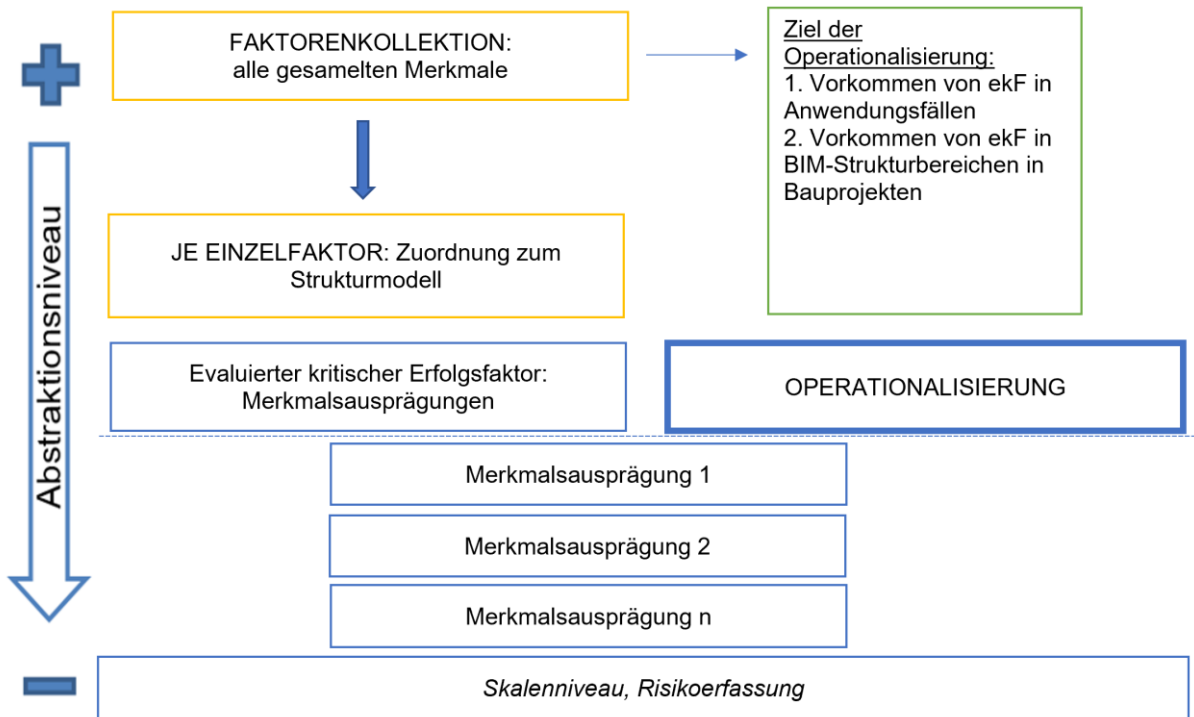


Abbildung 9: Schaubild Operationalisierungsprozess (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Kriner et al. 2007, S. 10)

Das Skalenniveau der einzelnen ekF-Ausprägungen wird im Analyseteil beschrieben [Kapitel 7]. Abb. 10 visualisiert das Überprüfungsschema zur Zuordnung der operationalisierten ekF zum BIM-Strukturmodell. Das Vorgehen findet im Kapitel 9 Anwendung und beschreibt die Anwendung des BIM-Strukturmodells.

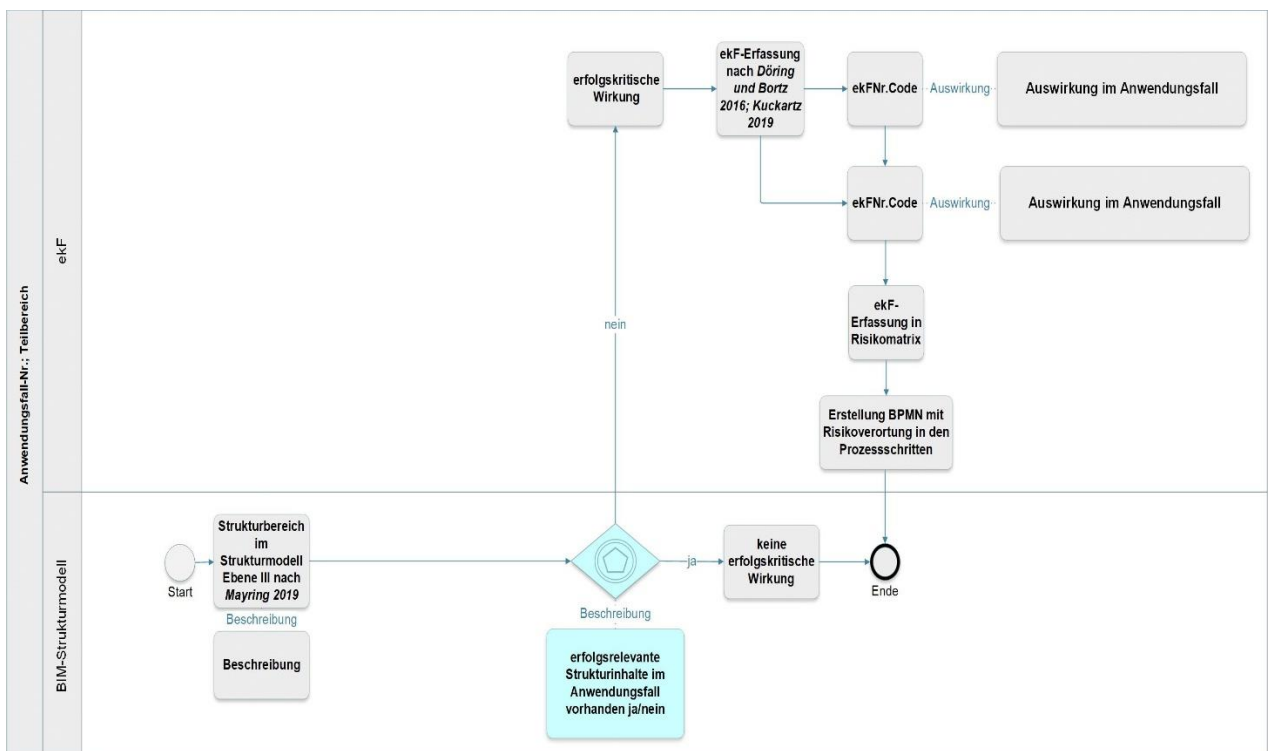


Abbildung 10: Überprüfungsschema ekF-Zuordnung zum Strukturmodell

Um einen ganzheitlichen Überblick über alle ermittelten ekF zu ermöglichen, wird zusammenfassend eine Risikomatrix erarbeitet. Im Analyseabschluss sind exemplarische AWF-Abläufe als Business Process Modeling Notation zur Standardisierung von Prozessdarstellungen dargestellt [Kapitel 10]. Vertikal angeordnete Bereiche stellen verschiedene Pools dar, während die horizontale Ebene in Sequenzflüsse und Nachrichtenflüsse zum Informationsaustausch unterteilt ist (vgl. König 2015, S. 63–65; VDI/bS-Richtlinien Blatt 11.1:2020-09, S. 9–11) [Abb. 11].<sup>11</sup> Hinweise zu den Bedeutungen der Symbolik innerhalb der BPMN-Abläufe werden im Kapitel 10 angemerkt.

---

<sup>11</sup> Vertikale Pools sind die Bezeichnung der Organisation, die Informationsrolle oder Datenobjekte. Horizontale Pools sind die einzelnen Aktivitäten innerhalb eines Anwendungsfalls.

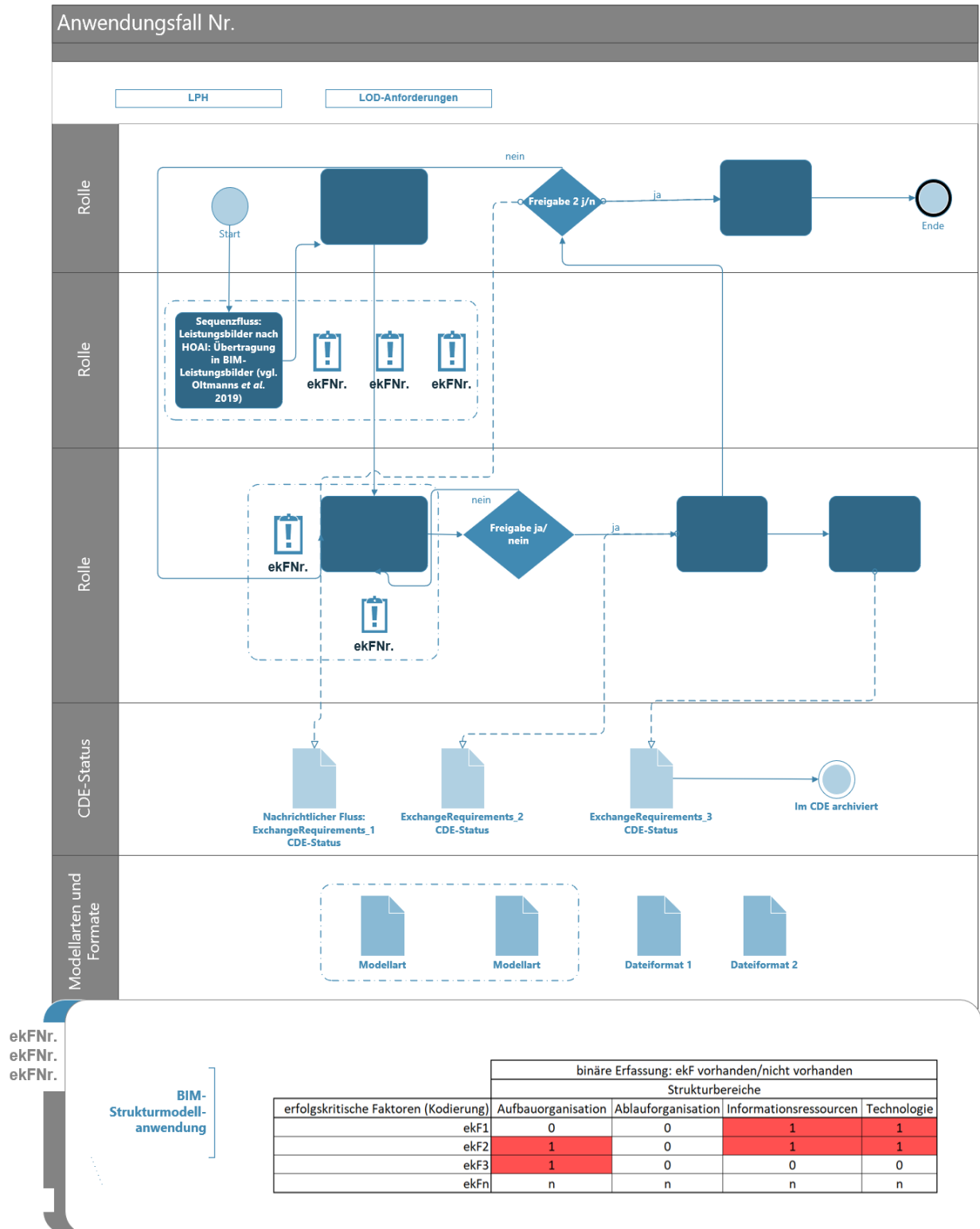


Abbildung 11: Schematische Darstellung: BPMN und ekF-Risikomatrix

### **3. Gegenwärtige Digitalisierungsrealität**

#### **3.1 Anwendung des TREAD-Schemas**

Die Möglichkeiten der Digitalisierung in Unternehmen sind weitreichend. Während sich innerbetriebliche Unternehmensprozesse durch digitale Anwendungen optimieren lassen, bringen die externen Veränderungen der Marktgegebenheiten durch eine neuartige Vernetzung von Unternehmensmitgliedern, wirtschaftlichen Partnern und Kunden dezidierte Anforderungen an die Innovationsbereitschaft mit sich. Es gilt, sich unternehmerisch an digitale Vorgänge anzupassen (vgl. Hamidian und Kraijo 2013, S. 11). Die Transformation von einer analogen zu einer digitalen Unternehmensumgebung ist von diversen Faktoren abhängig, die innerhalb unterschiedlicher Studien zur Digitalisierung der deutschen Wirtschaft thematisiert worden sind. Um im Verlauf der Arbeit verlässliche Aussagen zur tatsächlichen BIM-Anwendung im Kontext des digitalen Wandels treffen zu können, ist zunächst ein aktueller Überblick über die vorherrschende Digitalisierungsrealität und die digitale Transformation deutscher Unternehmen im Allgemeinen vorzunehmen.

Die Diversität existierender Primärstudien zur Digitalisierungsrealität der deutschen Wirtschaft ermöglicht einerseits kurzfristige Informationsoptionen zum derzeitigen Stand der digitalen Transformation. Andererseits ergeben sich überschneidende Forschungsergebnisse und eine erschwerte Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen der Hypothesen. Um einen wissenschaftlich verlässlichen Überblick über die vorliegenden empirischen Untersuchungen hervorbringen zu können, bedarf es eines forschungssynthetisierenden Vorgehens.

Mit dem Ziel, strukturwirksame Veränderungsprozesse durch die digitale Transformation zu erfassen, bildet der Analyseteil A.1 eine Grundlage, um den gesamtwirtschaftlichen Digitalisierungsstand und vorherrschende Herausforderungen einzuschätzen. Der TREAD-Ablauf bildet die Grundlage für die Studienauswahl im Rapid Review. Zu diesem Zweck werden Studien zum Thema angewandte Digitalisierung ausgewählt, die überblicksartige Ergebnisse und Strukturparameter definieren. Studien werden inkludiert, die messbare Indikatoren der Digitalisierung beschreiben. Um mehrere Bezugsjahre einzuschließen und die Stichprobenanzahl zu erhöhen, sind Studien zwischen 2015 und 2020 eingebunden. Die grundlegend verfolgten Fragstellungen sind:

- digitaler Transformationsstatus der deutschen Gesamtwirtschaft [ohne Branchentrennung],
- zentrale Themen der Digitalisierung.

Abzuleiten sind die chancen- und risikoträchtigen Parameter, die für unternehmerische Digitalisierung vordergründig sind. Da eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung vorgenommen wird, kann an dieser Stelle die Branchenzuordnung vernachlässigt werden. Tab. 3 zeigt die angewandten TREAD-Kriterien zur Datenbankrecherche.

TREAD	Limitation	Rapid Review
Zeit [Time]	Erhebungsjahre der einbezogenen Studien	Festgelegter Zeitraum 2015-2020 [in Verbindung mit der Vorbereitungszeit bis Leistungsniveau I ab 2020, [Kapitel 4.2]
Ressourcen [Resources]	Auffindbarkeit	systematische Datenbankrecherche [Schlüsselwortsuche]
Expertise [Expertise]	Methodenwissen	Einbeziehung Stichprobenstudien: zeitpunktbezogene Querschnittsanalysen, standardisierte und teilstandardisierte Erhebungen, Stichprobengröße ab n = 100
Zweck und Zielpublikum [Audience and Purpose]	Ziele des Reviews	<u>Teilbereich A.1 [Kapitel 2; 3.2]</u> Digitalisierungskategorien: unternehmerische Transformation durch Digitalisierung: gesamtwirtschaftliche Betrachtung ohne Branchenspezifik, breit angelegte Studien, die das Thema der unternehmerischen Digitalisierung in unterschiedlichen Dimensionen erfassen. <u>Teilbereich A.2 [Kapitel 2; 3.3]</u> Digitalisierungskategorien: Bauhaupt- und Baunebengewerbe <u>Teilbereich A.3 [Kapitel 2; 4.5]</u> Anwendungsrealität Building Information Modeling
Daten [Data]	Quantität, Qualität, Verfügbarkeit	Begrenzung in der Quantität eingebundener Studien, repräsentative Stichprobenstudien als Monitoring <sup>12</sup>

Tabelle 3: Anwendung TREAD-Schema

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Booth et al. 2016, S. 10–37)

### 3.2 Gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsrealität im Anwendungsbezug

Abb 12. skizziert die Recherche zur Ermittlung der Studien mit gesamtwirtschaftlichem Überblick nach den TREAD-Kriterien.

<sup>12</sup> Im Rahmen von zeitpunktbezogenen Querschnittsanalysen lassen sich durch die Anwendung deskriptiver Forschungsdesigns Tatbestände und Sachverhalte gemäß Häufigkeitsausprägungen untersuchen. Dieses Vorgehen dient der Feststellung von Effekten, Anwendungen und Merkmalen in großen Gruppen (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 192). Die Erhebung erfolgt in eng definierten Bereichen und kann auch als Monitoring bezeichnet werden (vgl. Koch 2012, S. 41).

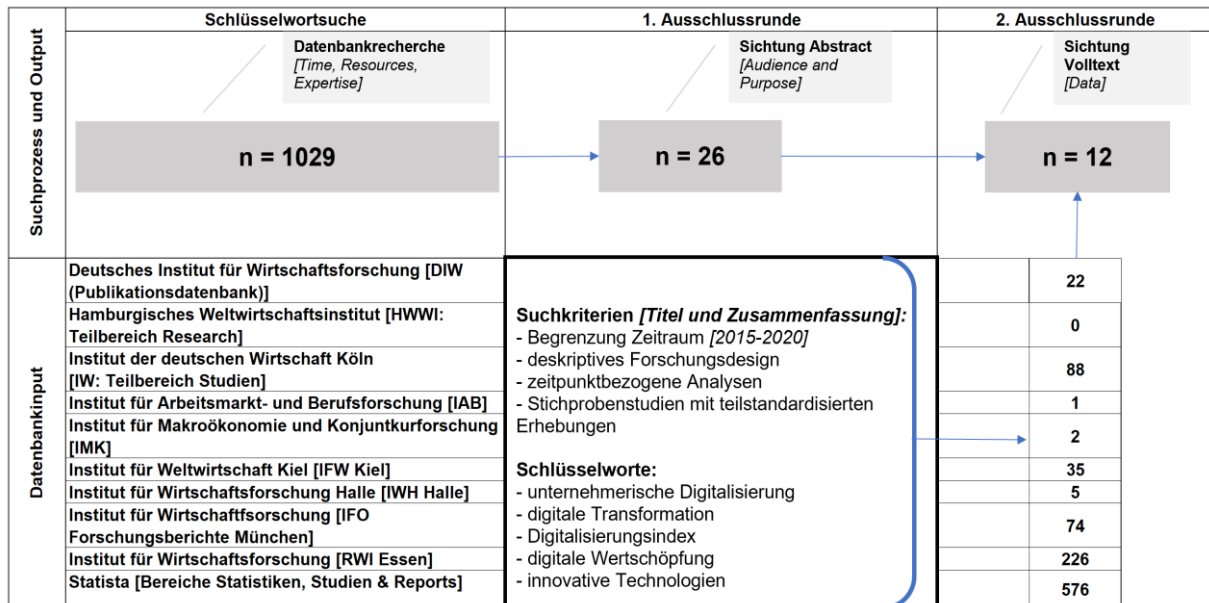


Abbildung 12: Datenbankrecherche zur gesamtwirtschaftlichen Digitalisierungsrealität

Die Datenbankrecherche ergibt nach der 2. Ausschlussrunde 12 verbleibende Studien und eine kumulierte Stichprobengröße von 79.564 beteiligten Unternehmen. Die Studienpluralität soll einen repräsentativen Stichprobenumfang gewährleisten. Diese erfasst branchenvielfältige Antworten teilstandardisiert und schafft einen Überblick über die gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsrealität in Deutschland. Die detaillierte Stichwortzuordnung und deren numerischer Output je Datenbank ist Anhang 3 zu entnehmen. Das Ziel des Reviews besteht in der Kategorienerfassung zu Herausforderungen der Digitalisierung und -anwendungen sowie Einwirkungsbereichen der digitalen Transformation in unternehmerischen Organisationen. Damit sollen sich erfolgskritische Aspekte in Digitalisierungsbestrebungen und damit verbundenen Veränderungsprozessen grundlegend erkennen lassen. Die einbezogenen Studien sind im Anhang 4 erfasst. Zur Erfassung der prozentualen Anteile werden sämtliche Angaben auf die kumulierte Stichprobengesamtheit übertragen.

In der Betrachtung aller einbezogenen Studien sind die am stärksten repräsentierten Kategorien mit folgenden Anteilen erfasst:<sup>13</sup>

1. Art genutzter digitaler Infrastruktur [rund 58 %],
2. Digitalisierungsherausforderungen [rund 58 %],
3. Innerbetriebliche Auswirkungen/Veränderung [rund 41 %].

Man sieht daran, dass die Möglichkeiten der Technologie und deren Anwendungsherausforderungen stark repräsentiert sind. Weiterhin scheinen die innerbetrieblichen Auswirkungen eines Veränderungsprozesses durch digitale Anwendungen den Erfolg der Digitalisierung erheblich zu beeinflussen. Anhang 4 zeigt außerdem die weiteren Kategorien.

<sup>13</sup> Der gesamte Stichprobenumfang enthält 12 Studien, n = 79.564 und entspricht 100 %.

Nachfolgend sind die Arten genutzter Infrastruktur und die Herausforderungen der Digitalisierung in Abb. 13 dargestellt. Cloud Computing, Internet of Things, 3D-Druck und Big Data werden am häufigsten genutzt (vgl. bitkom research 2019; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2015, 2018; Demary et al. 2016; Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2016, 2017; Icks et al. 2017; Seyda 2019; techconsult GmbH 2018, 2020; van Alphen, Christian/Bärtle, Doris 2018; Zimmermann 2018).<sup>14</sup>

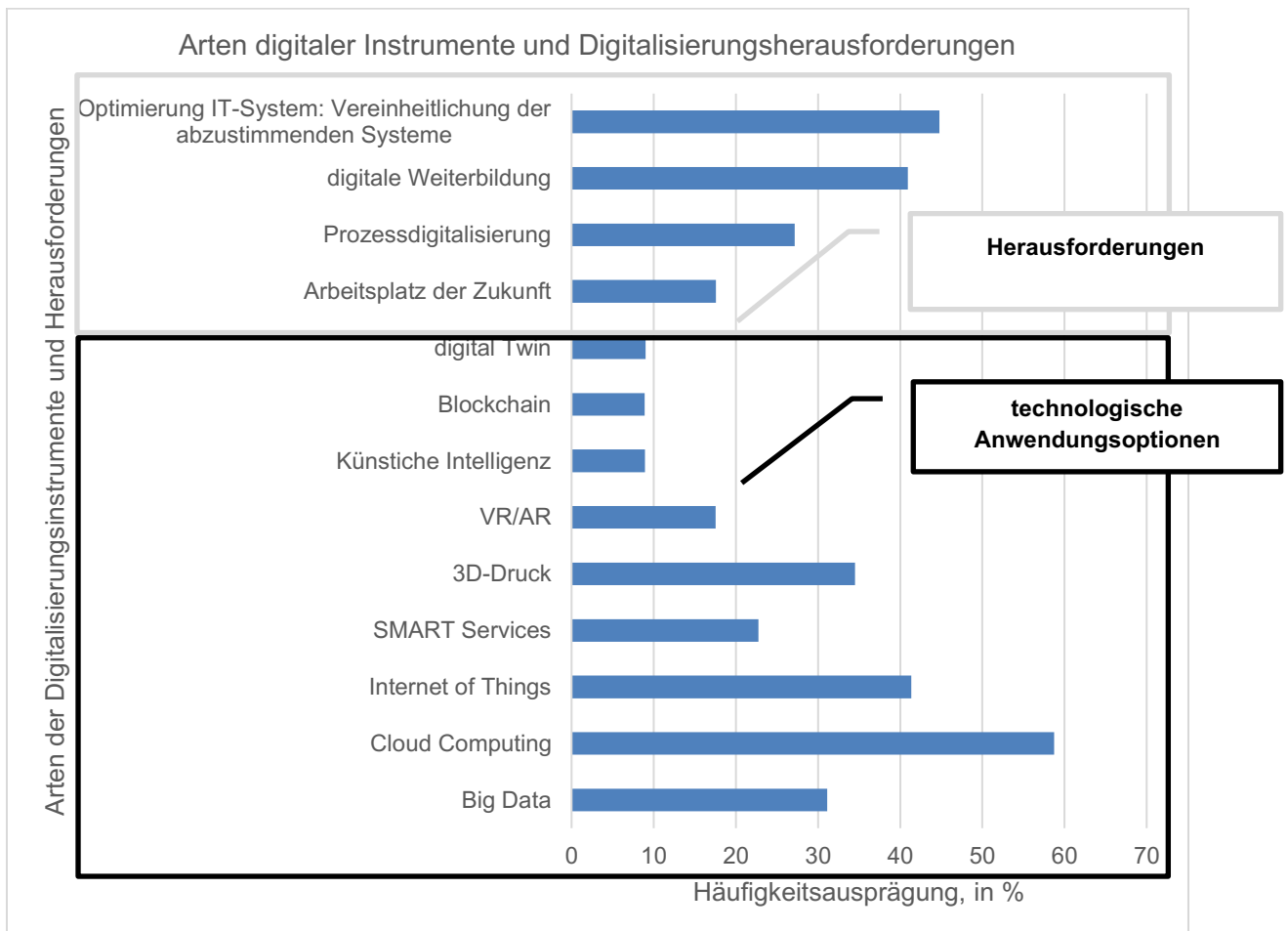


Abbildung 13: Digitale Instrumente und Anwendungsherausforderungen (eigene Darstellung, in Anlehnung an: bitkom research 2019; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2015, 2018; Demary et al. 2016; Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2016, 2017; Icks et al. 2017; Seyda 2019; techconsult GmbH 2018, 2020; van Alphen, Christian/Bärtle, Doris 2018; Zimmermann 2018)

Die Digitalisierung durch entsprechende Instrumente verlangt eine Optimierung bestehender IT-Systeme, den Ausbau von Softwaremodulen sowie die Anpassung an bestehende IT-Systeme innerhalb einer Organisation. Weiterhin sind die Kompetenzschaffungen für digitale

<sup>14</sup> Die Stichprobe für diese Kategorie besteht aus 11 Studien von den gesamt ermittelten 12 Studien, Teilwert n = 19.062; **Kurzerläuterung erklärungsbedürftiger Begriffe: Cloud Computing:** Instrument mit der Zielstellung eines webbasierten Zugangs zu einem Informationsplatz; großzügige Speicherkapazitäten mit Funktionen, die alle Möglichkeiten online anbieten (vgl. Hentschel und Leyh 2018, S. 4–5); **Internet of Things:** Interkonnektivität von Gütern über maschineninterpretierbare Identifikatoren (vgl. Mohamed 2019, S. 1–3); **Blockchain:** elektronische Register, die als algorithmische Informationsquelle dienlich sind (vgl. Fill und Meier 2020, S. 1–3); **Smart Services:** Datenhaltung, Analyse, Strukturierung und Datenkombination aus Geschäftsprozessen zur Erschaffung neuer wettbewerblicher Angebote (vgl. Grohmann et al. 2017, S. 15); **Big Data:** ein übergroßer Datensatz heterogener Datenstrukturen aus verschiedenen Quelle für analytische Zwecke innerhalb eines definierten Rahmens (vgl. Fasel und Meier 2016, S. 3–5).



Anwendungen und die Prozessdigitalisierung wertschöpfender Kernprozesse ermittelbar (vgl. bitkom research 2019; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2015, 2018; Demary et al. 2016; Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2016, 2017; Icks et al. 2017; Seyda 2019; techconsult GmbH 2018, 2020; van Alphen, Christian/Bärtle, Doris 2018; Zimmermann 2018).<sup>15</sup>

Konkrete organisationsbezogene Kriterien, die sich generell als Strukturherausforderung eines Unternehmens ermitteln ließen, sind bei n = 62.516:<sup>16</sup>

- Datenschutz und weitere Rechtssicherheit für das Unternehmen [rund 50 %],
- unzureichende IT-Sicherheit für die Datenspeicherung [rund 50 %],
- fehlende Anwendungskompetenz [rund 45 %],
- zu hoher Investitionsbedarf [rund 45 %],
- fehlende Standardisierung [rund 40 %],
- zu hoher zeitlicher Aufwand der betrieblichen Implementierung [Aufbau- und Ablauforganisation] [rund 40 %]

(vgl. Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2017; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018; Demary et al. 2016; Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2016).

Zum Stand der Digitalisierung wird dargelegt, dass bei rund 53 % der wertschöpfenden Prozesse innovative Technologien zum Einsatz kommen [n = 59.199] [d] (vgl. Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) 2016, 2017; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018; Demary et al. 2016).<sup>17</sup> Die Anhänge 5, 6, 8 und 9 verweisen auf die hinterlegten Rohdaten zu diesen Auswertungen.

Abzuleiten ist, dass sich im Zuge der digitalen Transformation organisationsbezogene Strukturkriterien und die Anwendung der Technologie vordergründig als erfolgskritisch erweisen. Die Digitalisierung ist mit einer Digitalisierungsquote von rund 53 % noch nicht im besonderen Maße branchenvielfältig vollzogen. Diese strukturbezogenen Herausforderungen sind in der Analyse erfolgskritischer Faktoren der BIM-Anwendung zu beachten.

---

<sup>15</sup> zu 2. Digitalisierungsherausforderungen; Anhang 7 zeigt weitere Herausforderungsbereiche, die aus den Studien ermittelt worden sind.

<sup>16</sup> Die Stichprobe für diese Kategorie besteht aus einer Teilmenge: n = 62.516 gemäß der Quellenangaben.

<sup>17</sup> Die Stichprobe für diese Kategorie besteht aus einer Teilmenge: n = 59.199 gemäß der Quellenangaben.

### 3.3 Digitalisierung der deutschen Bauwirtschaft

#### 3.3.1 Größenklassen als Strukturdaten

Die verwendeten Sektoren der deutschen Bauwirtschaft zur Charakterisierung aktueller Branchendaten können Tab. 4 entnommen werden.

Referenz	Erhebung
Statistisches Bundesamt (vgl. Statistisches Bundesamt 2022, 2020b, 2020c, 2020a)	Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft 2021 und 2020
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (vgl. Rein 2021, 2020)	Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2021 und 2020
ZDB (vgl. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. 2021, 2020)	Baumarkt 2020/Perspektiven 2021; Baumarkt 2019/Perspektiven 2020

Tabella 4: Referenzen für Strukturdaten der deutschen Bauwirtschaft

Die Referenzen lassen die folgenden inhaltlichen Strukturbereiche erkennen:

- ökonomische Anteilsentwicklungen am Bruttoinlandsprodukt,
- Umsatzentwicklungen und Bautätigkeit in den Bausparten,
- Preisindizes und Lohnentwicklung,
- Umsatzprognosen,
- Charakterisierung des Bauhauptgewerbes und Ausbaugewerbes in Kapazität und Leistungen.

Mit dem Ziel der späteren Erarbeitung von Anwendungsfallrisiken in Kapitel 7 wird die Charakterisierung des deutschen Bauhauptgewerbes auf Kapazität und Leistungen fokussiert. Dazu wird die Struktur der deutschen Bauwirtschaft anhand der Anteile am Bauvolumen, Umsatz- und Unternehmensgrößenklassen nach Mitarbeiteranzahl charakterisiert.

Die Bauwirtschaft gliedert sich in das Bauhauptgewerbe, das Ausbaugewerbe, das verarbeitende Gewerbe und die Bauplanung. Das anteilige Bauvolumen dieser Bereiche beziffert das Vergleichskriterium (vgl. Rein 2020, S. 4, 2021, S. 3).<sup>18</sup> Das verarbeitende Gewerbe wird nicht strukturell betrachtet, da vor allem die anderen drei bauwirtschaftlichen Bereiche aus der BIM-Anwendungsfallperspektive analysiert werden können.

Die Betrachtungen beschränken sich auf die innerdeutsche Bauwirtschaft. Es ist zu erkennen, dass die drei beschriebenen Hauptgruppen, die für die weiterführende Analyse von Relevanz

<sup>18</sup> Trennung von Bauhaupt- und Ausbaugewerbe: **Bauhauptgewerbe:** zu diesem Bereich zählen Unternehmen, die in folgenden Sparten agieren: Errichtung von Hochbauten im Rohbau, Tiefbauten einschließlich Straßenbauten und bestimmte Spezialbauten durchführen: Bau von Straßen und Bahnverkehrsstrecken, Leitungstiefbau und Kläranlagenbau, sonstiger Tiefbau: Wasserbau, Abbrucharbeiten und vorbereitende Baustellenarbeiten, sonstige spezialisierte Bautätigkeiten: Dachdeckerei und Zimmerei, Gerüstbau (vgl. Statistisches Bundesamt 2020c, S. 118). **Ausbaugewerbe:** zu diesem Bereich zählen Unternehmen, die in folgenden Sparten agieren: Elektroinstallationen, Gas-, Wasser-, Heizungs- und Lüftungs- und Klimainstallation, Dämmung gegen Kälte, Wärme, Schall und Erschütterungen, Anbringen von Stuckaturen, Gipserei und Verputzerei, Bautischlerei und -schlosserei, Fußboden-, Fliesen- und Plattenlegerei, Tapeziererei, Malerei und Glaserei (vgl. Statistisches Bundesamt 2020c, S. 119).

sind, die höchsten Anteile an Bauvolumina innerhalb der gesamten Bauwirtschaft repräsentieren:

- Bauhauptgewerbe mit 31,7 % und 125,3 Mrd. Euro,
- Ausbaugewerbe mit 36 % und 142,6 Mrd. Euro,
- Bauplanung mit 12,2 % und 48,3 Mrd. Euro (vgl. Rein 2020, S. 4)  
[Bauvolumina nach Produzentengruppen im Anhang 10].<sup>19</sup>

Im Jahr 2021 ist eine steigende Tendenz zu erkennen. Das Bauhauptgewerbe hat einen Anteil von 137,7 Mrd. Euro, das Ausbaugewerbe liegt bei 153,2 Mrd. Euro und die Bauplanung bei 53,2 Mrd. Euro (vgl. Rein 2021, S. 4).

Die Anzahl der Betriebe im Bauhauptgewerbe lag im Jahr 2019 bei rund 76.800 und stieg im Jahr 2020 auf 79.305 (vgl. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. 2020, S. 32). Die Erfassung der Chronologie von Größenklassenstrukturen lässt erkennen, dass die Dominanz der Kleinst-, kleinen und mittleren Unternehmen von 2012 bis 2020 beständig ist (vgl. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. 2021, S. 38; 2020, S. 33) [Anhang 11]. Die hier zitierten Zahlen beziehen sich auf die Jahre 2020 und 2021. Der Großteil der Unternehmen im Bauhauptgewerbe weist eine geringe Beschäftigtenzahl auf [<10 Mitarbeitende] und zählt somit zur Kategorie der Kleinstunternehmen. Innerhalb der vorliegenden Arbeit werden Kleinst-, kleine und mittelständische Unternehmen gemäß der Definition der Europäischen Kommission betrachtet.<sup>20</sup> Die Abb. 14 bis 16 zeigen die Beschäftigten- und Umsatzgrößenklassen im Bauhauptgewerbe, Ausbaugewerbe und der Bauplanung.

---

<sup>19</sup> **Bauplanung** sei an dieser Stelle der Größenklassenbeschreibung über die in der HOAI beschriebenen Leistungsbilder definiert, die den Teilbereichen Objekt- und Fachplanung angehörig sind: §§ 34 Leistungsbild Gebäude und Innenräume, 39 Leistungsbild Freianlagen, 43 Leistungsbild Ingenieurbauwerke, 47 Leistungsbild Verkehrsanlagen, 51 Leistungsbild Tragwerksplanung, 55 Leistungsbild technische Ausrüstung.

<sup>20</sup> Kleinstunternehmen sind Unternehmen, die weniger als 10 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens 2 Mio. Euro haben; kleine Unternehmen sind Unternehmen, die 10 bis 49 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens 10 Mio. Euro haben; mittlere Unternehmen sind Unternehmen, die 50 bis 249 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. Euro haben (Richtlinie (EU) 2003/124 des Rates v. 20.05.2003, ABl. Der EU Nr. L 124/36).

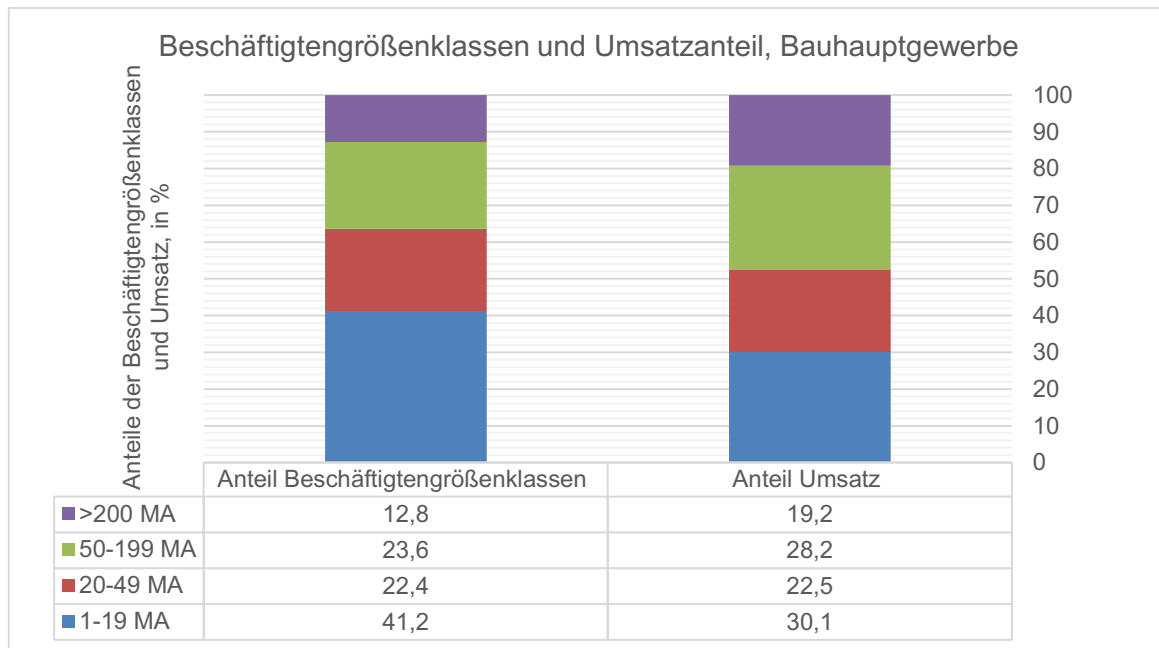


Abbildung 14: Größenklassen im Bauhauptgewerbe  
(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Statistisches Bundesamt 2022, 2020b)

Rund 64 % sind den Bereichen Kleinst- und kleine Unternehmen zuzurechnen. Weitere 24 % sind im Bereich mittelständischer Unternehmen angesiedelt (vgl. Statistisches Bundesamt 2022, 2020b).

Entsprechend diesen Strukturdaten kommt den Bedürfnissen des Mittelstands im Bauwesen eine Sonderstellung zu.

Der Gesamtumsatz des Ausbaugewerbes liegt unter Beachtung der Unternehmen ab einer Beschäftigtenzahl von 20 bei 52,2 Mrd. Euro. Abb. 11 zeigt, dass rund die Hälfte (52,6 %) des Umsatzes von kleinen Unternehmen mit 20 – 49 Mitarbeitenden erwirtschaftet wird. 28,2 % des Umsatzes ist mittleren Unternehmen mit 50 bis 199 Mitarbeitenden und 19,2 % von Betriebsgrößen mit mehr als 200 Mitarbeitenden zuzurechnen (vgl. Statistisches Bundesamt 2022).<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Die Strukturdatenangaben zum Ausbaugewerbe des Jahres 2020 weisen eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zu den Daten der Größenklassen im Bauhauptgewerbe auf. Die Berichtskreisuntergrenze liegt bei 20 und mehr tätigen Personen ab 2018 im Ausbaugewerbe in der Erfassung des Statistischen Bundesamts. Aufgrund dessen kann die Abb. 11 lediglich eine Auskunft zum Anteil der Beschäftigtengrößenklassen ab 20 Beschäftigten geben und bezieht sich deshalb nicht auf den Umsatz von 263.068 Unternehmen des Ausbaugewerbes, sondern lediglich auf 24.866 Unternehmen (vgl. Statistisches Bundesamt 2020b, S. 34).

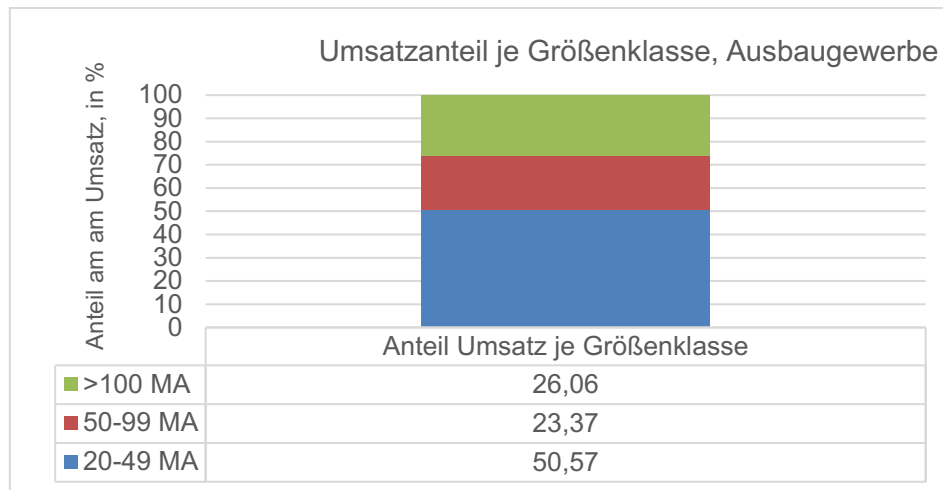


Abbildung 15: Anteil der Beschäftigtengrößenklassen am Umsatz im Ausbaugewerbe (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Statistisches Bundesamt 2020a, S. 34)

Demgegenüber erfassen die Zahlen aus dem Juni 2021 zusätzlich die Kategorie von unter 20 Mitarbeitenden. Von 26.612 Betrieben des Ausbaugewerbes im Bereich Kleinunternehmen weisen 10.813 eine Beschäftigtenzahl von mehr als 20 auf. Das bedeutet für das Ausbaugewerbe, dass bei der Erfassung der Kleinstunternehmen rund 60 % der ausbaugewerblichen Unternehmen dieser Kategorie zuzuordnen sind. Diese Zahlen wurden im Juni 2021 erhoben und im Jahr 2022 veröffentlicht (vgl. Statistisches Bundesamt 2022, S. 34).

Insgesamt 122.942 Unternehmen repräsentieren die Bauplanung mit 33 % Architekturbüros, 46 % Ingenieurbüros und 21 % spezifischer Fachplanung (vgl. Statistisches Bundesamt 2019, S. 8). Abb. 16 zeigt die Differenzierung nach Betriebsgrößen und Umsatzgrößenklassen.<sup>22</sup>

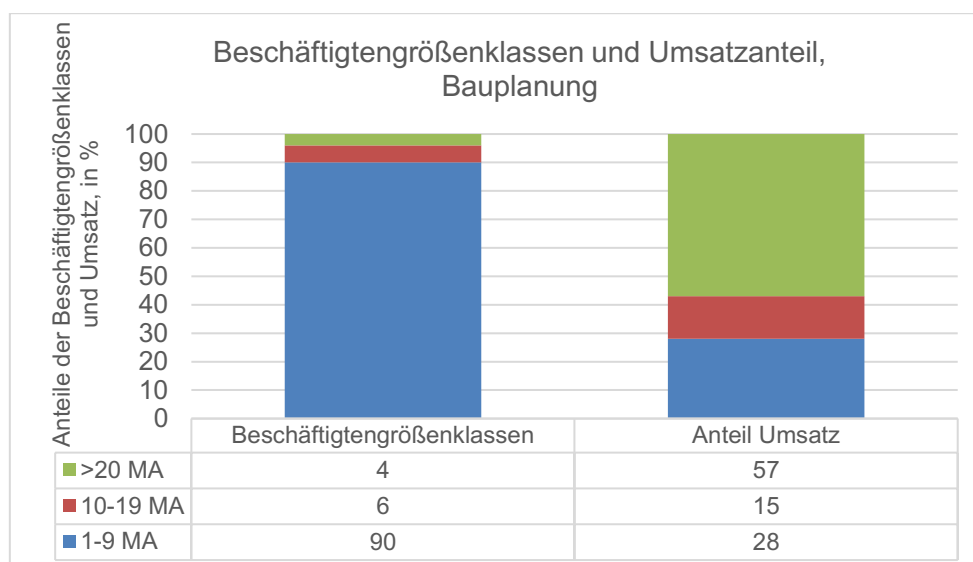


Abbildung 16: Unternehmensgrößen- und Umsatzgrößenklassen in der Bauplanung (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Statistisches Bundesamt 2019, S. 8)

<sup>22</sup> Hinweis auf die Datengrundlage: letztmalig erhoben im Jahr 2017 und in der entsprechenden Quelle 2019 veröffentlicht. Zum erfassten Zeitpunkt existiert keine vergleichbare Datengrundlage jüngerer Datums.

Eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zum Bauhauptgewerbe liegt vor, da die Erhebung nicht zwischen kleinen und mittleren Unternehmensgrößen – entsprechend der Definition der EU 2003/124 des Rates v. 20.05.2003 – unterscheidet.

Die Strukturbetrachtung verdeutlicht, dass die Rolle der Kleinst-, kleinen und mittleren Unternehmen durch deren Anteile von meist über 80 % je Bereich überdurchschnittlich repräsentiert ist. Demzufolge kommen der Beachtung der Digitalisierungsrealität und der damit verbundenen Bestrebungen im KMU-Bereich eine Sonderstellung zu. Die Analyse in Kapitel 7 bezieht aus diesem Grund vordergründig Auswertungen von Modellprojekten ein, die im KMU-Sektor bearbeitet worden sind, um die strukturelle Besonderheit zu repräsentieren.

### 3.3.2 Digitalisierungsaktivitäten der deutschen Bauwirtschaft

Abb. 17 zeigt den Rechercheprozess nach der TREAD-Methode zur Digitalisierung der Bauwirtschaft.

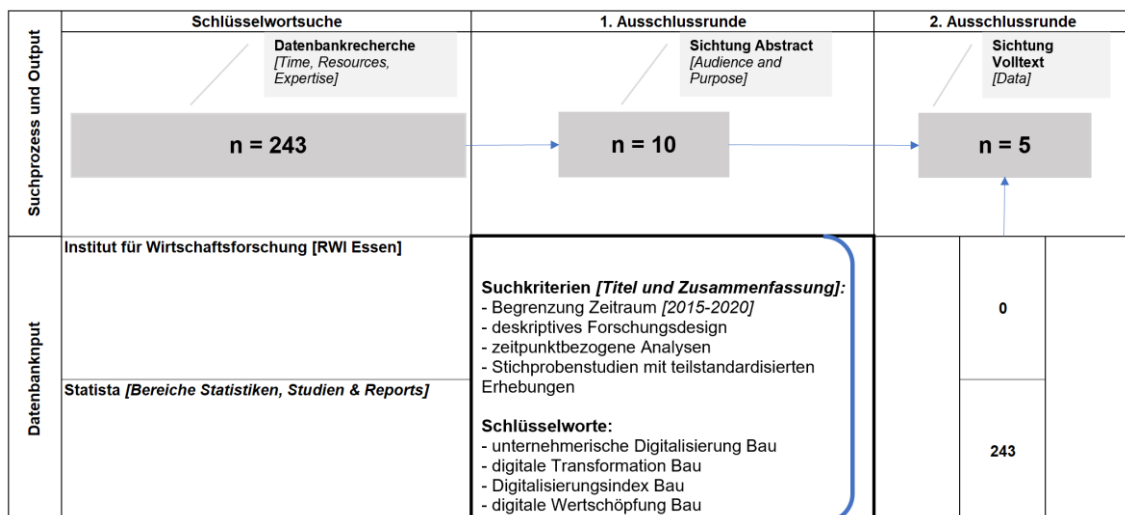


Abbildung 17: TREAD-Schema: bauwirtschaftliche Digitalisierungsrealität

Die Datenbankrecherche ergab nach der zweiten Ausschlussrunde fünf verbleibende Studien mit einer kumulierten Stichprobengröße von 5.278 beteiligten Unternehmen. Die Pluralität soll einen repräsentativen Stichprobenumfang gewährleisten. Deshalb werden Studien einbezogen, die die KMU-Struktur repräsentieren. Aus den standardisierten und teilstandardisierten Erhebungen werden die Herausforderungen der Digitalisierung für die deutsche Bauwirtschaft in Verbindung mit bisherigen digitalen Anwendungen und dem Stand der Digitalisierung im Vergleich zu anderen Wirtschaftsbereichen gefiltert. Die Stichwortzuordnung und deren numerischer Output je Datenbank ist dem Anhang 12 entnehmbar. Die einbezogenen Studien werden im Anhang 13 aufgelistet. Zur Erfassung der prozentualen Anteile werden sämtliche Angaben auf die kumulierte Stichprobengesamtheit übertragen.

Eine schleppende Digitalisierung des Bauwesens lässt sich im Vergleich der kleinen und mittelständischen Bauwirtschaft zu anderen Branchen erkennen. Gemessen am Digitalisierungsindex, der in Abb. 18 dargestellt ist, war die Bauwirtschaft im Jahr 2020 noch unterdurchschnittlich digitalisiert [52 Punkte].<sup>23</sup>

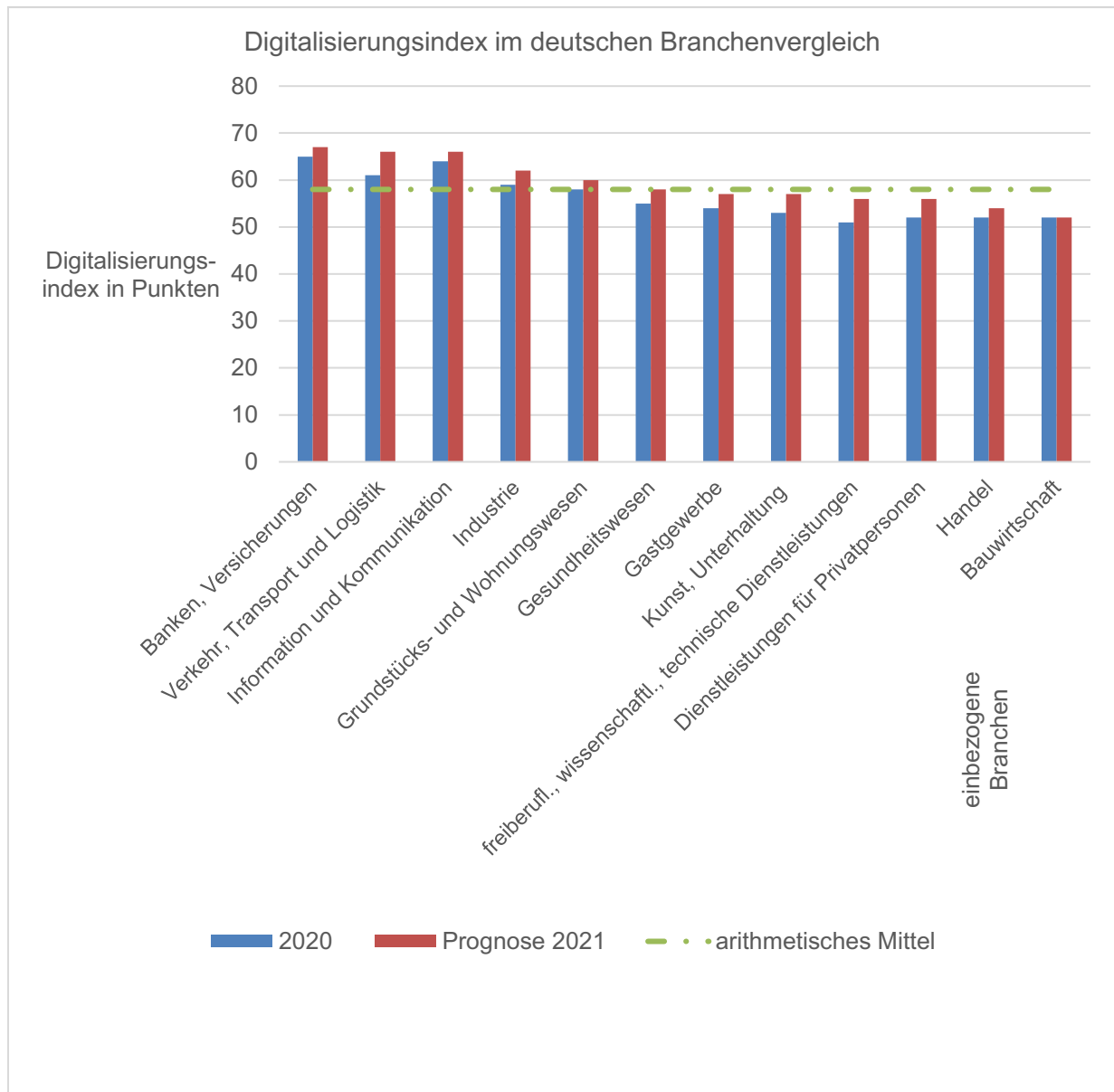


Abbildung 18: Digitalisierungsindex im deutschen Branchenvergleich (eigene Darstellung, in Anlehnung an: techconsult GmbH 2019, 2020)

Generell erfasste Herausforderungen für die KMU der Bauwirtschaft sind:<sup>24</sup>

- zu hohe Investitionskosten der Transformation [35 %],
- Zeitmangel der Anwendungspraxis und Kompetenzschaffung [33 %],
- technische Einbettung in bestehende IT-Systeme [22 %],
- fehlende Kompetenzen der Mitarbeitenden [22 %],
- Gewährleistung der IT-Sicherheit [22 %],

<sup>23</sup> Digitalisierungsindex: vergleichender Parameter zwischen den Branchen: ermittelt durch gemessene Anwendungshäufigkeit digitaler Tools in betrieblichen Projekten, digitalen Geschäftsmodellen und digitalen Distributionswegen; max. 100 Punkte; n = 4.095.

<sup>24</sup> N = 250, dargestellt in Nennungshäufigkeit.

- f) ein unklarer wirtschaftlicher Nutzen im Aufwandsverhältnis [20 %]  
(vgl. techconsult GmbH 2019, S. 9).

Digitale Anwendungen in bestehenden Unternehmensstrukturen zu etablieren, ist neben dem Investitionsbedarf im KMU-Bereich eine der größten Herausforderungen der Digitalisierung. Abb. 19 zeigt betrieblich bereits ausgeprägte digitale Fähigkeiten zur Erfüllung der jeweiligen unternehmerischen Leistungsbilder. Es erfolgt eine Unterteilung in Haupt- und Ausbaugewerbe und Bauplanung gesamt sowie Bauplanung separat.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> N = 3.284.



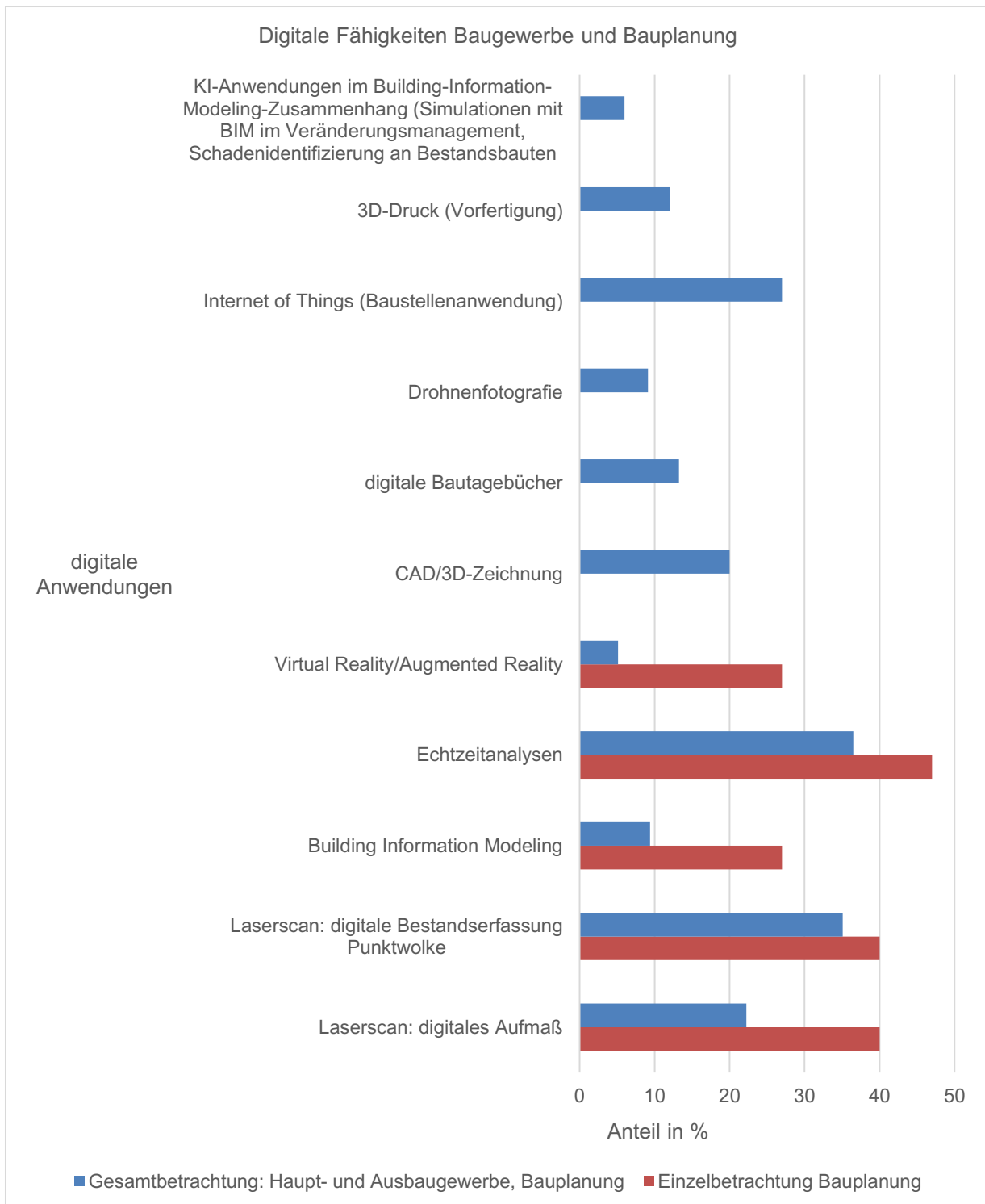


Abbildung 19: Digitale Fähigkeiten Bauhauptgewerbe und Bauplanung  
 (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Handwerkskammer Erfurt 2018; techconsult GmbH 2019; PricewaterhouseCoopers GmbH 2020)

Nicht alle digitalen Möglichkeiten wurden getrennt erfasst. Deshalb ergibt sich die Vergleichbarkeit nur für Teilbereiche. Maximal erkennbare Anwendungsfähigkeiten liegen lediglich bei 47 % in der Bauplanung und 37 % für das Bauhauptgewerbe bei der Echtzeitanalyse vor. BIM gilt bei 27 % der Bauplanungsunternehmen als digitale Fähigkeit und lediglich bei 8 % der Unternehmen im Bauhauptgewerbe. In der Gesamterfassung von Bauhauptgewerbe und Bauplanung ist das Internet of Things als Baustellenanwendung am

stärksten repräsentiert. Die Kopplung von BIM und künstlicher Intelligenz zur automatisierten Entscheidungsfindung erfährt mit 7 % die geringste Ausprägung.

Der Einsatz virtueller Projekträume oder Clouds zur Bereitstellung der Bauprojektinformationen erfolgt in der Bauplanung für 80 % der Projekte. Für das Bauhauptgewerbe in der Bauausführung liegt die Quote bei 30 % für virtuelle Projekträume und 37 % für Clouds zur reinen Dateiablage. Die Anwendung digitaler Projektumgebungen ist im Hinblick auf die BIM-Anwendung für die Informationszugänglichkeit, -dokumentation und -versionierung von Relevanz (vgl. techconsult GmbH 2019; PricewaterhouseCoopers GmbH 2020).<sup>26</sup>

Die digitale Transformation scheint im KMU-Bereich nicht flächendeckend vollzogen. Herausforderungen für KMU liegen vornehmlich im Bereich der Investitionen in informationstechnologische Infrastruktur sowie der nachhaltigen Schaffung von Kompetenzen und in der Umsetzung der Anwendung. Die konsistente Anwendung digitaler Instrumente scheint gehemmt.

---

<sup>26</sup> Anhang 14 zeigt das Rohdatenblatt zu den digitalen Fähigkeiten.

## 4. BIM als digitale Arbeitsmethodik

### 4.1 Definitionsebenen

Die Recherche zeigt verschiedene BIM-Definitionsebenen in chronologischer Folge [Tab. 5].

<b>Fokus</b>	<b>Definitionsebenen</b>
BIM-Modell als eigenschaftsorientierter Gebäudedatenspeicher in fünf Dimensionen (vgl. Bramann und May 2015, S. 4; vgl. Egger et al. 2013, S. 18)	<b>Ebene BIM-Dimensionen (1)</b>
Ansatz der geometrischen, objektorientierten und parametrischen Modellierung (vgl. Borrmann et al. 2015c, S. 4–24; Borrmann und Berkahn 2015, S. 25–40; Koch 2015, S. 43–48)	<b>Ebene Bauinformatik (2)</b>
Übertragung der Leistungsbilder nach HOAI in die digitale Abwicklung der Wertschöpfungskette Bau (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 8–14)	<b>Ebene Referenzprozess (3)</b>
Management zwischen Informationsbereitstellenden und Informationsbestellenden (vgl. DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 12–14)	<b>Ebene Informationsmanagement (4)</b>
digitale Bearbeitung der Wertschöpfungskette; Ablauforganisation mit der Notwendigkeit standardisierter Prozesse und der Auffälligkeit zahlreicher informationszentrischer Bestandteile [Wertschöpfungsprozesse, Projektmanagementprozesse, Informationsmanagementprozesse]; Risikodimensionen der BIM-Anwendung (vgl. VDI-Richtlinie VDI 2552 Blatt 1:2020-07, S. 5–10)	<b>Ebene Prozessartenvielfalt und Anwendungsrisiken (5)</b>

Tabelle 5: Definitionsebenen BIM

Ein übergeordneter Definitionsansatz zu BIM kann der Begriffsbestimmung nach BMVI und BBSR [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung] entnommen werden. Nach dieser Definition ist BIM das Erschaffen von digitalen dreidimensionalen Bauwerksmodellen mit vordefinierten Bauteilen unter Zuhilfenahme spezifischer Software. Den verwendeten Bauteilen sind voreingestellte Eigenschaftsmerkmale, wie beispielsweise Materialinformationen, umweltrelevante Charakteristika, geometrische Angaben oder Energiewerte zugeordnet, die im Bauwerksinformationsmodell hinterlegt werden und aus diesem heraus jederzeit digital abrufbar sind. Geforderte Entwurfsunterlagen nach HOAI lassen sich direkt aus dem Modell generieren. Innerhalb des Forschungsvorhabens wird das Ziel einer Gebäudedatensammlung und deren Verwendung verfolgt, die ein solches Gebäudedatenrepositorium jedem am Bau beteiligten Akteur zur Verfügung stellt. BIM ist nicht ausschließlich als virtuelles Gebäudemodell anzusehen, sondern als umfassende Arbeitsmethode im Bauwesen zu beschreiben (vgl. Egger et al. 2013, S. 18).

Mit der BIM-Anwendung sind Bauprojektbeteiligte in der Situation, ihre Leistungsergebnisse als digitales Arbeitsergebnis zur Verfügung stellen zu müssen. Zusätzlich zum realen Bauwerk bringt der BIM-Gesamtprozess digitale Ergebnisse hervor, die bis in die Bauwerksunterhaltung hin verwendet werden (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 8–9). Das Zentrum der BIM-Anwendung bildet der Kommunikations- und Koordinierungsbedarf von Informationen zum BIM-

Modellaustausch. Zusätzlich zu konkreten BIM-Anwendungen, technischem Bedarf und spezifischen Modellarten stehen dabei die Informationslieferungen zwischen den Beteiligten im Fokus. Die erfolgreiche Anwendung der Arbeitsmethodik ist von konsistenten Informationen abhängig. Der Gesamtprozess vollzieht sich von der Projektvorbereitung, über die Planungs-, Ausführungsvorbereitungs-, Ausführungs- und Projektabschlussphase [Übergabe in den Betrieb] (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 14).

BIM entspricht, den bisherigen Definitionsansätzen folgend, einer digitalen Kooperationsmethodik zwischen Bauprojektbeteiligten auf Modellbasis unter Optimierung bauwirtschaftlicher Prozessketten. Damit verbundene strukturelle Veränderungen richten sich einerseits nach innen zum jeweilig anwendenden Unternehmen und andererseits in das Bauprojekt als temporäre Organisation. Die für den Lebenszyklus relevanten Informationen des Bauwerks, die sich modellbasiert im Verlauf des Bauprojekts anreichern, können auf dieser Basis unter den Beteiligten ausgetauscht werden. Zeitgleich stellt das Gebäudedatenmodell einen Datenspeicher entlang der Wertschöpfungskette im Bauwesen dar (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 5).

Die Methodik ist für sämtliche Phasen des Lebenszyklus eines Bauwerks anwendbar. Die Einsatzmöglichkeiten erstrecken sich entlang der Lebenszyklusphasen Entwurf, Planung, Ausführung, Bewirtschaftung und Umbau [Abb. 20].

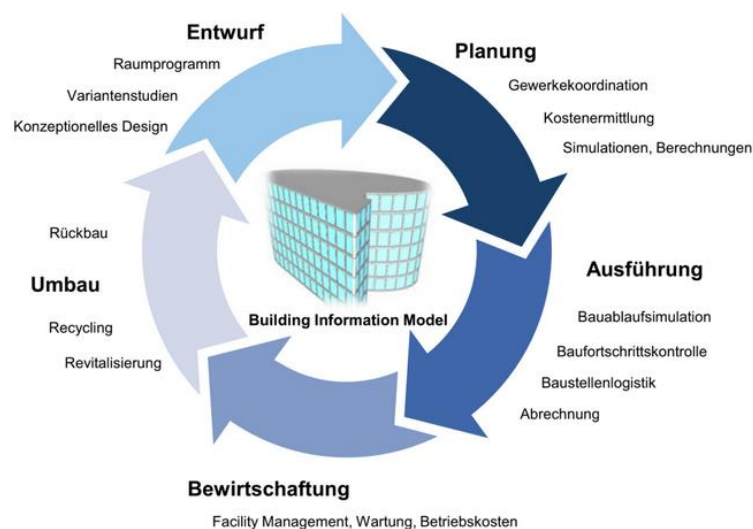


Abbildung 20: BIM entlang des Lebenszyklus von Bauwerken (Borrmann et al. 2015c, S. 4)

Das Gebäudemodell ist ein relevantes Instrument der Informationserstellung, Verifizierung der richtigen Informationen und Informationsbereitstellung. Die innerbetrieblichen und bauprojektbezogenen Vorzüge der BIM-Arbeitsmethodik können nur in Verbindung von fehlerfreier Technologieanwendung und unter Beachtung dazugehöriger Informationsmanagementprozesse hervortreten (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 5). Der Anspruch der

modellbasierten Informationssätze besteht in der Vollständigkeit. Die automatisierte Entscheidungsunterstützung durch die Datenmodelle unterliegt der Bedingung, dass eine Prüfung unabhängig vom agierenden Projektbeteiligten in gleicher Projektfunktion mit gleichem Überprüfungsergebnis erfolgt. Dementsprechend müssen die Informationen konkret definiert sein und deren Standardisierungen im Verlauf des Bauprojekts beachtet werden. Daraus ergeben sich zwei Risikoperspektiven:

1. Informationstechnische Risikoperspektive:

- Eine Informationsminderung durch die Fehlanwendung der modellbasierten, technischen Unterstützung kann zu einer Erschwerung angestrebter Ziele in der Aufgabenerfüllung führen (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 9).

2. Perspektive des Projektrisikos:

- Erforderliche Informationen, die in ihrem Lieferzeitpunkt und -inhalt festgelegt sind, bilden die Grundlage für Entscheidungsprozesse im Bauprojektverlauf. Sind diese von Unvollständigkeit geprägt oder entsprechen nicht der vorgesehenen Qualität und Quantität, wird die technologische Form der Entscheidungsunterstützung nicht wahrgenommen werden können. Das Informationsmanagement im Bauprojekt erscheint somit als erfolgsentscheidende Variable (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 10).

Das Bauwerksmodell erfüllt die Rolle einer digitalen Repräsentanz des Bauprojekts, welche allen beteiligten Projektakteuren als Unterstützung für Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse als zuverlässige Entscheidungsgrundlage zur Verfügung stehen soll (vgl. DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 13). Diese Modelle können Gebäude, Brücken, Straßen und Anlagen repräsentieren. Das Informationsmanagement ist in diesem Zusammenhang über die kollaborative Zusammenarbeit von Informationsbestellern und -bereitstellern zu definieren, die dafür Sorge tragen die Reifegrade der Informationen zu erreichen (vgl. DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 14). Abb. 21 verdeutlicht die Inhalte der Entwicklungsgrade [Stadium 1 bis 3]. Nach heutiger Sicht hat die Normung das dritte Stadium noch nicht erreicht.

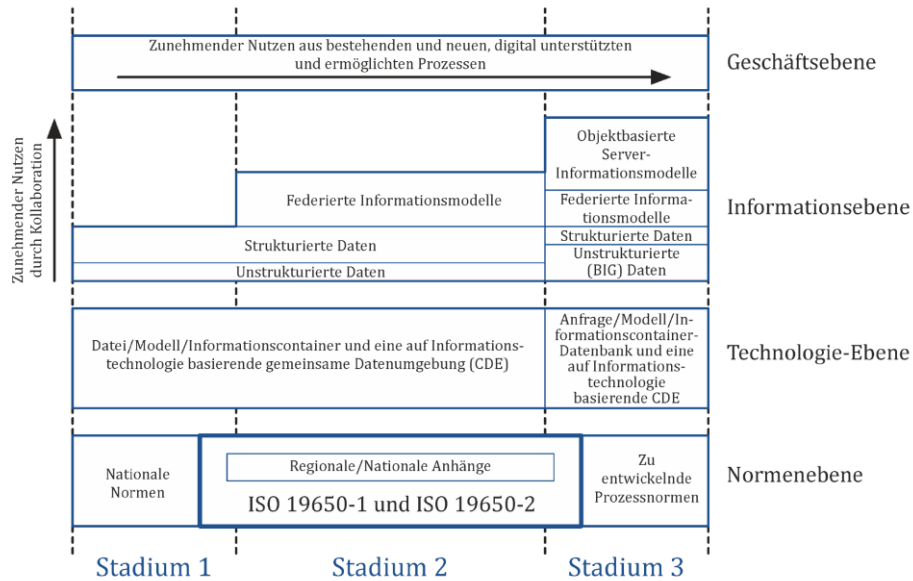


Abbildung 21: Sichtweise auf Entwicklungsgrade des BIM-Informationsmanagements (DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 15)

Die bauinformatisch geprägte Sicht auf die BIM-Methodik bezieht sich auf die technologischen Grundlagen zur geometrischen, parametrischen und objektorientierten Modellierung. Die dreidimensionale Geometrie aller zu modellierenden Objekte bildet die Grundlage für Mengenermittlungen, Grundriss- und Schnittdarstellungen sowie weiterführende Berechnungsverfahren für Fachplanungen und Simulationen. Ebendies geschieht durch Volumen- und Oberflächenberechnungen der Körper anhand verschiedener Verfahren zur Volumenmodellierung (vgl. Borrmann und Berkhahn 2015, S. 25).<sup>27</sup>

Die entstehenden geometrischen Modelle sollen in Abhängigkeit zueinander agieren, um Änderungen an gleich klassifizierten oder voneinander abhängigen Objekten auszuführen. Die entscheidenden Parameter sind Abmessungen der Höhe, Breite und Länge zwischen verschiedenen geometrischen Objekten. Individuell definierbare Formeln fungieren als Rahmenbedingungen der Abhängigkeiten (vgl. Borrmann und Berkhahn 2015, S. 34). Die Parametrik ermöglicht damit die Erzeugung abhängiger Bauteile und die Positionierung innerhalb eines Gebäudedatenmodells.

Der objektorientierte Ansatz fügt den Modellen semantische Informationen hinzu und somit eine Bedeutung von Informationen, die über die 3D-Geometrie hinausgehen. Daraus ableiten lassen sich Arten und Mengen von Baustoffen, verwendeten Materialien, Nutzungseigenschaften oder auch Angaben zu Herstellern. Diese Aufzählung ist exemplarisch zur Verdeutlichung des objektorientierten Modellierparadigmas (vgl. Koch 2015, S. 43). Dieses verfolgt die eindeutig identifizierbaren und unterscheidbaren einzelnen Objekte innerhalb eines

<sup>27</sup> Dazu sind drei explizite Verfahren der Volumenmodellbeschreibung zur Vollständigkeit zu nennen, 1. Boundary Representation Mode, 2. triangulierte Oberflächenbeschreibung, 3. Constructive Solid Geometry. Die Formen werden allerdings nicht weiterführend differenziert beschrieben.

BIM-Modells. Jedes Objekt stellt eine reale Einheit innerhalb eines Bauvorhabens dar (vgl. Koch 2015, S. 44). Die Objekte erfahren ihre Zustandsbeschreibung durch Attribute. Sie sind die konkrete Beschreibung der Bauteilinformationen der gleichen Objektklasse. Die Attribute unterscheiden sich in ihren Werten und vereinen Informationen eines Objekts zu Objekttyp, Maßen, Lage im Modell, Material und Art (vgl. Koch 2015, S. 48). Darüber hinaus ist eine Attribuierung in einer vierten und fünften Dimension möglich.

Ein 4D-Modell ergibt sich durch Kombination einzelner Objekte mit Abschnitten des Bauzeitenplans. Logiken der Reihenfolge im Bauablauf lassen sich prüfen. Die fünfte Dimension bezeichnet die Kostenverknüpfung mit einzelnen Objekten und Materialien. Genutzt werden kann diese Funktion zur Kostenermittlung gemäß Kostengruppierung nach DIN 276:2018-12, aber auch für Kalkulationen in der Ausführungsvorbereitung und in Fällen der Abrechnung von Bauleistungen (vgl. Borrmann et al. 2015c, S. 6–7).

Die Definitionsansätze lassen erkennen, dass sich die Veränderung durch BIM insbesondere auf die Übertragung der Leistungsbilder aus Bauplanung, Ausführungsvorbereitung und Bauausführung in eine digitale Umgebung bezieht. Die modellbasierte Erfassung der realen Bautätigkeit ist auf definierte Informationsmanagementabläufe bei risikobefreiter Technologieanwendung angewiesen.

#### **4.2 Systemtheoretische Einordnung in die Anwendungsdimension**

Aus der begrifflichen Einordnung ist ein mehrdimensionales BIM-Verständnis erkennbar. Der Fokus der vorliegenden Arbeit richtet sich auf die praktische BIM-Anwendung [Definitionsebenen Informationsmanagement (4), Prozessartenvielfalt und Anwendungsrisiken (5) s. Kapitel 4.1, Tab. 5].

Die phasendurchgängige BIM-Anwendung in der deutschen Bauwirtschaft sieht sich mit vielfältigen Herausforderungen und einer verlangsamten Einführung konfrontiert. Zusätzlich zu informationstechnischen Kenntnissen ist es notwendig, die Projektorganisation an die Methodik anzupassen. Der von der Reformkommission Bau von Großprojekten angeregte Stufenplan definiert die sukzessive Annäherung der Bauwirtschaft an die BIM-Methodik in den Jahren 2015 bis 2020 mit dem Ziel, ab 2020 das Leistungsniveau I hergestellt zu haben (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015; Bramann und May 2015, S. 3–5). Der Stufenplan, herausgegeben durch das BMVI, richtet sich an öffentliche Auftraggeber im Infrastrukturbau, die seit dem Jahr 2020 das Leistungsniveau I innerhalb der Vergaben einfordern sollen. Zunächst ist kein verpflichtender rechtlicher Rahmen zur Anpassung geschaffen, um das Leistungsniveau I einer Anwendung zuzuführen (vgl. Bramann und May 2015, S. 3–5). Als Modell soll der Stufenplan den Anwendungsweg in Kategorien teilen und exemplarisch erläutern. Obgleich er vordergründig für den Infrastrukturbau und

infrastrukturbezogenen Hochbau gilt, ist ebenfalls eine Übertragung in weitere Teilbereiche möglich und zukünftig denkbar. Abb. 22 zeigt die schematische Darstellung des Stufenplans.

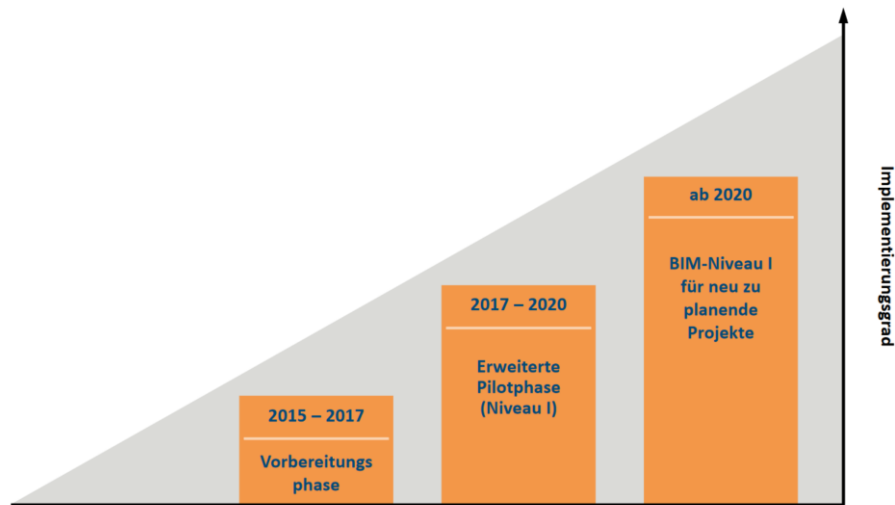


Abbildung 22: Schematische Darstellung des Stufenplans (Bramann und May 2015, S. 5)

Die Dreiteilung sieht in der ersten Stufe die Vorbereitung in Form von wissenschaftlich begleiteten Pilotprojekten und der Ausarbeitung notwendiger Richtlinien und Standards vor. Diese beziehen sich auf Leitfäden der konkreten BIM-Anwendung sowie Vorlagen für vertraglich zu fixierende BIM-Leistungen und Projektabwicklungspläne. Die Methodik ist dabei für sämtliche Lebenszyklusphasen eines Bauwerks vorgesehen. Um weitere BIM-Anwendungssicherheit zu erlangen, wurde in der erweiterten Pilotphase von 2017 bis 2020 die BIM-Anwendungspraxis mit den zuvor entwickelten Implementierungshilfen erprobt (vgl. Bramann und May 2015, S. 9).

Öffentliche Institutionen als Auftraggeber sollten ab dem Jahr 2020 befähigt sein, Bauleistungen nach HOAI mit BIM-Leistungsbildern in Neuausschreibungen anzufordern.<sup>28</sup> Auftragnehmer müssen sich entsprechend qualifizieren, um ihre Leistungsbilder mit der digitalen Arbeitsmethodik zu vollziehen (vgl. Bramann und May 2015, S. 9). Die Mindestanforderungen des Leistungsniveaus I beziehen sich nach BMVI auf die Bereiche Daten, Prozesse und Qualifikationen [Tab. 6].

Kategorien Leistungsniveau I	Inhalt
Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Einsatz der AIA [Auftraggeber-Informationen-Anforderungen] zur Definition der geforderten Datenqualität und -tiefe sowie Datenlieferzeitpunkten durch die Auftragnehmer;</li> <li>b) definierte Leistungen als attribuierte 3D, 4D und 5D-Modelle sind zu fixieren;</li> </ul>

<sup>28</sup> Leistungsbilder der Bauleistungen folgen dabei der Definition nach HOAI von Flächen-, Landschafts-, Objekt- und Fachplanungsleistungen [§§ 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27 Teil 2 Flächenplanung HOAI; §§ 34, 39, 43, 47 Teil 3 Objektplanung HOAI; §§ 51, 55 Teil 4 Fachplanung HOAI; Anlagen 2 - 15 HOAI, in der Fassung von 2021].



	<ul style="list-style-type: none"> <li>c) Die Leistungen sind in digitaler Form zu liefern;</li> <li>d) AIA gelten als Vertragsbestandteil zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer;</li> <li>e) festgelegte Prüfkriterien zur Validierung der AIA-Bestimmungen sind vertraglich fixiert;</li> <li>f) Festlegung zur Verwendung herstellerneutraler Datenformate zur Ermöglichung offener Schnittstellen zum Datenaustausch;</li> <li>g) Festzulegende Nutzungsrechte des Auftraggebers an den Fachmodellen der Planung</li> </ul>
Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Zu definieren im BAP [BIM-Abwicklungsplan]: individuell in Bauprojekten anzulegen: Prozesse zur Herstellung der in den AIA festgeschriebenen Daten sind mit Zuständigkeiten, Rollen, Abläufen, informationstechnischen Schnittstellen, Informationsinteraktionen und angewandten Technologien zu versehen;</li> <li>b) Zeitpunktfestlegungen für Modellzusammenführungen, Detailtiefen der Modelle;</li> <li>c) Umfangsfestlegungen zu Visualisierungen, Mengenermittlungen, Simulationen technischer Anlagen;</li> <li>d) Festlegung und Einrichtung einer gemeinsamen Datenumgebung als zentrale Zugriffsmöglichkeit für die Projektbeteiligten entsprechend ihrer Zuständigkeiten;</li> <li>e) Referenzprozessbeschreibung für jedes Bauprojekt und dessen individuelle BIM-Leistungen als Grobstruktur des Bauprozesses</li> </ul>
Qualifikationen	Überprüfung der potenziellen Auftragnehmer im Vergabeverfahren auf zugehörige Kompetenzen der geforderten BIM-Leistungen

Tabelle 6: Anforderungen BIM-Leistungsniveau I ab 2020

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Bramann und May 2015, S. 9–11)

Die seit 2019 geltende europäische DIN EN ISO 19650 definiert Informationsanforderungen, -modelle und das Management der kollaborativen Erzeugung von Informationen, um perspektivisch an das Leistungsniveau I anzuknüpfen und die Bedingungen des Informationsaustausches zu standardisieren. Dieser Standard orientiert sich am britischen Reifegradmodell [Level 2 BIM], da er die britische Norm BSI PAS 1192<sup>29</sup> ersetzt (vgl. McPartland 2017). Diese definierte die kollaborative Produktion von architektonischen, ingenieurtechnischen und bauausführenden Informationen unter Verwendung eines Projektinformationsmodells<sup>30</sup> (vgl. PAS 1192:2008-01). Deshalb wird an dieser Stelle auch das britische BIM-Reifegradmodell erwähnt.<sup>31</sup>

Daran knüpfte im Jahr 2020 die weiterführende Leistungsniveau-Definition für Deutschland in der VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1 an. Sie beschreibt bereits das Leistungsniveau I als

<sup>29</sup> BSI PAS: British Standards Institution: Publically Available Specification.

<sup>30</sup> Projektinformationsmodell: unterstützt alle Bauprojektphasen und geht bei Projektabschluss in das Asset-Informationsmodell über. Es dient außerdem als digitale Langzeitarchivierung des Bauprojekts [geometrische, Leistungsanforderungen der Planung, Bauzeitenplanung, Kostenberechnungen, installierte Systeme, Wartungsanforderungen] (vgl. DIN EN ISO 19650-1:2019-08, S. 20).

<sup>31</sup> **Britisches BIM-Reifegradmodell: Level 0 BIM:** keine Kollaboration, zeichnerische Ergebnisse sind printbasiert; **Level 1 BIM:** Verbindung aus 2D und 3D-Zeichnungen, elektronische Informationsteilung geschieht aus einem Common Data Environment [containerbasierte digitale Projektumgebung] heraus; **Level 2 BIM:** kollaboratives Arbeiten auf Basis eines definierten Informationsaustauschprozesses, herstellerneutrale, offene Dateiformate; diese Form der Arbeitsmethodik ist von der britischen Regierung als Mindestanforderung im Rahmen öffentlicher Bauaufträge gesetzt worden; **Level 3:** vollständige Definition noch ausstehend, Schlüsselthemen sind: internationale, offene Dateistandards, Schulung der öffentlichen Auftraggeber in der BIM-Nutzung (vgl. McPartland 2014).

Kollaboration auf Projektbasis durch eine dateibasierte Interoperabilität von Geometrie und Standardprozessen. Basierend auf einer 3D-CAD-Planung lassen sich Informationen strukturiert mit Objekten im Gebäudedatenmodell verknüpfen.<sup>32</sup> Mit dieser Richtlinie ist seit 2020 das BIM-Leistungsniveau in Deutschland erstmalig von Leistungsniveau 0 bis Leistungsniveau 3 definiert (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 6) [Tab. 7].

Leistungsniveau	Erläuterung
Leistungsniveau 0	<u>Kooperationsstufe auf Projektbasis</u> : individueller, dateibasierter Informationsaustausch ohne Prozessunterstützung; 2D-Geometrie, proprietäre Anwendung, anwendungszentrisch und papierbasiert, Datenbank-Dateien mit einfacher Struktur im .pdf oder .plt-Format, digitales Niveau 0: CAD-Zeichnung
Leistungsniveau 1 Leistungsniveau 2	<u>Kollaborationsstufe auf Projektbasis</u> , Niveau 1: dateibasierte Interoperabilität von Geometrie und Datenaustausch mit standardisierten Prozessen; datenzentrisch, digital und objektorientiert, strukturierte Informationsverknüpfung mit Zeichnungselementen, digitales Niveau 1: 3D-Objekte mit Attributen, Niveau 2: Einsatz offener Dateiformate <sup>33</sup> , Ableitung von 2D-Daten nur modellbasiert, Informationsaustausch über eine projektbezogene Dateiumgebung, automatisierte Auswirkungen sind projektspezifisch möglich, digitales Niveau 2: parametrisierte Bauwerksinformationsmodelle 3D-5D
Leistungsniveau 3	<u>Integrationsstufe auf Portfolio- und Organisationsbasis</u> : integriert, linked data <sup>34</sup> , maschinenlesbar, datenzentrisch, Modelformat, digitales Niveau: integriertes BIM (online abrufbar und linked data zwischen den Modellen)
Weitere Leistungsniveaus	zukünftige, bisher nicht definierte Entwicklungen

Tabelle 7: Übersicht Leistungsniveaus nach VDI 2552 Blatt 1 BIM-Grundlagen (eigene Darstellung, in Anlehnung an: VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07, S. 6–8)

Die Herausforderungen der BIM-Anwendung in deutschen Bauprojektorganisationen müssen abgebaut werden, um Leistungsniveau 2 und 3 künftig flächendeckend zu praktizieren. Infolgedessen steht die Anwendungsperspektive innerhalb der vorliegenden Arbeit im Fokus.

### 4.3 Strukturtheoretische Einordnung von Anwendungsfällen

In Abhängigkeit der für ein Bauprojekt gesetzten BIM-Ziele leiten sich konkrete BIM-Anwendungsfälle<sup>35</sup> ab, die projektspezifisch zu definieren sind. Dazu muss beschrieben sein, welchen Zweck die zu erstellenden BIM-Modelle im Bauprojekt erfüllen. In Abhängigkeit des Projektzeitpunkts ergeben sich differenzierte digitale Ausarbeitungsgrade in den verschiedenen Anwendungsfällen. Es ist zu prüfen, welche Anwendungsfälle unter Beachtung

<sup>32</sup> Der Begriff Objekt wird analog zum inhaltlichen Verständnis im Sinne der objektorientierten Modellierung nach Koch 2015 verwendet (vgl. Koch 2015, S. 44–46). Vorausgegangen war die Definition nach Eastman 1999 im Sinne der Modellierung als geometrische und semantische Beschreibung eines Objekts (vgl. Eastman 1999).

<sup>33</sup> Offene Formate: nicht-proprietäre Schnittstelle: im Sinne der durchgängigen und Softwareherstellerneutralen BIM-Anwendung kann Softwarepluralität im Bauprojekt abgebildet werden. Offene Datenaustauschformate sichern die Informationsübertragung über standardisierte Dateiformat-Schemata (vgl. Stange 2020, S. 182).

<sup>34</sup> Linked Data bezeichnet eine Form der Informationsintegration. Datenstücke werden aus verschiedenen Quellen zusammengesetzt [linked] und stellen eine Gesamtinformation dar. Es lassen sich Verbindungen zwischen inhaltlich zusammenhängenden Informationen durch die Verlinkung aufzeigen, ohne diese Informationen getrennt voneinander recherchieren zu müssen (vgl. Sakr et al. 2018, S. 5).

<sup>35</sup> Nachfolgend im Text auch gleichbedeutend mit AWF abgekürzt.

der Komplexität des Bauprojektes und der damit zu erfüllenden Prozesse innerhalb der Leistungsbilder durchführungsfähig sind. Eine risikoarme Anwendung der BIM-Methodik bedarf der Anpassung projekt- und organisationsbezogener Strukturen (vgl. Borrmann et al. 2019c, S. 6–7).

BIM-Leistungen setzen sich aus BIM-Anwendungsfällen und den dafür notwendigen BIM-Vorleistungen zusammen (vgl. Deubel et al. 2018, S. 297) [Abb. 23]. Als Vorleistungen dienen niedergeschriebene AIA und BAP, die Rahmenbedingungen als Bestandteil vertraglicher Bestimmungen der Planungsleistungen sind. Innerhalb dieser sind die BIM-Qualität und BIM-Zielstellungen im Projekt definiert. Vorleistungen präzisieren projektspezifische BIM-Leistungsbilder, da konventionelle werkvertraglich ausgerichtete Bestimmungen lediglich die üblichen Grundleistungen und besonderen Leistungen nach HOAI enthalten [Anlagen 2 – 15 HOAI] (vgl. Borrmann et al. 2019c, S. 9).

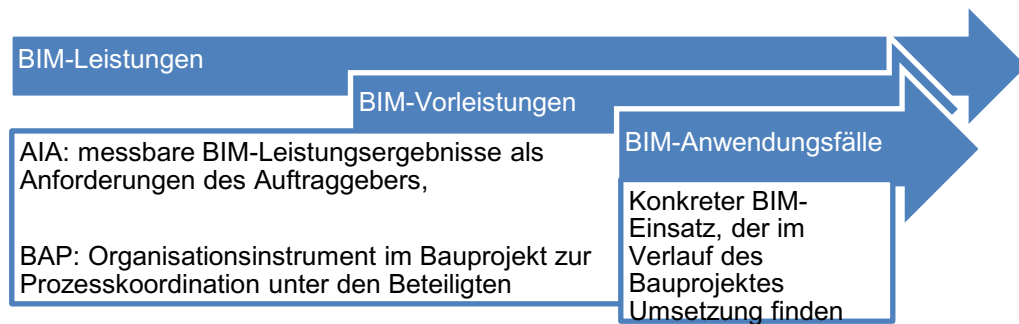


Abbildung 23: BIM-Leistungen im Bauprojekt

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Deubel et al. 2018, S. 297; Borrmann et al. 2019a, S. 9–11)

Die AIA legen geforderte Modellstände des Auftraggebenden fest, die an Lieferungszeitpunkte für den Auftragnehmer geknüpft sind. Sie enthalten funktionale Beschreibungen und sind nicht auf Detailprozesse ausgerichtet. Die AIA dominieren den BAP und müssen bereits bei Beauftragung vorliegen, um den vertraglichen Leistungsbereich abzustecken. Mit Anwendung der BIM-Methodik ändern sich nicht die inhaltlichen Leistungen, sondern der Prozess zu erbringender Leistungen (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 9–11; VDI-Richtlinie 2552 Blatt 10:2020-01, S. 3–8). AIA zielen darauf ab Überproduktionen von Informationen zu vermeiden, um organisationsunterstützend zu wirken. Die AIA-Elemente inkludieren zusätzlich zu BIM-Zielen und -Anwendungen die BIM-Informationsrollen<sup>36</sup>, Fertigstellungsgrade der Modelle in

<sup>36</sup> **BIM-Informationsrollen: Informationsmanager (BIM-Manager):** auftraggeberseitige Ansprechpartner und AIA-Verfassende, **Informationskoordinator (BIM-Koordinator):** Verantwortliche für die operative BIM-Umsetzung auf Basis der vertraglich vereinbarten BIM-Leistungen, **Informationsautor (BIM-Autor):** handwerkliche Modellierer im Datenmodell entsprechend den vertraglich vereinbarten BIM-Leistungen, **Informationsnutzer (BIM-Nutzer):** Datenmodell wird nur zur Informationsgewinnung genutzt (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 7:2020-06, S. 12–14).

definierten LOD, zu verwendende Modellproduktionsmethoden, Referenzinformationen der Modellobjekte und eine Element-Attribut-Matrix.

Unter Einbeziehung von Planungs- und Ausführungsleistungen fungiert der BAP als:

1. Nachschlagewerk für Detailfestlegungen über alle BIM-bezogenen Leistungsphasen,
2. Pflichtausführungen der Leistungen der AIA,
3. organisatorische Absprache sowie Festlegung des Lieferzeitpunktes im Projekt,
4. Prozessregelungen für Datenerstellung und Datenaustausch,
5. Instrument der Planungskoordination, was im Projektverlauf fortgeschrieben wird und für alle Projektphasen verpflichtend anzuwenden ist.

Der BAP kann bei Beauftragung des Auftragnehmers als Vertragsanlage vorliegen, findet sich aber nicht als Muss-Bestimmung wieder. Der BAP-Zustand bei Beauftragung liegt in der Zuständigkeit des Auftraggebenden (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 9–11).<sup>37</sup> Für die Vergabe an den oder die Auftragnehmer sind verschiedene Möglichkeiten für den Einsatz beider Dokumente denkbar (vgl. Borrmann et al. 2019a, S. 11). Da die Vergabe nicht Forschungsschwerpunkt der vorliegenden Arbeit und der Analyse ist, wird auf weitere Ausführung verzichtet.

AIA sind stets projektspezifisch zu formulieren. Die AHO-Schriftenreihe Heft 11 beinhaltet hingegen eine generelle Übersicht über den Transfer von Grundleistungen und besonderen Leistungen [nach HOAI] in BIM-Leistungen mit zugehörigen Modelldetaillierungsgraden (vgl. Oltmanns et al. 2019, S. 29–31).

#### 4.4 Strukturebenen der Anwendungsfälle

Die Verbindung zwischen BIM-Zielstellungen und BIM-Anwendungsfällen geht mit Informationsinput und -output einher. Abb. 24 zeigt diesen Zusammenhang (vgl. Helmus et al. 2018b, S. 30).

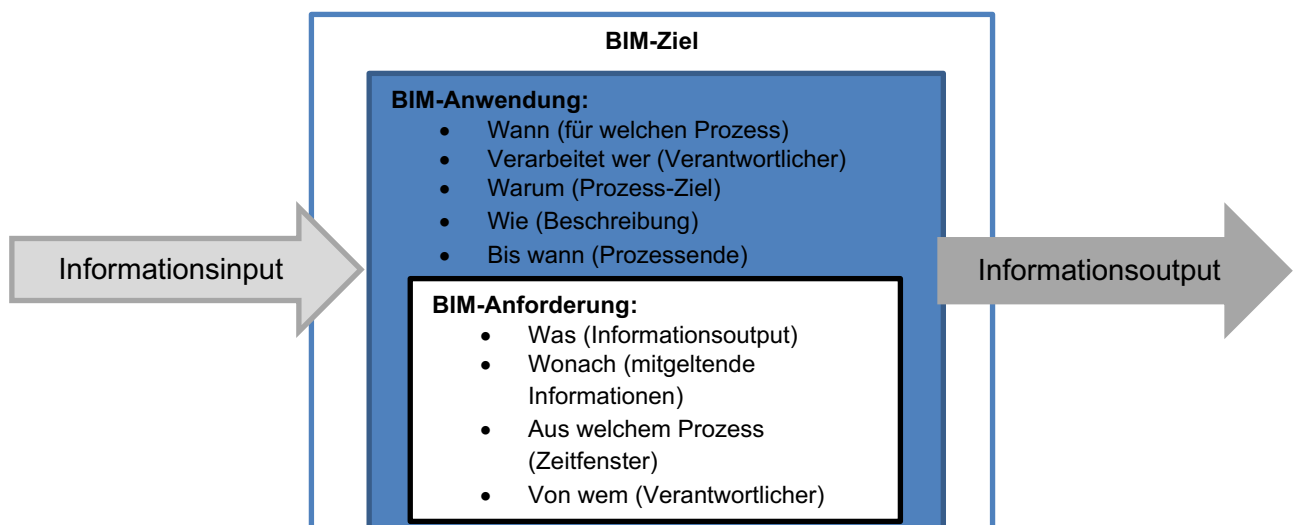


Abbildung 24: BIM-Prozess – BIM-Ziel und BIM-Anwendung (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Helmus et al. 2018b, S. 30; DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 11)

<sup>37</sup> Muster für besondere Vertragsbedingungen BIM lassen sich der Handreichung Teil 5 BIM4INFRA 2020 entnehmen (vgl. Borrmann et al. 2019b, S. 12–15).

Ein BIM-Anwendungsfall folgt dem übergeordneten BIM-Ziel. Er steht für einen spezifischen Prozess, dessen Verantwortlicher die Prozessziele verfolgt, den vorgesehenen Zeitrahmen beachtet und die Ausführung überwacht. Um den Prozess ausführen zu können, bedarf es Vorgängerinformationen, die als Prozessinput dienen. BIM-Anwendungsfälle haben Anforderungen wie bspw. Verantwortlichkeiten, Informationslieferzeitpunkte, Informationsinhaltsanforderungen und Datenstrukturanforderungen. Die Erfüllung des Anwendungsfalls bringt einen Leistungs- und Informationsoutput und dient darauffolgenden Prozessetappen (vgl. Helmus et al. 2018b, S. 30). Es sollte konkret definiert sein, welche Informationen im Bauwerksmodell verfügbar gemacht werden müssen. Die Datenstrukturanforderungen sehen Konventionen vor in:

- Ablagestrukturen von Informationen [Datenbankverortung],
- Ausgabestrukturen [auszugsweise Ausgabeformen: als digitales Objekt, Leistungsverzeichnis, Terminplan],
- Modellstrukturen [Modellierungswege, Modellteilbereiche, Parametrisierung] (vgl. Helmus et al. 2018b, S. 29).

Eine im Jahr 2020 begonnene Ausarbeitung des BIM-Instituts der Bergischen Universität Wuppertal hält für die Strukturierung von BIM-Anwendungsfällen ein Template bereit, welches die voranstehend genannten Anforderungen aufgreift (vgl. Helmus et al. 2020a, II). Tab. 8 fasst Anforderungskategorien an BIM-Anwendungsfälle zusammen, die im Vorfeld zu definieren sind.

Anforderungskategorie	Beschreibung
Kurzbeschreibung BIM-Anwendungsfälle	Durchzuführende Aktivitäten zur digitalen Erfüllung des Leistungsbilds
Voraussetzungen für die Anwendung	Auflistung der zu beachtenden Rahmenbedingungen [BAP-Inhalte]
Darstellung der BIM-Anwendung	Grafische Ablaufdarstellung zu Wertschöpfungsprozessen und Informationsprozessen [als Interaktionsdiagramm und Transaktionsplan]

*Tabelle 8: Anforderungskategorien an BIM-Anwendungsfälle*

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Helmus et al. 2020a, S. 2–4; VDI-Richtlinie 2552 Blatt 7:2020-06, S. 17–19)

#### 4.5 BIM-Anwendungsrealität

Die im Kapitel 4.5 angeführten Studien lassen deutlich werden, dass das Herausforderungsniveau für die BIM-Anwendung auf Unternehmens- und Bauprojektenebene nach wie vor als hoch einzustufen ist. Anzunehmen ist, dass auch 2022 keine ganzheitliche, leistungsphasendurchgängige BIM-Anwendung in Bauprojekten in Deutschland vollzogen werden wird. Weiterhin ist zu vermuten, dass die Herausforderung der Implementierung für kleine und mittelständische Unternehmen der Objektplanung, Fachplanung und Bauausführung die Anwendung sehr erschweren. Demzufolge besteht das Risiko, dass die tatsächlichen BIM-Fähigkeiten und Erfahrungen, die bis 2020 entsprechend dem Stufenplan [Kapitel 4.2] hätten aufgebaut werden sollen, weiterhin nicht vorliegen. Zugleich bestehen jedoch die Forderungen im Infrastrukturbau für öffentliche Auftraggeber für die BIM-

Anwendung. Abb. 25 zeigt die Datenbankrecherche mit dem Ergebnis vier einzubeziehender Studien [Anhänge 15, 16].

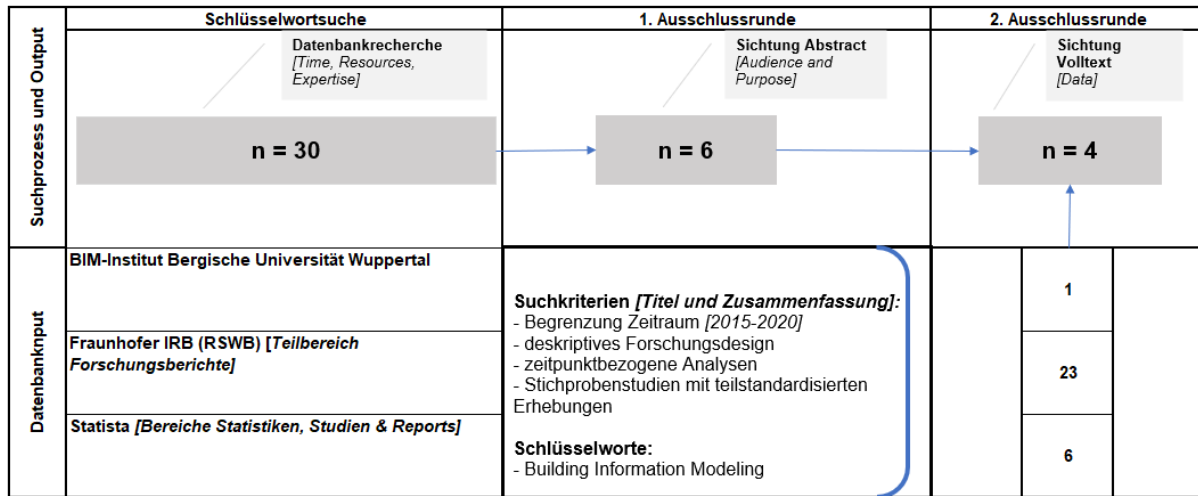


Abbildung 25: Datenbankrecherche BIM-Anwendungsrealität

681 Unternehmen haben sich an den vier Studien beteiligt. Die Auswertung zeigt, dass rund 75 % der teilnehmenden Unternehmen noch nie BIM-Anwendungsmöglichkeiten genutzt haben [n = 681] (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2019, 2020; Cacciatore und Kaiser 2018; Helmus et al. 2017). Unternehmen mit BIM-Erfahrung beschreiben, dass sie in rund 17 % ihrer Bauprojekte einzelne BIM-Anwendungen vollziehen [n = 200] (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2020, 2019). In der Aufteilung lässt sich nach Objektplaner, Fachplaner TGA [technische Gebäudeausrüstung] und den ausführenden Bauunternehmen unterscheiden. Die Anwendungsquoten unter den Gruppen sind ähnlich gering [19 % der Projekte der Objektplaner, 17 % der Projekte der Fachplaner TGA, 15 % der Aufträge der ausführenden Bauunternehmen ; n = 200] (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2020, 2019). Bisherige BIM-Anwendungsarten lassen sich in folgenden Teilbereichen ermitteln:

1. bauplanende Unternehmen [Objektplanung],
2. ausführende Unternehmen [Bauhaupt- mit Ausbaugewerbe] [n = 100] (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2019).

Auf einer Likertskala [1 = wenig angewandt, 3 = häufiger angewandt, 5 = am häufigsten angewandt] werden die BIM-Anwendungsarten erfasst [Abb. 26].<sup>38</sup> Genaue Anwendungsfälle sind in den einbezogenen Überblicksstudien nicht definiert worden.

<sup>38</sup> N = 100.

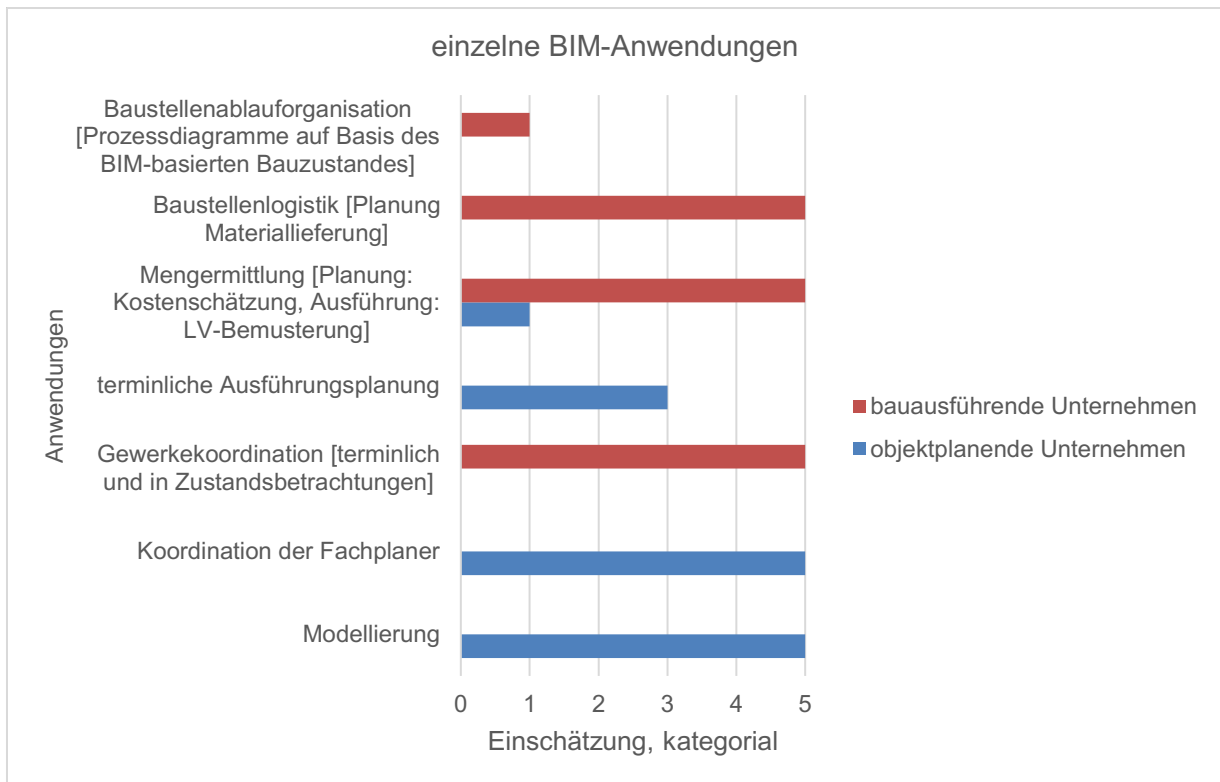


Abbildung 26: Ermitteltbare BIM-Einzelanwendungen (eigene Darstellung, in Anlehnung an: PricewaterhouseCoopers GmbH 2019)

In der Objektplanung sind am stärksten die Entwurfsmodellierung sowie die modellbasierte Koordination der Fachplaner Objekt und TGA zur Zusammenführung von BIM-Fachmodellen genutzt. Teilnehmende bauausführende Unternehmen mit BIM-Erfahrung nutzen baustellenlogistische Anwendungsmöglichkeiten in Abhängigkeit des Baufortschritts, der modellbasiert dokumentiert wird. Weiterhin werden durch bauausführende Unternehmen die terminliche Koordination der Gewerke und die Mengenermittlung zur LV-Bemusterung in der Ausführungsplanung modellbasiert ermittelt.

Die Forderungen nach Anwendung von BIM lagen zwischen Juni 2018 bis Juni 2019 bei durchschnittlich 10 % [n = 100; ermittelt durch Ausschreibungen für Bauplanungs- und Bauausführungsleistungen der teilnehmenden Unternehmen] (vgl. PricewaterhouseCoopers GmbH 2019).

Gründe für die bisher nicht durchgeführte BIM-Anwendung in Bauprojekten sind erfragt worden. Die Antwortkategorien leiten sich aus der Zusammenfassung mehrerer Studien ab und weisen deshalb verschiedene Stichprobengrößen auf. Abb. 27 zeigt die prozentuale Häufigkeit der Kategorien von Herausforderungen.

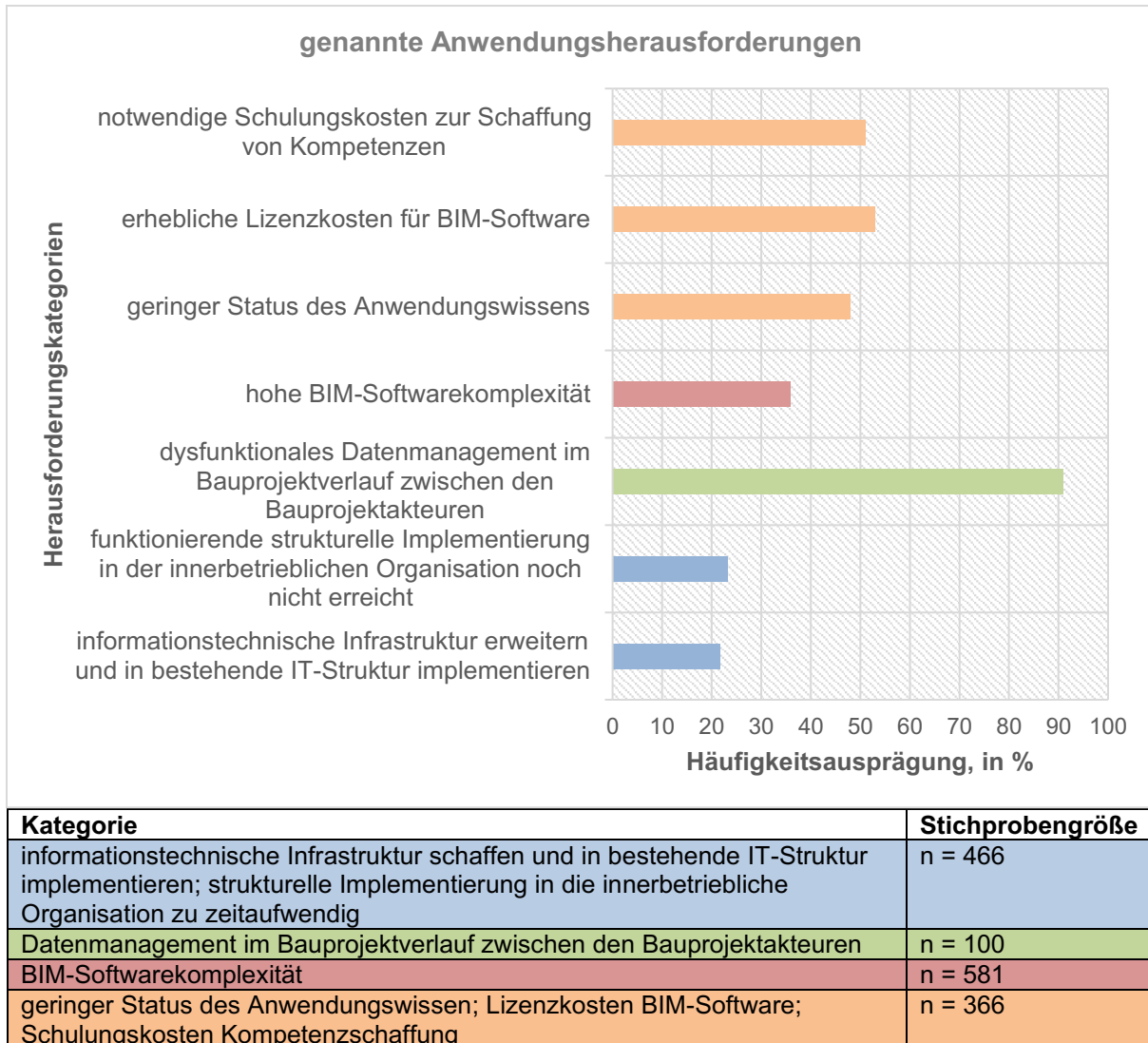


Abbildung 27: BIM-Anwendungsherausforderungen

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: PricewaterhouseCoopers GmbH 2020; Cacciatore und Kaiser 2018; Helmus et al. 2017)

Herausforderungen im Anwendungsbezug liegen vornehmlich in den Bereichen des Datenumgangs und -übergangs im Bauprojektverlauf und im fehlenden Anwendungswissen. Weiterhin werden Investitionskosten für BIM-Software und außerbetriebliche Schulung als Herausforderungen angeführt. Die Auswirkungen auf die innerbetriebliche Organisationsstruktur und das Bauprojekt im Sinne einer temporären Organisation sind ebenfalls als Grund eines Implementierungsaufschubs einzustufen (vgl. Cacciatore und Kaiser 2018; Helmus et al. 2017; PricewaterhouseCoopers GmbH 2020).

Auch im Jahr 2022 bestehen noch Herausforderungen, die vom vorgesehenen BIM-Anwendungslevel Leistungsniveau I abweichen. Ein Großteil der deutschen Bauindustrie lässt sich als Erstanwender charakterisieren. Damit bleibt das Leistungsniveau I zunächst risikobehaftet für unerfahrene Anwender. Aufgrund der Struktur der deutschen Bauwirtschaft [Kapitel 3.3] sind diese BIM-Herausforderungen größtenteils in KMU zu verorten. Sofern sich



deren BIM-Reifegrad nicht kontinuierlich erhöht, sind Wettbewerbsnachteile zu erwarten, wenn BIM-Leistungen vertraglich gefordert werden.

Organisationsstrukturelle Belange verändern sich wegen der BIM-Methodik in Bauprojekten. Demzufolge liegt ein organisationaler Veränderungsprozess vor, der im Moment der Transformation gestaltet werden sollte, um einen effektiven BIM-Einsatz zu gewährleisten und um Risiken zu identifizieren. Die Sensibilisierung für Risiken in der BIM-Anwendung ist im Besonderen für KMU von Bedeutung (vgl. Bischof et al. 2017, S. 64–65). In der Betrachtung des wertschöpfenden Gesamtprozesses wird erkennbar, dass der lineare, konventionelle Bauprozess unter Anwendung der BIM-Methodik eine Prozessparallelität hervorruft (vgl. Sommer 2016, S. 144–145) [Abb. 28].

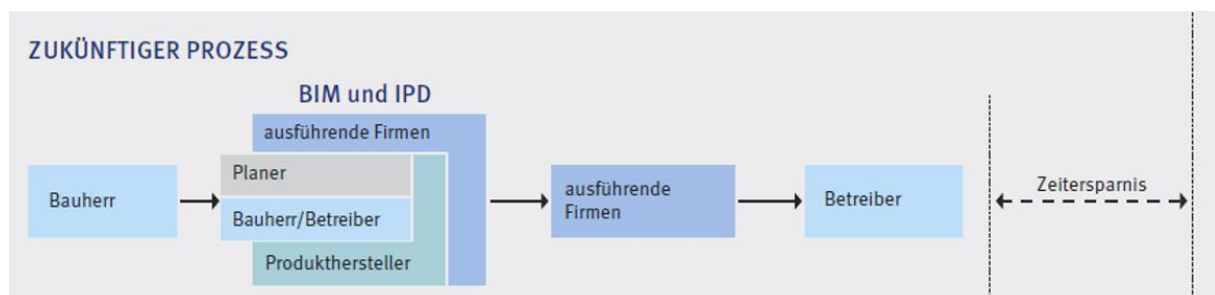


Abbildung 28: Schematischer BIM-Prozess (Sommer 2016, S. 144)

Im Sinne des Integrated Project Delivery als frühzeitiger Beteiligung bauausführender Unternehmen kann deren Detailwissen bereits früh eingebunden und nachträgliche Planungsanpassungen können vermieden werden. Dieses Vorgehen kann eine Zeitersparnis bedeuten (vgl. Sommer 2016, S. 145). Ein weiterer Verweis auf einen Veränderungsprozess ist die sich wandelnde Bauprojektorganisation in BIM-basierten Projekten. Neben Ergänzungen der Vertragsbestandteile im Bauprojekt [AIA] entstehen zusätzliche Positionen im Projektmanagement, denen zusätzliche besondere Leistungen im Vergleich zur HOAI zuzuschreiben sind (vgl. Oltmanns et al. 2019, S. 11).<sup>39</sup>

Die Beachtung spezifischer BIM-Prozesse bezieht sich insbesondere auf die Erstellung und den Austausch von Bauwerksinformationen. Die verschiedenen neuen Bauprojektrollen sind nach Vorgaben zu definieren. BIM-basierte Projekte verlangen mit Konventionen versehene Planungs-, Kommunikations- und Datenaustauschprozesse während der Bauplanung, Ausführungsvorbereitung und Bauausführung (vgl. König 2015, S. 57). Dementsprechend sind im Sinne des Change Managements die Aufbau- und Ablauforganisation als Veränderungsdeterminanten des Bauprojekts zu betrachten.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist im Speziellen auf die Organisationsstruktur in Wandlungsvorgängen ausgerichtet.

<sup>39</sup> Zusätzliche Projektmanagementpositionen sind: auftraggeberseitiges BIM-Management per Werkvertrag; auftragnehmerseitig veränderte Rollenbeschreibungen.

## 5. Determinanten des Change Managements

### 5.1 Organisationstheoretische Einordnung

Dieses Kapitel definiert die organisationstheoretische Einordnung eines Veränderungsvorgangs in die strukturellen Organisationsfelder. Als Change Management<sup>40</sup> sind Veränderungsbestrebungen innerhalb von Organisationen zu verstehen (vgl. Lauer 2014, S. 4). Die begriffliche Erfassung des Veränderungsmanagements verlangt zunächst die Definition von Organisationen, um anschließend die Determinanten des Wandels erklärend darstellen zu können. Organisationstheoretische Ansätze beschreiben die Organisation auf verschiedenen Ebenen (vgl. Reichwald und Möslein 1997, S. 6).<sup>41</sup> Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf internen Wandlungsprozessen aufgrund eines spezifischen Transformationsgrunds abzielt, wird der institutionsökonomische Ansatz nicht betrachtet. Dieser bezieht sich vordergründig auf die Transaktionskostentheorie. Der klassische und der systemorientierte Ansatz werden verfolgt.

Der klassische Ansatz beschreibt eine produktivitätsorientierte Organisation. Der Definition von Gomez und Zimmermann folgend, weisen Organisationen funktionale, instrumentale und institutionelle Strukturen auf (vgl. Gomez und Zimmermann 1993, S. 16). Die Funktionalität zeigt sich in der Organisation durch die Koordination von Tätigkeiten und Abläufen (vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 2–3). Die Organisation ist als Prozess zu begreifen, dessen Einzeltätigkeiten als Ergebnis sachlicher Planung strukturiert werden, um das organisationale Ziel zu erreichen (vgl. Bea und Göbel 2019, S. 26–27). Die Effizienz einer Organisation soll durch maximale Produktivität erreicht werden, indem Ressourcen knapp eingesetzt werden und dabei eine maximale Zielerreichung generiert werden kann. Nach Reichwald und Möslein ist der Zielerreichungsgrad von einer „[...] geeigneten Zerlegung einer Gesamtaufgabe in Teilaufgaben und deren zielorientierter Abstimmung [...]“ abhängig (Reichwald und Möslein 1997, S. 3). Die Form der arbeitsteiligen Organisation entspricht einer Leistungsbewältigung, die interpersonell, inter-institutionell oder auch international stattfinden kann. Um ein organisatorisches Optimum zu erreichen, werden Organisationsstrukturen analysiert, Strukturvariablen erhoben sowie kritische Faktoren und Erfolgskriterien evaluiert (vgl. Reichwald und Möslein 1997, S. 3).

Der systemorientierte Ansatz erfasst Prozesse und Gestaltung des organisatorischen Wandels und analysiert Wirkungsbeziehungen innerhalb von Organisationen (vgl. Reichwald und Möslein 1997, S. 7; Ulrich 2001, S. 15). Führungs- und Leistungsprozesse werden auf

---

<sup>40</sup> Der Begriff Change ist im Deutschen mit dem Wort Veränderung und Wandlung zu übersetzen. Diese Formen werden innerhalb der Arbeit gleichbedeutend verwendet.

<sup>41</sup> Diese Ebenen sind der klassische, institutionsökonomische und systemorientierte Ansatz.

notwendige Veränderungen durch Störungen analysiert, um die Zielstellung der Organisation zu bewältigen. Dazu sind bedeutsame Wirkungsbeziehungen<sup>42</sup> zu erfassen, die Informations- und Entscheidungswege bedingen. Diese Interdependenzen können vorgelagert zu Prozessdurchführungen geplant werden und wirken demzufolge organisationsgestaltend.

Auf dieser Basis entstehen instrumentale Strukturen, die sich auf die Führung der Tätigkeitsfelder innerhalb der Organisation beziehen (vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 2–3). Die Einrichtung handelt organisiert und einem System aus Regularien folgend, um definierte Ziele durch eine bewusste Abwicklung zu erreichen. Das Regularium inkludiert eindeutige Aufgabenverteilungen und Entscheidungsbefugnisse, die Über- und Unterordnung beschließen. Diese Beschaffenheit erhebt die Organisation selbst zum Instrument (vgl. Bea und Göbel 2019, S. 27).

Daraus formt sich abschließend der institutionelle Aspekt, der eine Organisation als ganzheitliches soziales System beschreibt, das, einem übergeordneten Ziel folgend, unter einer Gesamtführung arbeitet (vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 2–3). Ergänzend sind dazu Schreyögg und Geiger anzuführen, die die institutionelle Dimension mit den partizipierenden Mitgliedern beschreiben, welche den gemeinsamen Zweck zur Zielerreichung verfolgen und der Organisation eindeutig zuzuordnen sind (vgl. Schreyögg und Geiger 2016, S. 9–10). Diese Charakterisierung lässt erkennen, dass gewerblich agierende Unternehmen nach gleichen Strukturen aufgebaut sind und deshalb eine Organisation darstellen.

Dies wird vor allem in der Charakterisierung von Spath et al. deutlich: „Ist die Organisation zur Erreichung unternehmerischer Ziele bewusst geschaffen und rational gestaltet, handelt es sich um eine formelle Organisation. [...] Die Ablauforganisation strukturiert die Aufgabenerfüllung durch räumliche und zeitliche Beziehungen. Die Aufbauorganisation ordnet Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortungen. [...] Für die Organisationsgestaltung in Unternehmen sind Ablauf- und Aufbauorganisation von grundlegender Bedeutung.“ (Spath et al. 2017, S. 4).

Hinsichtlich des Schwerpunktes der vorliegenden Arbeit wird eine Organisation als Einrichtung betrachtet, deren interne Akteure sowie Aufbau- und Ablauforganisation interdependent sind und folglich einen erheblichen Einfluss auf die Organisationsabläufe und etwaige -veränderungen nach sich ziehen können.

---

<sup>42</sup> Exemplarisch: Menschen und Maschinen als interdependent arbeitende Systeme, Informationen als notwendige Bedingung für zielgeleitetes Agieren (vgl. Ulrich 2001, S. 15).

## 5.2 Begriffliche Spezifikation

Der Ansatzpunkt des Change Managements ist der Moment der Organisationsentwicklung. Während sich die klassische Organisationsentwicklung durch eine Fokussierung auf interne Veränderungen der Kultur und Menschen bezieht, bindet das Change Management weitreichendere und maßgeblich unternehmerische Einflussfaktoren ein, wie:

- technologischer Wandel,
- Wettbewerb und
- gemeinschaftliche Wertschöpfung (vgl. Doppler und Lauterburg 2014, S. 96).

Der Übergang zur Veränderung ist somit als offener, nicht allein auf die Interna einer Unternehmung ausgerichteter Begriff zu interpretieren. In der Verbindung zum Begriff Organisation fokussiert sich das Change Management auf eine Lösung für ein Organisationsproblem.

Das Change Management versteht sich als Einsatz einer bestmöglichen Veränderungstaktik im Hinblick auf das Erreichen eines definierten Ziels. Es folgt dabei den Prinzipien der Nachhaltigkeit, indem es als ergebnisorientierte Führungsaufgabe zu charakterisieren ist und umsetzungsüberwachende Instrumente anwendet (vgl. Doppler und Lauterburg 2014, S. 97).

Im Verlauf einer Change Maßnahme vollzieht sich ein Wandel, der sich auf die organisationsinternen Akteure und Verfahrensweisen auswirkt (Lauer 2014, S. 4).

Hierbei ist eine inhaltliche Abgrenzung zur strategischen Unternehmensführung vorzunehmen. Diese verfolgt die Aufgabe der Angleichung eines Unternehmens an äußere Gegebenheiten wie externe Einflüsse und Marktsituationen, unter Anwendung langfristig plan- und einsetzbarer Strategien (vgl. Bea und Haas 2016, S. 12). Die Definition des strategischen Managements wird in jüngeren Publikationen erweitert, indem auch der Unternehmenskultur und deren Partizipanten eine langfristige strategische Bedeutsamkeit zugesprochen wird (vgl. Bea und Haas 2016, S. 14). Im Gegensatz dazu ist das Change Management eine „[emergente] [...] Methode für den proaktiven Umgang mit Wandel.“ (Rank et al. 2010, S. 16).

Tab. 9 stellt eine Übersicht konkreter Begriffsbestimmungen der einschlägigen Fachliteratur vor, die einen umfassenden Überblick vielfältiger Definitionsdimensionen wiedergibt.

Referenz	Begriffsbestimmung
(Staehele et al. 1999, S. 900); vgl. (Levy und Merry 1986, S. 9)	<p><b>Wandel 1. Ordnung:</b> „Hier erfolgt lediglich eine [...] Modifikation der Arbeitsweise einer Organisation ohne Veränderung des Bezugsrahmens [...]. Die Organisation wächst z.B. rein quantitativ [...].“</p> <p><b>Wandel 2. Ordnung:</b> „Hier erfolgt eine einschneidende, paradigmatische Änderung der Arbeitsweise [...]. Diese Veränderungsprozesse lassen sich nicht nur auf der Ebene der Organisation, sondern auch auf der Ebene des Individuums, der Gruppe und der Gesellschaft analysieren.“</p>

(Pietsch und Scherm 2007, S. 258)	<p>„Eine Organisation kann in unterschiedlichem Ausmaß [...] von einem Wandel betroffen sein [...].“</p> <p><b>Oberflächenstruktur:</b> „[Dazu] zählen die Merkmale, die von einem Außenstehenden beobachtet bzw. rekonstruiert werden können. Dazu gehören z.B. sichtbare Außenbeziehungen, die Struktur der Wertkette und damit verbundene Geschäftsprozesse, (sichtbare) Ressourcen und Technologien, die formal(isiert)en organisatorischen Regeln, Managementsysteme, Pläne und Leitbilder.“</p> <p><b>Tiefenstruktur:</b> „[Diese kann] von außen nicht beobachtet werden; sie umfasst neben tieferen Schichten der Organisationskultur und der strategischen Grundausrichtung die Machtverteilung und informale Regelungen, das Kontrollsystem [und] die Fähigkeiten der Organisationsmitglieder [...].“</p>
(Bergmann und Garrecht 2016, S. 187)	<p>„Change Management ist der Umgang mit geplantem und systematischem Wandel, der durch die Beeinflussung der Organisationsstruktur, Unternehmenskultur und individuelle[n] Verhalten[s] der Organisationsmitglieder zu Stande kommt.“</p>
(Bea und Haas 2016, S. 447)	<p>„Das Change Management [...] geht weit über die Reorganisation hinaus. Es umfasst nicht nur eine Restrukturierung, sondern eine gezielte Veränderung der Einstellungen und Werte der Organisationsmitglieder.“</p>

Tabelle 9: Interpretationen Change Management

Aus vorstehenden Definitionen wird erkennbar, dass sich das Change Management hinsichtlich unterschiedlicher Ebenen charakterisieren lässt, die mehr oder weniger tief in die Organisation eindringen und Einfluss auf Art und Ablauf von Veränderungsprozessen nehmen. Ferner wird deutlich, dass sich verschiedene Ansatzpunkte des Change Managements einstellen, die sich zusätzlich zum Einfluss auf die reine Struktur ausdrücklich auch auf die Kultur und somit direkt auf die Organisationsmitglieder auswirken. Es wird ersichtlich, dass dem Individuum eine zentrale Rolle in der Erfolgswirksamkeit von Veränderungen zuzuschreiben ist.

Das Change Management wird in der vorliegenden Arbeit als kurz- und mittelfristige Methodik zur erfolgreichen Umsetzung eines Veränderungsprozesses betrachtet. Im Hinblick auf die Implementierung des BIM vollzieht sich ein Wandel 2. Ordnung, der tiefgreifende Veränderungen der Arbeitsmethodik hervorbringt und die organisationale Tiefenstruktur von Unternehmen und deren Projektzusammenschlüssen betrifft. Demzufolge liegt der Fokus auf dem Bereich Organisationsstruktur in einer Bauprojektorganisation. Individuelle Unternehmensorganisationen werden nicht im Einzelnen betrachtet.

### 5.3 Veränderungsbeeinflusste Felder auf Organisationsebene

Hinsichtlich des vorliegenden Schwerpunkts sind vordergründig drei Felder des Change Managements innerhalb einer Organisation hervorzuheben [Abb. 29].

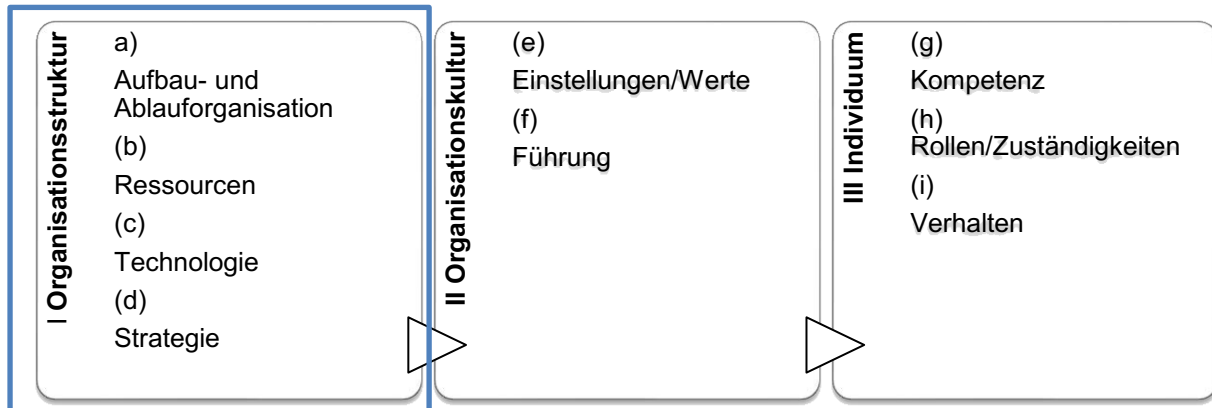


Abbildung 29: Felder Change Management  
(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Lauer 2014, S. 8; Staehle et al. 1999, S. 934; Kraus et al. 2010, S. 16)

Die drei Felder Struktur, Kultur und Individuum bilden die entscheidenden Ansatzpunkte des Change Managements und müssen für eine erfolgswirksame Durchführung managementseitig koordiniert werden. Nach Kapitel 4 ist die BIM-Methodik mit strukturellen Organisationsveränderungen verknüpft. Die Organisationsstruktur ist im Zusammenhang mit Veränderung im Besonderen hervorzuheben, da die Komponenten Aufbau- und Ablauforganisation alle formal und funktional notwendigen Regelungen zur Leistungserstellung umfassen (vgl. Baumöl 2008, S. 79). Daher beziehen sich die weiteren Analysen auf den Bereich der Organisationsstruktur. Die Inhalte a) bis c) der Abb. 29 werden die formalen Strukturbereiche im BIM-Strukturmodell bilden.

Das Change Management zielt darauf ab, in den dargelegten organisationalen Feldern einen Veränderungsprozess umfassend zu planen, durchzuführen und auf seinen Erfolg hin zu überprüfen (vgl. Rank et al. 2010, S. 17). Diese Form des Wandels ist als Reorganisation zu beschreiben, die Veränderungen im vorliegenden System vollzieht, um organisatorische Ziele unter abweichenden internen und externen Rahmenbedingungen neu ausgerichtet erreichen zu können (vgl. Jung 2010, S. 259).

Modifikationen im strukturellen Kontext üben einen erheblichen Einfluss auf die fixierte Aufbau- und Ablauforganisation eines organisationalen Gefüges aus (vgl. Lauer 2014, S. 7). Berührt werden formale Strukturen, die grundlegende Leistungsfunktionen des Unternehmens bilden und nicht strategielos verändert werden können. Im Besonderen sind hier die tätigkeits- und ablaufbezogenen Aspekte hervorzuheben, die als miteinander funktionierende Teileinheiten das Erreichen organisationaler Ziele anstreben (vgl. Mangler 2010, S. 8–9).

Die Aufbauorganisation [Punkt a), Abb. 29] bezieht sich auf die Kreation von Anordnungs-, Kontroll- und Kommunikationsbeziehungen zur Erreichung der Ziele (vgl. Jung 2010, S. 258). Die notwendigen Elemente einer funktionalen Aufbauorganisation sind in Abb. 30 dargestellt. Die grau hinterlegten Felder zeigen die Spezialisierungen innerhalb der vorliegenden Arbeit.

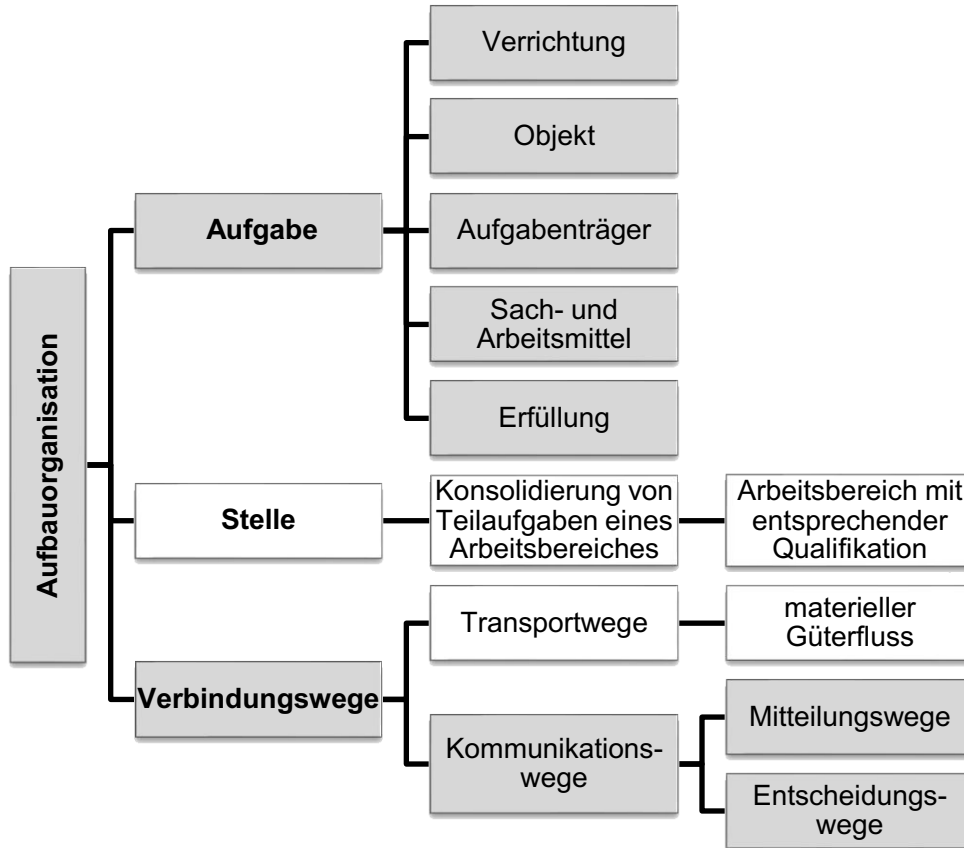


Abbildung 30: Struktur der Aufbauorganisation (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Jung 2010, S. 263–265)

Die Bestimmungselemente der Einzelaufgabe legen fest, durch welche Art der Verrichtung die Aufgabe gelöst wird und an welchem Objekt die Verrichtung stattfindet. Der Mitarbeitende ist der Aufgabenträger, der die Aufgabe unter Zuhilfenahme festgelegter Sach- und Arbeitsmittel ausführt. Die Aufbauorganisation erteilt Auskunft, zu welcher Zeit und an welchem Ort die Aufgabe ausgeführt wird [Erfüllung]. Die Stelle bildet die kleinste organisatorische Einheit und fasst Teilaufgaben zu einem gesamten Arbeitsbereich zusammen, dessen Anforderungen eine notwendige Eignung des Stelleninhabers verlangen. Eine Stelle befindet sich im Abhängigkeitsverhältnis mit den zu verrichtenden Aufgaben und ist nicht an handelnde Akteure geknüpft (vgl. Jung 2010, S. 263–264). Es bedarf der Verbindungen zwischen den einzelnen Aufgabenbündeln [Transport- und Kommunikationswege zwischen den Stellen]. Transportwege beschreiben den Austausch materieller Güter, während Kommunikationswege durch reinen Informationsaustausch im gesamten Organisationsgefüge charakterisiert sind [Mitteilungswege] (vgl. Jung 2010, S. 264–265). Für die Hauptanalyse spezifiziert sich das

BIM-Strukturmodell für die Aufbauorganisation auf den Bereich der Aufgabe und auf die zugehörigen Verbindungswege.

Der Vollständigkeit halber sei die Aufgabenanalyse und -synthese erwähnt, die allerdings im Forschungsteilbereich C keine Anwendung findet<sup>43</sup>. Diese ist durchzuführen, um individuelle Zuständigkeiten je Stelle und Rolle zu identifizieren. Diese Betrachtung findet nicht statt, da übergeordnet die Organisation und deren Aufgaben analysiert werden. Anhang 17 zeigt exemplarisch eine Übersicht über die individuelle Aufgabenanalyse und -synthese.

Die Ablauforganisation konzentriert sich auf die Prozessstruktur, die in zentrale Geschäftsprozesse und Transaktionsprozesse zu unterteilen ist (vgl. Elbe und Peters 2016, S. 73). Geschäftsprozesse, die die reine Wertschöpfung verfolgen, beschreiben eine Aneinanderreihung zusammengehöriger Tätigkeiten, die im Bereich der Aufbauorganisation nicht erkannt werden. Die Ablauforganisation hingegen stimmt einzelne Prozesse aufeinander ab und zielt damit auf einen optimierten Gesamtprozess ab. Der daraus entstehende hauptsächliche Geschäftsprozess bezeichnet eine Abfolge von Austauschleistungen als Transaktionen zwischen organisationsinternen Akteuren und Leistungsempfängern am Ende der Wertschöpfungskette (vgl. Elbe und Peters 2016, S. 74). Diesen Transaktionen sind Aufgaben zugeordnet, die an den zuständigen Akteur gebunden sind. Im Verlauf des Geschäftsprozesses erfolgt ein definierter Wertezuwachs, der sich im Ergebnis der Prozesskette auszeichnet. Dieser betrifft die Differenz zwischen eingesetztem Wert-Input zu erlangtem Wert-Output und ist als Wertschöpfung zu benennen (vgl. Elbe und Peters 2016, S. 75).<sup>44</sup> Folglich werden Prozesse in einer Organisation geplant und unter beherrschten Bedingungen durchgeführt, um Mehrwerte zu generieren. Die Komponenten des Wertschöpfungsprozesses folgen dem Schema aus Abb. 31.

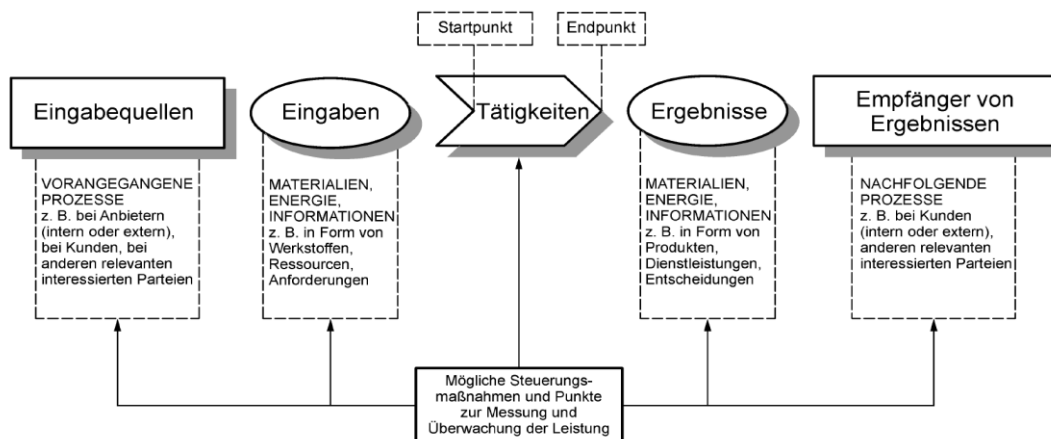


Abbildung 31: Wertschöpfungsprozess nach DIN EN ISO 9001:2015-11 (DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 12)

<sup>43</sup> Forschungsteilbereich C: Kapitel 7 – 10.

<sup>44</sup> Aufgrund dieser Herleitung werden die Begriffe Geschäftsprozess und Wertschöpfungsprozess nachfolgend synonym verwendet.



Der Prozess ist ein Satz zusammenhängender und sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses (vgl. DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 33–34). Der Informationsinput [Eingabe] basiert auf vorangegangenen Prozessen. Der Prozess selbst hat einen definierten Start- und Endpunkt und konkrete Rahmenbedingungen:

- Prozessverantwortlichkeit,
- Prozessbeschreibung,
- mitgeltende Informationen,
- Hilfsmittel sowie
- geforderte Ergebnisse (vgl. DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 12).

Diese Rahmenbedingungen ermöglichen es, Ziel- und Messgrößen zur Prozessbewertung erstellen zu können und Abweichungen als erfolgskritische Faktoren zu werten. Im Fall der Analyse in den Kapiteln 7 – 10 in dieser Arbeit werden die entsprechenden Ziel- und Messgrößen durch die verwendeten Quellen im BIM-Strukturmodell herangezogen.

Die Bezugnahme auf Informationsprozesse erfolgt unter der Betrachtung als Informationsressource innerhalb einer Organisation [Punkt b), Abb. 29]. Prozesse sind zusätzlich zur Wertschöpfung als Wissenstransfer innerhalb einer Organisation einzustufen. Dieses Wissen dokumentiert Informationen zu:

- einzelnen Prozessphasen und darin zu schaffenden Teilergebnissen,
- Interdependenzen zu anderen Prozessen,
- Mehrdimensionalität in Prozessen aufgrund zusätzlich geltender Rahmenbedingungen und einzuhaltender Verrichtungsarten,
- einzuhaltender Kommunikationswege und Qualität,
- Lieferungszeitpunkte von Informationen und
- auftretenden Prozessrisiken (vgl. DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 28–31).

Um sowohl Wertschöpfungs- als auch Informationsprozesse in der Prozessleistung effektiv zu halten, bedarf es eines Risikobewusstseins. Für die Risikosteuerung benötigt es Kontrollpunkte zur Überwachung und Messung prozessspezifischer Risikoeffekte (vgl. DIN EN ISO 9001:2015-11, S. 11–15). Aus diesem Grund findet die Prozessbetrachtung der BIM-Anwendungsfälle nachfolgend unter Einbeziehung der Risiken statt. Verzeichnet werden diese als erfolgskritische Faktoren, die die Prozessleistung beeinträchtigen können.

Die Ablauforganisation ist geprägt von der angewandten Technologie zur Erfüllung des unternehmerischen Zwecks [Punkt c), Abb. 29] (vgl. Rank et al. 2010, S. 17), da fertigungs- und informationstechnologische Veränderungen eine abgewandelte Ausrichtung von Aufbau- und Ablauforganisation verlangen. Erweiterungen in der Informationstechnologie ermöglichen ein ubiquitäres Vorhandensein von Wissen und unterstützen die Aufgabenintegration in der Aufbauorganisation. Teilaufgaben können minimiert werden, indem Technologien zur Datenspeicherung den Abbau statischer Arbeitsabläufe begünstigen und vereinfachen. Die entstehende zeitliche Flexibilität des Informationsabrufs aufgrund der ständigen Nutzbarkeit

gespeicherter Inhalte hat somit ebenfalls eine auf den Arbeitsablauf bezogene Einwirkung (vgl. Bea und Göbel 2019, S. 455). Tab. 10 fasst die Ebenen der Technologie zusammen, die sich im Zusammenhang mit dem strukturellen Change Management ermitteln lassen. Erfassen lassen sich diese Inhalte u.a. durch die Verwendung des Digitalisierungsatlas<sup>45</sup>.

Kategorie und Ressource	Technologiebezug im Strukturkontext
<b>digitale Infrastruktur</b>  (vgl. Demary et al. 2016, S. 8–14)	Güte der technologischen Ausstattung: - <b>Hard- und Softwarequalität:</b> akkurate Datenwiedergabe Integrationsgrad digitaler Technologien: - <b>Grad der Integration:</b> wie stark sind innere Systeme mit den Systemen äußerer Partner vernetzt (technisch möglicher Informationsaustausch und einheitliche Dateninterpretation) - <b>definierte Nutzer-Rollen und Verantwortlichkeiten:</b> für die Informationserstellung und -lieferung in vernetzten Systemen
<b>Arbeitskoordination</b>  (vgl. Okhuysen et al. 2013, S. 491–502)	Abstimmung arbeitsteiliger Handlungen unter Verwendung von Informationstechnologien: - <b>Entscheidungsunterstützung durch Daten:</b> - Systematische Datenstrukturierung und -auswertung - Automatisierung von Entscheidungsprozessen: bereitet relevante Daten für Entscheider automatisch auf, bietet Interpretationen an und empfiehlt Handlungsmöglichkeiten
<b>Strukturen und Prozesse</b>  (vgl. Kaiser und Kozica 2015, S. 307–322)	Ablauforganisation: - zentrale Prozesse werden digitalisiert und ermöglichen einen schnelleren Informationsaustausch - verringerte Störanfälligkeit - automatisierte Prozessverbindung: relevante Daten werden automatisch eingespeist, relevante Informationen automatisch generiert

Tabelle 10: Technologiebezug im strukturellen Change Management

Abschließend zu betrachten ist die strategische Ausrichtung in Organisationen [Punkt d), Abb. 29], die maßgeblich von der Technologie abhängig ist. Die Strategie bestimmt das Leistungsprogramm einer Organisation und nimmt Einfluss auf deren Ablaufsituationen. Sie ist maßgeblich im Bereich des Change Managements. Meist wird sie reaktiv adaptiert, sofern eine Ineffizienz ersichtlich wird. Die organisationsinterne Digitalstrategie wird durch den Einsatz von spezifischen Technologien festgelegt und die benötigte Infrastruktur steht allen Organisationsbeteiligten anwendbar zur Verfügung (vgl. Bea und Göbel 2019, S. 449–451). Der Bereich Strategie wird in der Analyse nicht gesondert betrachtet, da sich die formulierte Strategie auf die generelle BIM-Anwendung in vielfältigen Anwendungsfällen bezieht. Die vorliegend beschriebenen Strukturinhalte werden im folgenden Kapitel auf die Bauprojekte transferiert. Der Transfer der Change Management Determinanten ermöglicht den

<sup>45</sup> Als wissenschaftliches Projekt digitrain 4.0 durch die Universität der Bundeswehr München und die Hochschule Reutlingen erarbeitet (vgl. Kaiser et al. 2019); Thiemann et al. 2019.

systemtheoretisch eingeordneten Aufbau des BIM-Strukturmodells, der zur Prüfung der BIM-Anwendungsfälle und Analyse erfolgskritischer Faktoren maßgeblich ist.

## 6. BIM-Strukturmodellentwicklung im Organisationskontext

### 6.1 BIM-Strukturmodellentwicklung in den Ebenen I bis II

Die Organisation als systemtheoretischer Begriff „[...] strukturiert Systeme und sichert deren Funktionen.“ (Greiner et al. 2005, S. 33). Auch auf der Bauprojektebene greifen strukturierte Systeme ineinander, weswegen die Funktionsweise eines Bauprojekts der eines organisationalen Aufbaus eines Unternehmens entspricht (vgl. Greiner et al. 2005, S. 33). Ein Bauprojekt ist im Gegensatz zu Unternehmen als temporäre Organisation zu bezeichnen. Operative Vorgänge verschiedener unabhängiger Unternehmen müssen innerhalb der Projektphasen koordinativ zusammenwirken (vgl. Kirsch 2009, S. 54). Die temporäre Organisationsform ist durch Einmaligkeit gekennzeichnet, da sie sich auf ein spezifisches Bauvorhaben bezieht (vgl. Kochendörfer et al. 2018, S. 11). Es wird auch in diesem Fall der Schwerpunkt der Organisationsstruktur betrachtet. Strukturen in Bauprojekten können aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. Sie ergeben sich insbesondere aus den Projektphasen, dem Projektstrukturplan und einer entsprechenden Leistungsübersicht sowie der Organisationsform des Bauprojekts (vgl. Greiner et al. 2005, S. 33; Schneider 2017, S. 5). Tab. 11 zeigt generelle strukturbezogene Bereiche im Bauprojekt.

<p><b>Kategorie</b></p> <p><b>Phasen- und Leistungsbildbezug</b></p> <p>1. <u>zeitliche Einordnung</u>: Bauprojektphasen 1-5 im Projektmanagement</p> <p>2. <u>zeitliche und inhaltliche Einordnung</u>: Grundleistungen und besondere Leistungen in den Bereichen Objektplanung und Fachplanung Leistungsphasen 0 bis 9 nach HOAI</p> <p>(vgl. Eschenbruch et al. 2020, S. 14); §§ 18 (1), 19 (1) [Teil 2 Flächenplanung]; 34 (3) (4), 43 (1) (4), 47 (1) (2), [Teil 3 Objektplanung]; §§ 51 (1) (5), 55 (1) (3) [Teil 4 Fachplanung] HOAI)</p> <p><b>Organisationsformbezug und Zusammenwirken der Unternehmen</b></p> <p><u>Aufbauorganisation</u>: Einzelplaner, Einzelunternehmer, teilweise Paketierung, Generalplaner, Generalunternehmer, Generalübernehmer [Aufzählung ist nicht als ganzheitlich zu betrachten] [in der Bauausführung auf Werkvertragebene nach § 1 Ausführung VOB/B] (vgl. Sommer 2016, S. 38–42; vgl. Greiner et al. 2005, S. 39; Kochendörfer et al. 2018, S. 9)</p> <p><b>Projektstrukturplanbezug</b></p> <p><u>objektorientierte Projektstruktur</u>: Definition der Projektarbeitspakete entsprechend der technischen Gliederung des Bauobjekts: Bauprojektstrukturierung nach Kostengruppen (vgl. DIN 276:2018-12; DIN 69901-3:2009-01, S. 8–9)</p>
---

*Tabelle 11: Strukturbezogene Handlungsbereiche im Bauprojekt*

Zum Aufbau des BIM-Strukturmodells werden diese Struktureinheiten aufgegriffen. Das BIM-Strukturmodell besteht in der Gesamtheit aus den Ebenen 0 bis III.<sup>46</sup> Basierend auf der allgemeinen Kategorienbeschreibung in Wandlungsprozessen [Kapitel 5] erfolgt die

<sup>46</sup> Es ist im Kapitel 6.2 referenziert dargestellt.

Zuordnung zur Bauprojektebene. Daraus kann die modellzentrierte Ebene in BIM-basierten Bauprojekten abgeleitet werden. Dieses Vorgehen bedient das erste Teilziel der Arbeit.<sup>47</sup>

Abb. 32 stellt den Strukturtransfer der allgemeinen Organisationsebene auf die Bauprojektebene und spezifisch auf die BIM-basierte Bauprojektebenen I und II dar. Innerhalb dieser Strukturbereiche vollzieht sich der Changeprozess durch die BIM-Anwendung. Darin sind erfolgskritische Faktoren zu erwarten.

---

<sup>47</sup> Entsprechend Kapitel 1: Evaluierung von notwendigen BIM-Strukturen in Bauprojekten und Ableitung eines BIM-Strukturmodells zur Anwendung für KMU.

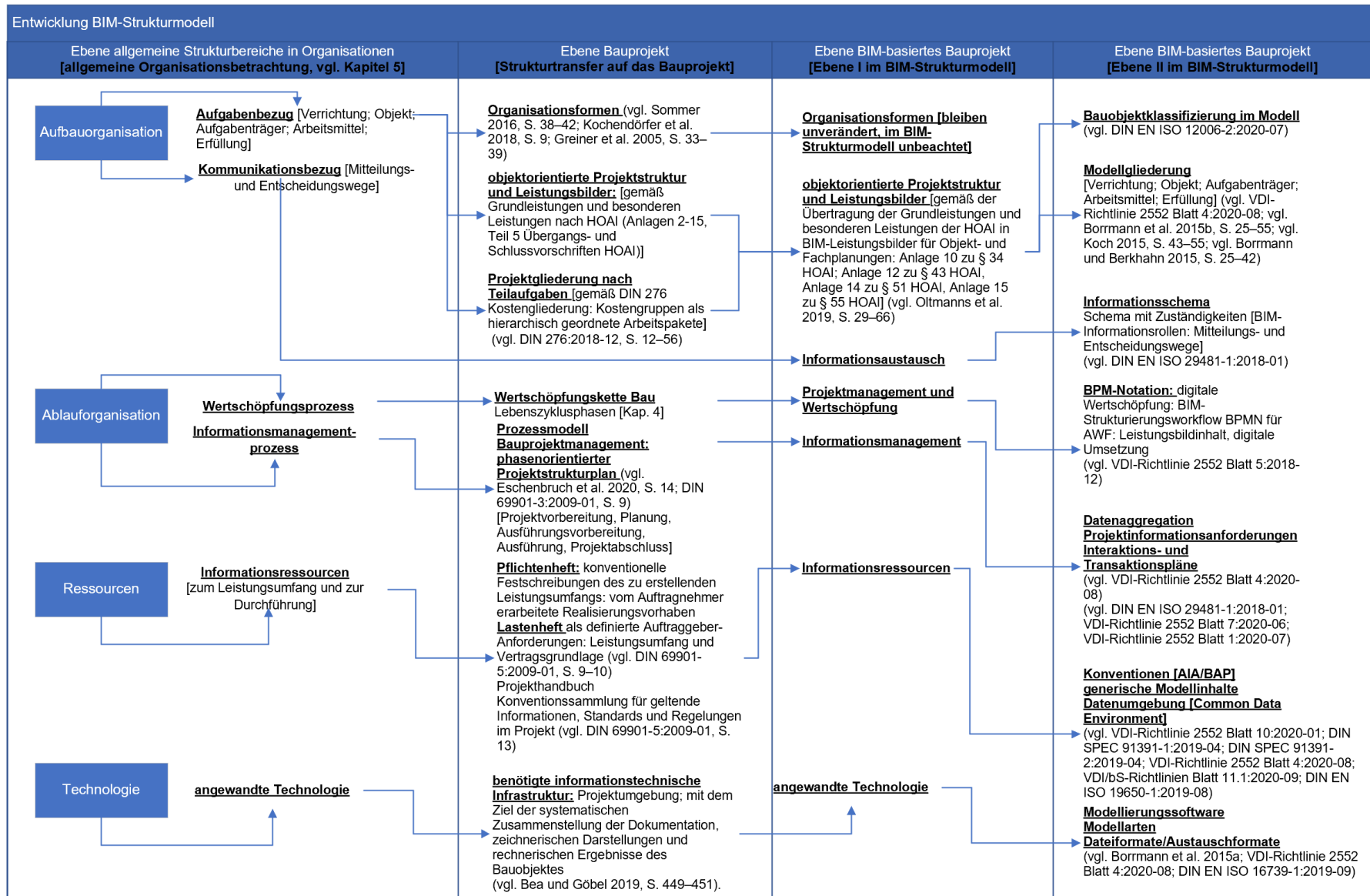


Abbildung 32: Entwicklung BIM-Strukturmodell

## 6.2 BIM-Strukturmodellentwicklung der Ebene III

Das BIM-Strukturmodell nach Abb. 32 wird in der Detailebene III spezifiziert [Tab. 12]. Die Strukturinhalte sind maßgeblich für das Gelingen in BIM-basierten Bauprojekten und umfassen aktuelle Erkenntnisse und Arbeitsweisen. Anhang 18 zeigt die Übersicht aller Ebenen 0 bis III des gesamten BIM-Strukturmodells.<sup>48</sup>

Ebene 0	Ebene III	Referenzen
<u>Aufbauorganisation</u> [i.S.d. Modells: Aufgaben- und Kommunikations- wegebezogen]	Bauobjektklassifizierung und Zusammensetzungshierarchien	(vgl. DIN EN ISO 12006-2:2020-07)
	Klassifikationssysteme	(vgl. DIN EN ISO 12006-2:2020-07; VDI- Richtlinie 2552 Blatt 9:2020-08)
	Informationsschema	(vgl. DIN EN ISO 29481-1:2018-01)
	Modellprüfung	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08)
	objektorientierte Modellgliederung	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08; vgl. Borrmann et al. 2015b, S. 25–55; vgl. Koch 2015, S. 43–55; vgl. Borrmann und Berkhahn 2015, S. 25–42)
<u>Ablauforganisation</u> [i.S.d. Informations- managements und der Wertschöpfung]	Strukturierungsworkflows	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 5:2018-12)
	modellbasierte Datenstrukturierung	
	Rollen im Informationsmanagement	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 7:2020-06; vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07)
	Informationsanforderungen	(vgl. DIN EN ISO 19650-1:2019-08; DIN EN ISO 19650-2:2019-08; DIN EN ISO 19650-5:2019-08; DIN EN ISO 19650- 3:2019-10)
	Projektinformationsmodell	
	Federationsstrategie	
	Aktivitäten kollaborativer Informationserzeugung	
	Datenaustauschanforderungen	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08)
	Modellprüfung für den Datenaustausch	
Interaktions- und Transaktionsdiagramme	(vgl. DIN EN ISO 29481-1:2018-01; VDI 2552 Blatt 7:2020-06 Building Information Modeling Prozesse 06/2020; VDI- Richtlinie 2552 Blatt 7:2020-06; VDI- Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07)	
<u>Ressourcen</u> [i.S.d. Informations- ressourcen]	Auftraggeber-Informations- Anforderungen/BIM- Abwicklungsplan [AIA/BAP]	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 10:2020-01)
	IDM (Information Delivery Manual)	(vgl. DIN SPEC 91391-1:2019-04; DIN SPEC 91391-2:2019-04; VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08; VDI/bS-Richtlinien Blatt 11.1:2020-09)
	Georeferenzierung	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08)
	Identifikation	
	CDE-Container	(vgl. DIN SPEC 91391-2:2019-04; DIN EN ISO 19650-1:2019-08)
	CDE-Aggregation	(vgl. DIN SPEC 91391-1:2019-04)
CDE-Workflow und Verantwortlichkeiten		
<u>Technologie</u> [i.S.d. BIM- Software]	Software	entsprechend der verwendeten Software in den Modellprojekten [Kapitel 8]
	Modellarten	(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08)
	Dateiformate	(vgl. Borrmann et al. 2015a; VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08; DIN EN ISO 16739- 1:2019-09)

<sup>48</sup> Zum methodischen Hintergrund und Aufbau des BIM-Strukturmodells siehe Kapitel 2.4.

Tabelle 12: Inhalte des Strukturmodells, Ebene III

### 6.3 Erfolgskritische Faktoren als Risiko für Organisationsveränderungen

Eine Analyse der erfolgskritischen Faktoren [ekF] ist für eine effektive Begleitung in Veränderungsprozessen maßgeblich (vgl. Steinle et al. 2008, S. 56). In der Literatur wird angeführt, dass es keinen feststehenden ekF-Katalog für pauschale Wandlungsfälle geben kann und sollte. Eher sollten Veränderungshindernisse innerhalb von Messsystemen in Verbindung mit verschiedenen Problembereichen zusammengefasst ermittelt werden (vgl. Steinle et al. 2008, S. 62). Eine Organisationsentwicklung ist durch problembehaftete Faktoren begleitet, die ein Risiko bergen (vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 5). Für die Veränderungen, die in einem Bauprojekt unter Nutzung der BIM-Arbeitsmethodik auftreten, werden Anwendungsrisiken in Bezug auf die Organisationsstruktur als rahmengebender Risikokatalog evaluiert. Dabei ist die Risikoidentifikation maßgeblich. Die Organisationsrisikoanalyse als progressive Methode ist dabei meist an Risikokataloge anzulehnen, um unstrukturierte ekF einer Kategorisierung zuzuführen (vgl. Vanini 2017, S. 69–70). Außerdem erscheint es sinnvoll, den Risikoumfang nicht über unabhängige Kennzahlen zu messen, sondern Strukturkategorien zuzuordnen (vgl. Girmscheid 2014, S. 187). Dies erfolgt durch die Allokation der ekF zum Strukturmodell. Der Risikoprozess ist aus Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Risikobewertung zusammengesetzt. Die Risikobehandlung bleibt aufgrund des Schwerpunktes unbeachtet. Dieses Vorgehen bildet die Grundlage zur Evaluierung erfolgskritischer BIM-Anwendungsfälle (vgl. Girmscheid 2014, S. 156) [Tab. 13].

Prozessschritt	Beschreibung
1. Risikoidentifikation	Sammlung von Risiken, die eine Zielerreichung blockieren: Aufgabenobjekt ist definiert: operative Tätigkeiten werden untersucht, individuelle Risiken in den Verrichtungen sind zu erfassen, hier werden erfasst: Projektorganisationsrisiken als interne Bauprojektrisiken
2. Risikoanalyse	Verortung der identifizierten Risiken in BIM-Strukturbereichen [Ursachen: Risikofaktoren und Auswirkungen für den BIM-Anwendungsfall sind festzustellen],
3. Risikobewertung	Ermittlung von ekF-Häufigkeiten in Anwendungsfällen und Strukturbereichen; inhaltliche Ähnlichkeiten der Risiken

Tabelle 13: Prozessschritte im Risikomanagement

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Girmscheid 2014, S. 156–160; DIN ISO 31000:2018-10, S. 19)

Aufgrund der nicht-metrischen Betrachtung lässt sich keine probabilistische Funktion für Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenswerte darstellen, die die monetären Auswirkungen der auftretenden Risiken zeigt (vgl. Girmscheid 2014, S. 201). Zur Risikobewertung wird aus diesem Grund eine Risikomatrix abgeleitet.



## 7. Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken

### 7.1 Modellphasen

Die Modellphasen werden in die Ermittlung des IST-Zustands und in die Entwicklung eines Instruments zur Risikoerfassung für KMU eingeteilt [Abb. 33]. Die Analyse der Anwendungsfälle [AWF] setzt sich zusammen aus der Erfassung geeigneter Modellprojekte und der Evaluation darin praktizierter Anwendungsfälle. Ergänzend werden dazu die Häufigkeitsausprägungen der AWF und die dargestellten Teilbereiche Hoch-, Ingenieur-, Straßen und Tiefbau erfasst [Abb. 33, Nr. 1 – 4]. Das Modell beinhaltet zudem die ekF-Identifikation in den Anwendungsfällen sowie deren Einordnung in Strukturbereiche in BIM-basierten Bauprojekten zur Ableitung einer Risikomatrix [Abb. 33, Nr. 5 – 6].<sup>49</sup> Die Risikoverortung unterscheidet Anwendungsfälle in ihrer ekF-Struktur und visualisiert exemplarisch die erfolgskritischen Faktoren [ekF] nach dem BPMN-Schema. Dieses Vorgehen ermöglicht die Risikoverortung im Anwendungsfall und in Strukturbereichen im BIM-Projekten [Abb. 33, Nr. 7 – 8].<sup>50</sup>

		IST-Zustandsermittlung			
1	Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken Anwendungsfallanalyse [Kap. 7]	SALSA-Schema	Strukturdaten der einbezogenen Modellprojekte	Risikoidentifikation	Verteilungsdaten
2		gelistete AWF	Evaluation aller aufgetretenen BIM-AWF in den Modellprojekten		
3		Häufigkeitsverteilung	Häufigkeitsverteilungen der AWF [in Zuordnung zu Objekt- und Fachplanungsbereichen nach HOAI]		
4		Teilbereichshäufigkeit	Häufigkeitsverteilungen der AWF entsprechend Hoch-, Tief-/Straßenbau und Ingenieurbauwerken		
5	ekF-Risikomatrix [Kap. 8]	KMU-Instrument		Risikoidentifikation	Faktorenkollektion
6		ekF-Identifikation	ekF-Identifikation in BIM-AWF		
7	Risiko- verortung [Kap. 9]	BIM-Strukturmodellanwendung	ekF-Einordnung in BIM-Strukturbereiche	Risikoanalyse und - bewertung	Faktorenallokation
8		Risikonäherung	ekF-Näherungsmatrix: Risikoähnlichkeit in AWF [Jaccard]		
8		BPMN-Ableitung	Sequenz-, Nachrichten- und Risikodarstellung mit BIM-Strukturbereichen		Faktorenaggregation

Abbildung 33: Analysephasen der erfolgskritischen Faktoren in BIM-Anwendungsfällen

<sup>49</sup> Dieses Vorgehen richtet sich am zweiten Teilziel dieser Arbeit aus [vgl. Kapitel 1: Analyse von BIM-Anwendungsfällen im IST-Zustand, Ermittlung der erfolgskritischen Faktoren und Zuordnung zum BIM-Strukturmodell.

<sup>50</sup> Das bedient das dritte Teilziel dieser Arbeit [vgl. Kapitel 1: Entwicklung eines unterstützenden BIM-Anwendungsinstruments für KMU mit Risikoverortung.

Die Analyse aller AWF vollzieht sich aus der Perspektive der auftragnehmenden Unternehmen der Bauplanung und Bauausführung.<sup>51</sup> Der Fokus liegt auf Modellprojekten mit KMU-Beteiligung, um die Struktur der deutschen Bauwirtschaft in der Stichprobe zu repräsentieren.

Tab. 14 zeigt die Operationalisierung der Modellphasen.

Modellphasen [Abb. 33]	Variablen	Skalenniveau	Qualitative und quantitative Variablenerfassung
Phasen 1 - 4 Verteilungsdaten	Anwendungsfallvorkommen in einbezogenen Modellprojekten	nominal (binär) <sup>52</sup> ; metrisch <sup>53</sup>	Arten der Anwendungsfälle; Häufigkeitsausprägung,
Phase 5 Faktorenkollektion	ekF-Feststellung in den Anwendungsfällen	nominal (binär); metrisch	Arten der ekF; Häufigkeitsausprägung,
Phase 6 Faktorenallokation	ekF-Feststellung in den Strukturbereichen  Vorkommen von Austauschformaten in den Anwendungsfällen	metrisch; nominal (binär)	Häufigkeitsausprägung, qualitative Darstellung der ekF in exemplarischen Anwendungsfällen
Phasen 7-8 Faktorenaggregation	Ähnlichkeiten/Unterschiede der Risikostruktur	metrisch, nominal [binär]	Häufigkeitsausprägung, hierarchisches Cluster [Näherungsmatrix nach Jaccard]

Tabelle 14: Operationalisierung der Variablen (eigene Darstellung, in Anlehnung an: Döring und Bortz 2016, S. 232–233)

## 7.2 Anwendung des SALSA-Schemas

Die Suchkriterien für Modellprojekte mit KMU-Bezug sind nach der SALSA-Methodik nach Booth et al. 2016 und Elm et al. 2019 festgelegt [Tab. 15]. Es werden modellhafte Bauprojektvorhaben einbezogen. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Vergleichbarkeit der Projektergebnisse und ein aussagekräftiges Resultat aufgrund einer zielgerichteten, nicht-probabilistischen Stichprobe.

SALSA	Teilschritte	konkrete Auswahlaspekte
Suche [Search]	Scoping: zielgerichtete Auswahlkriterien	gleichförmige Problemstellung der Studien: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ein oder mehr enthaltene modellhafte Bauprojekte</li> <li>- Laufzeit zwischen 2015 und 2020</li> <li>- Experimentelles Verfahren zu konkreten BIM-Anwendungsfällen</li> <li>- Unternehmen im Bauprojekt: Erstanwender und Status geringe Erfahrung</li> <li>- KMU-Beteiligung und Unternehmen über 249 Mitarbeitende [Unternehmen über 249 Mitarbeitende</li> </ul>

<sup>51</sup> Die Auftraggeberperspektive bleibt unbeachtet.

<sup>52</sup> Nominal: Bezifferung von Gleichheits- und Verschiedenheitsklassen (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 233).vgl. Döring und Bortz 2016, S. 233.vgl. Döring und Bortz 2016, S. 233.

<sup>53</sup> Metrisch: numerische Abstände und Verhältnisse zwischen den einzelnen Merkmalsausprägungen der Variablen (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 233).

		können Bestandteil der Studie sein, sofern sie den übrigen SALSA-Kriterien entsprechen] - Vorlage wissenschaftlicher Begleitdokumente
	Scoping-Suchen	Datenbanken: IRB Fraunhofer Bauforschungsberichte, Bauforschungsprojekte, Dissertationen, Institut für Bauforschung Schlüsselworte: Building Information Modeling, Digitalisierung Wertschöpfungskette Bau, Digitalisierung BIM, Innovation BIM, digitale Transformation BIM, BIM-Implementierung, BIM-Anwendungsfälle, erfolgskritische Faktoren BIM, Risiko, Herausforderung, Hemmnis BIM
Bewertung [Appraisal]	Qualitätsbewertung und selektive Datenextraktion	Auswahl forschungsgenerierter Dokumente der wissenschaftlichen Projektbegleitung: Zwischenberichte, Abschlussberichte, Modellierungstagebücher, Dokumente der Bauprojekt-routinen
Synthese und Analyse [Synthesis & Analysis]	Datenanalyse und -synthese	Qualitative Inhaltsanalyse, paraphrasierend
	Berichterstattung	Evaluation erfolgskritischer Faktoren

Tabelle 15: Anwendung SALSA-Methode

(eigene Darstellung, in Anlehnung an: Booth et al. 2016, S. 23; Elm et al. 2019, S. 3–5)

Die erste Ausschlussrunde umfasst die Sichtung der Abstracts. Die zweite Ausschlussrunde ist das Ergebnis der Volltextsichtung. Duplikate durch Mehrfachverschlagwortung der Studien werden entfernt. Die Datenbankrecherche ergibt nach der zweiten Ausschlussrunde fünf einzubeziehende Studien [Abb. 34].

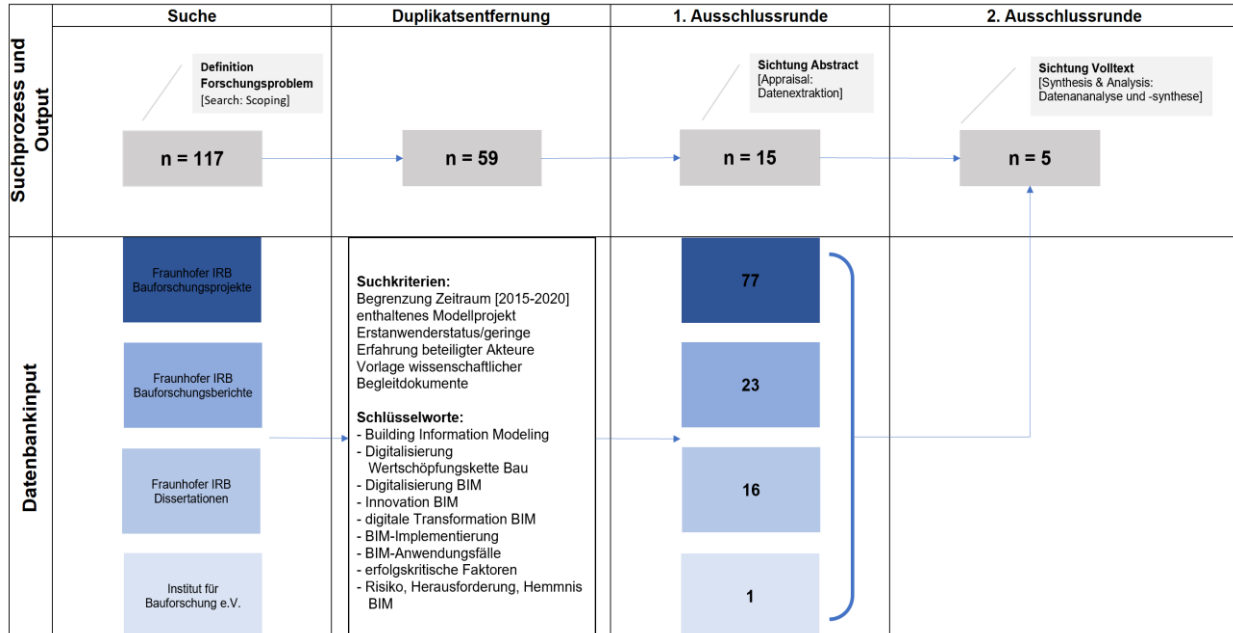


Abbildung 34: Schaubild Scoping-Suche zur Modellprojektauswahl

Tab. 16 zeigt die einbezogenen Modellprojekte und deren verwendete Daten für die Analysen in den Kapiteln 7 – 10.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Die einbezogenen Modellprojekte repräsentieren den Vorbereitungszeitraum auf Leistungsniveau I in Deutschland zwischen 2015 und 2020. Es konnten nur die Modellprojekte in der Analyse berücksichtigt werden, die dem Zeitraum entsprechen, eine wiss. Begleitung und KMU-Beteiligung aufweisen.

Nr.	Bezeichnung	Projektinformationen	verwendete Daten [Primärdaten/Sekundärdaten]
1	BIM Mittelstandsleitfaden: Fachmarktzentrum Leinefelde	2017 – 2019, Organisationsform: Generalplaner und Generalunternehmer; [Angabe Bauvolumen: 7,5 Mio. € netto]; durchgängige KMU-Beteiligung	<b>Sekundärdaten</b> wissenschaftlicher Abschlussbericht (vgl. Helmus et al. 2018c)
2	Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau in Thüringen	2016 – 2018, Organisationsform: Einzelvergaben; [Keine Angabe zum Bauvolumen]; durchgängige KMU-Beteiligung	<b>Primärdaten</b> <u>Eigenauswertung</u> 1. interne Protokolle monatliche Gesamtprojektroutinen 2016 - 2018 (Anzahl: 14) 2. interne Protokolle Routinen der BIM-Autoren 2016 – 2018 (Anzahl: 18); 3. interne Modellierungstagebücher Hochbau (Anzahl: 19); 4. interne Modellierungstagebücher Straßen-/Tiefbau (Anzahl: 8); 5. Projektnewsletter (Anzahl: 8); 6. wissenschaftlicher Abschlussbericht (vgl. Bargstädt und Brandenburger 2018) 7. Informationsplattform (vgl. Bauhaus-Universität Weimar und Bargstädt 2018) 8. Bauwerksinformationsmod elle: Hochbau
3	BIMid – Referenzobjekt in Deutschland	2015 – 2017, Organisationsform: [1. Einzelvergaben, 2. Generalplaner und Generalunternehmer]; [Angabe zum Bauvolumen: 10- unter 50 Mio. € netto] größtenteils KMU-Beteiligung	<b>Sekundärdaten</b> 1. BIMid Leitfaden (vgl. Bischof et al. 2018, S. 19–39); 2. wissenschaftlicher Abschlussbericht (vgl. Bischof et al. 2017, 72-78; 83- 134); 3. Präsentationen Fachsymposien 2015 – 2017 (Anwendungsfallphase) (vgl. Mittelstand 4.0: Kompetenzzentrum Planen und Bauen 2017)
4	BMVI Pilotprojekte BIM	2015 – 2017 Organisationsform: Einzelvergaben [Keine Angabe zum Bauvolumen]; anteilig KMU-Beteiligung	<b>Sekundärdaten</b> 1. wissenschaftliche Begleitung Endbericht (vgl. Liebich et al. 2018); 2. wissenschaftliche Begleitung Zwischenbericht: Materialsammlung

			(vgl. König et al. 2016)
5	BIM4INFRA 2020	2016 – 2018 Organisationsform: Einzelvergaben; [Keine Angabe zum Bauvolumen]; anteilig KMU-Beteiligung	<b>Sekundärdaten</b> 1. Handreichung Nr. 6 (vgl. Borrmann et al. 2019c) 2. Übersichten Pilotprojekte (vgl. ARGE BIM4INFRA 2019a)

Tabelle 16: Evaluierete Modellprojekte

Die Projektzeiträume liegen verteilt in der Vorbereitungsphase auf Leistungsniveau I nach Stufenplan. Im Hinblick auf die Feststellungen der BIM-Anwendungsrealität [Kapitel 4.5] sind auch bis 2022 noch erhebliche Anwendungsschwierigkeiten für das Leistungsniveau I und eine sehr geringe durchgängige BIM-Anwendung in deutschen Bauprojekten ersichtlich. Die Erläuterungen zu den Spezifika der Bauprojekte der einzelnen Forschungsprojekte erfolgen im Verlauf der Analyse innerhalb der Verteilungsdaten. Entsprechend der Organisationsform je Modellprojekt sind im Anhang 19 die BIM-Rollen in der jeweiligen Projektstruktur definiert. Anhang 20 zeigt die beteiligten Organisationen der einzelnen Modellprojekte.<sup>55</sup>

### 7.3 Anwendungsfallanalyse

#### 7.3.1 Verteilungsdaten

Die Häufigkeitsdarstellung zeigt die Modellprojekte hinsichtlich der praktizierten Anwendungsfälle [Abb. 35; n = 98]. Die absoluten Häufigkeiten der Anwendungsfälle sind den Projektstufen des Bauprojektmanagements zugeordnet (vgl. Eschenbruch et al. 2020, S. 56).

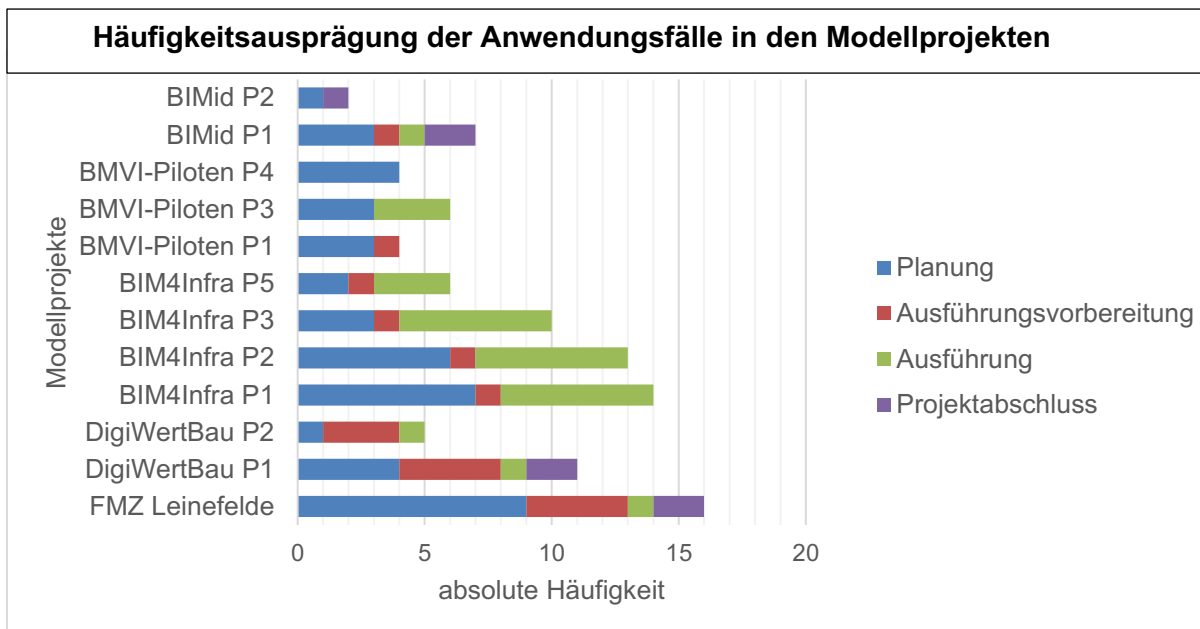


Abbildung 35: Anwendungsfälle in den einbezogenen Modellprojekten: Projektphasen

<sup>55</sup> Die Referenzanzeige für Diagramme und Abbildungen, die sich aus der Analyse des Kapitels 7 ergeben, erfolgt mit dem Begriff Projektauswertung. Dies bezieht sich auf die Forschungssynthese der Inhaltsanalyse, die sich aus den Primär- und Sekundärdaten [Tab. 16] ergibt.

Aufgrund der Datenlage konnten zwölf Bauvorhaben aus den fünf Modellprojekten eingeschlossen werden. Erkennbar ist, dass in den Hochbauvorhaben in allen Bauprojektstufen nach AHO 9 „Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft“ Anwendungsfälle praktiziert worden sind (vgl. Eschenbruch et al. 2020, S. 56).<sup>56</sup> Anteilig sind die meisten Anwendungsfälle der Planungsphase zuzuordnen. Die Tief- und Straßenbauprojekte verteilen sich beinahe gleichmäßig über Planung, Ausführungsvorbereitung und Ausführung, beinhalten indes keine Anwendungsfälle zum Projektabschluss.<sup>57</sup> Gleiches trifft für die Modellprojekte mit Ingenieurbauwerken zu.<sup>58</sup> Es ist erkennbar, dass über 50 % der einbezogenen Projekte zwischen 6 und 16 Anwendungsfälle aufweisen. Insgesamt liegen 30 verschiedene Anwendungsfälle vor, die in 98-facher Anwendung aufgetreten und in die Analyse einbezogen sind [siehe Anhang 21, binäre Rohdatenmatrix]. Tab. 17 zeigt die Art und den Umfang der Modellprojekte.

<b>Forschungsprojekt-bezeichnung</b> Anzahl der einbezogenen Projekte, [Kurztitel]	<b>Objektteilbereich</b>	<b>Beschreibung</b> [entsprechend vorliegenden Dokumenten]
<b>1. BIM-Mittelstandsleitfaden 1/1</b> [FMZ Leinefelde] (vgl. Helmus et al. 2018c)	Hochbau (§ 34 (1) HOAI), gewerblicher Auftraggeber	Neubau [Ladenbau], Lebensmittelmarkt und weitere Gewerbeflächen, 4 gewerbliche Mietflächen gesamt 31.222 m <sup>2</sup>
<b>2. Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau in Thüringen 2/2</b> [DigiWertBau] (vgl. Bargstädt und Brandenburger 2018)	Hochbau (§34 (1) HOAI), P1, gewerblicher Auftraggeber	Neubau [Gästehaus], 3-geschossig, 24 Gästezimmer je Geschossebene
	Straßen-/Tiefbau (§ 45 Satz 1 HOAI), P2, Infrastrukturbau mit öffentlichem Auftraggeber	Straßenbau; Wasserversorgung und Abwasserableitungsanlagen öffentlich und Hausanschlüsse [außerörtliche Baugebieterschließung], Graben- und Kanalbau, Leitungsbau sowie Straßenvorstufenausbau und -endausbau [Größenparameter: rund 2.400 m <sup>3</sup> Bodenaushub; rund 690 m <sup>3</sup> Rohrleitungszone, 43 Hausanschlüsse, rund 1.360 m Asphaltsschicht im Straßenendausbau]
<b>3. BIMid – Referenzobjekt für Deutschland, 2/2</b> [BIMid] (vgl. Bischof et al. 2017; 2018)	Hochbau (§34 (1) HOAI), P1 und P2, gewerblicher Auftraggeber	Neubau P1: [Bürogebäude, 5-geschossig], VW-Bank: Neubau Haus B, P2: [Bürogebäude, 5-geschossig] Pionierkaserne: Neubau: Mischnutzung Gewerbeflächen
<b>4. Pilotprojekte BIM BMVI 3/4</b> [BMVIPiloten] (vgl. Liebich et al. 2018); (vgl. König et al. 2016)	Konstruktive Ingenieurbauwerke für Verkehrsanlagen (§ 41 Satz 6 HOAI), P1, P3, P4, Infrastrukturbau mit öffentlichem Auftraggeber	P1: Brücke [Stahlverbundkonstruktion], 142 m Gesamtlänge, 32,25 m lichte Weite [Höhe nicht angegeben]
		P3: Brücke [Eisenbahnüberführung] zwei eingleisige Brücken, Länge 485 m und 472 m, Höhe 85 m [lichte Weite nicht angegeben]

<sup>56</sup> Hochbauvorhaben: FMZ Leinefelde, DigiWertBau P1, BIMid P1 und P2.

<sup>57</sup> Tief- und Straßenbauvorhaben: DigiWertBau P2, BIM4Infra P5.

<sup>58</sup> Ingenieurbauvorhaben: BIM4Infra P1-P3, BMVI-Pilotprojekte P1 - P4.

		P4: Tunnel [Tunnelröhren] 2 4,2 km lange Röhren, Außendurchmesser 10,97 m
<b>5. BIM4INFRA 2020</b> , 4/7 [BIM4INFRA] (vgl. Borrmann et al. 2019c) (vgl. ARGE BIM4INFRA 2019a)	Konstruktive Ingenieurbauwerke für Verkehrsanlagen (§ 41 Satz 6 HOAI), P1, P2, P3 Infrastrukturbau mit öffentlichem Auftraggeber	P1: Brücke [Spannbeton-Hohlkastenbrücke], Straßenbrücke, zwei getrennte Überbauten, Länge 52 m, Breite 15,5 m und 13,3 m, [Höhe nicht angegeben]
		P2: Brücke [Stahlverbundkonstruktion], Länge 815 m, [lichte Weite und Höhe nicht angegeben]
	Straßen-/Tiefbau (§ 45 Satz 1 HOAI), P5, Infrastrukturbau mit öffentlichem Auftraggeber	P3: Brücke [Rahmenbauwerk], (Unterführung), lichte Weite 12,5 m, minimale lichte Höhe 6,53 m P5: Parkplätze [Rastanlage, außerörtlich], 25 Stellplätze LKW, 34 Stellplätze PKW, 377 m Länge [Straße]

Tabelle 17: Teilbereiche und Umfänge der Modellprojekte

Die einbezogenen Hochbauprojekte weisen gewerbliche Auftraggeber auf, während alle anderen betrachteten Projekte des Straßen- und Tiefbaus sowie Ingenieurbaus im Sektor der öffentlichen Auftraggeber liegen. Die hier gekennzeichneten Infrastrukturprojekte sind der materiellen Verkehrsinfrastruktur zuzuordnen (vgl. Ising 2007, S. 44).

### 7.3.2 Evaluierung der Anwendungsfälle

Die evaluierten Anwendungsfälle [AWF] sind in Zuordnung zu den Leistungsphasen nach HOAI und den Projektmanagementphasen Projektvorbereitung, Planung, Ausführungsvorbereitung, Ausführung und Projektabschluss erfasst [Tab. 18]. Außerdem ist jeder Anwendungsfall den entsprechenden Leistungsbereichen nach HOAI zugeordnet.<sup>59</sup> Die 30 Anwendungsfälle konnten aus den einbezogenen Modellprojekten evaluiert werden und sind entsprechend des Forschungsdesigns und der Datenlage für die Untersuchung als erschöpfende Anzahl zu betrachten. Alle nachfolgenden Evaluationen zu erfolgskritischen Faktoren basieren auf diesen 30 Anwendungsfällen.

<sup>59</sup> HOAI in der Fassung von 2021.

		Grundleistungen und besondere Leistungen nach HOAI														
		HOAI Teil 3: Objektplanung			HOAI Teil 4: Fachplanung											
		Abschnitt 1 Gebäude und Innenräume [Hochbau]	Abschnitt 4 Verkehrsanlagen [Tief- und Straßenbau]	Abschnitt 3 Ingenieurbauwerke	Abschnitt 1 Tragwerksplanung	Abschnitt 2 technische Gebäudeausrüstung										
Projektphase nach Eschenbruch et al. 2020, S. 14		Leistungsphasen: §§ 34 (3), 47 (1), 43 (1) HOAI [Teil 3 Objektplanung]; §§ 51 (1), 55 (1) [Teil 4 Fachplanung]					§ 34 (1) HOAI: Anwendungsbereich: Leistungen für Neubauten		§ 45 Satz 1 HOAI: Anlagen des Straßenverkehrs		§ 41 HOAI Satz 6: konstruktive Ingenieurbauwerke für Verkehrsanlagen		§ 49 (1), (2) Anwendungsbereich: statische Fachplanung für Objektplanung Gebäude und Ingenieurbauwerke		§ 53 (1), (2) Anwendungsbereich 1: Abwasser-, Wasser- und Gasanlagen, 2: Wärmeversorgungsanlagen	
Nr.	BIM-Anwendungsfall	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
<b>Bauplanung</b>																
AWF 1	Planungsvariantenuntersuchung			✓							x	-	x	x	x	
AWF 2	Visualisierungen			✓							x	-	x	-	-	
AWF 3	Bemessung und Nachweisführung			✓							-	-	x	x	-	
AWF 4	Koordination der Fachgewerke [i.S.d. Informationsmanagements]			✓							x	x	x	x	x	
AWF 5	leistungsphasenadäquate Kollisionskontrolle			✓							x	-	x	x	x	
AWF 6	Koordinationsmodellverwendung			✓							x	x	x	x	x	
AWF 7	Fortschrittkontrolle der Planung			✓							-	-	x	x	-	
AWF 8	modellbasierte Erstellung von Entwurfsplänen			✓							x	x	x	x	x	
AWF 9	modellbasierte Mengen- und Massenermittlung			✓							x	-	x	x	x	
AWF 10	Attribuierung im TGA-Fachmodell			✓							-	-	-	-	x	
AWF 11	CDE-Kollaboration Planung			✓							x	-	-	x	x	
AWF 12	Attribuierung Kosten			✓							x	-	-	x	x	
AWF 13	modellbasierte Kostenschätzung und Kostenberechnung			✓							-	-	x	x	-	
AWF 14	modellbasierte Terminplanung der Ausführung			✓							x	-	x	x	x	
<b>Ausführungsvorbereitung</b>																
AWF 15	Kollisionskontrolle in der Ausführungsplanung				✓						x	x	-	x	x	
AWF 16	periodisches Pflegen der Fachmodelle				✓						x	-	-	x	x	
AWF 17	modellbasierte Mengen- und Massenermittlung [in der Ausführungsplanung]				✓						x	x	-	x	x	
AWF 18	modellbasierte Arbeitskalkulation				✓						x	-	-	x	x	
AWF 19	Erstellung Produktionsmodell [modellbasierte Ableitung von Ausführungsplänen]					✓					x	x	x	x	x	
<b>Bauausführung</b>																
AWF 20	Bereitstellung Planungsmodell [an Bauleitung/Projektleitung]										x	-	-	-	x	
AWF 21	Baufortschrittkontrolle										-	x	x	-	x	
AWF 22	Änderungsmanagement										x	x	x	-	-	
AWF 23	Abrechnung von Bauleistungen										x	-	x	-	-	
AWF 24	Werkstatt- und Montagepläne										-	-	x	-	-	
AWF 25	Kostencontrolling										-	-	x	-	-	
AWF 26	Mängelmanagement										-	-	x	-	-	
AWF 27	CDE-Kollaboration Ausführung										-	x	-	-	-	
AWF 28	Bauwerksdokumentation										-	x	x	-	-	
<b>Projektabschluss</b>																
AWF 29	Herleitung und Erstellung as-built-Modell										x	-	-	-	x	
AWF 30	Herleitung und Erstellung FM-Attribuierung										x	-	-	-	x	
Legende		x vorhanden - nicht vorhanden ✓ der LPH zuzuordnen														

Tabelle 18: Evaluierte Anwendungsfälle der einbezogenen Modellprojekte

Es ist erkennbar, dass sich die Leistungen der Phasen 3, 5 und 8 nach HOAI auf Basis der evaluierten Anwendungsfälle darstellen lassen.<sup>60</sup> Den Projektabschluss bildet die

<sup>60</sup> Die Phasen Entwurfsplanung, Ausführungsplanung, Objektüberwachung und die Übergabe in die Phase 9 als Projektabschluss lassen sich gemäß der Datenlage abbilden.



Datensatzübergabe zur Schaffung digitaler Konnektivität im vorbereitenden FM-Management. Es wird deutlich, dass die Leistungsphasen 1 Grundlagenermittlung, 4 Genehmigungsplanung, 6 Vorbereitung der Vergabe, 7 Mitwirkung bei der Vergabe und 9 Objektbetreuung aufgrund der vorgefundenen Daten nicht abgebildet sind und daher hier ausgeschlossen bleiben.<sup>61</sup> In der Anwendungsfallanalyse wird keine individuelle Unternehmensperspektive eingenommen. Die Betrachtungsperspektive liegt auf dem Bauprojekt für bauplanende und bauausführende Beteiligte sowie den Leistungsbildern der jeweiligen Projektphase. Die Perspektive des Auftraggebers bleibt ebenfalls ausgeschlossen, da diese in den Daten nicht spezifisch eingegrenzt ist. Inhaltsbeschreibungen der Anwendungsfälle und deren Spezifika zu Grundleistungen und besonderen Leistungen nach HOAI sind dem Anhang 22 zu entnehmen.

### 7.3.3 Häufigkeitsausprägungen der Anwendungsfälle in den Bauprojektstufen

Die Analyse ergibt eine kumulierte Häufigkeit von 98-facher Ausprägung in allen Modellprojekten auf Basis von 30 verschiedenen Anwendungsfällen [Diagramm, Anhang 23]. Der Großteil der erfassten AWF sind der Planungsstufe zuzuordnen [46 Anwendungen, AWF 1 – 14]. Innerhalb der Stufe Ausführungsvorbereitung ist eine 17-fache Anwendung vollzogen worden [AWF 15 – 19]. Auf die Ausführungsphase entfällt eine 28-fache Ausprägung der Anwendungsfälle [AWF 20 – 28]. Die Projektabschlussphase ist geprägt durch die Datenübergabe in die Betriebsphase des Bauwerks. Eine 7-fache Ausprägung ist vorliegend [AWF 28 – 30].

### 7.3.4 Teilbereichshäufigkeit entsprechend der Objektart

Die Analyse zeigt ein Projektportfolio für Bauwerke im Hochbau, Straßen- und Tiefbau sowie Ingenieurbau [Abb.36, n = 98].

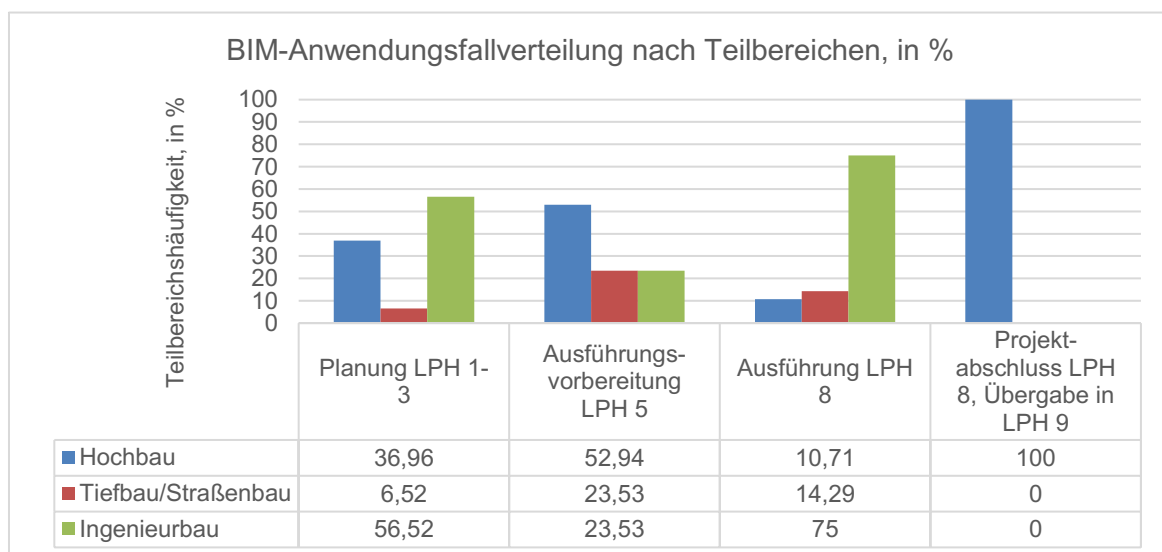


Abbildung 36: BIM-Anwendungsfallverteilung nach Teilbereichen

<sup>61</sup> Diese wurden lediglich in Einzelansätzen oder gar nicht innerhalb der Modellprojekte betrachtet.

Auffällig ist die Durchmischung der Teilbereiche, die innerhalb der Modellprojekte vorherrscht. Bis auf den Projektabschluss ist aber in allen Projektphasen jeder Teilbereich vertreten. Leistungsphase 1 bis 3 mit planungsbezogenen Anwendungsfällen wird von Ingenieurbauwerken [56,52 %] dominiert, gefolgt von Hochbauanwendungsfällen [36,96 %]. Der Tief- und Straßenbau kommt gering in der Planungsphase vor [6,52 %]. Die Ausführungsvorbereitung ist zu knapp 53 % von Hochbau-AWF geprägt, knapp 24 % entfallen auf den Tief- und Straßenbau, Gleiches auf Ingenieurbauwerke. Die Projektabschlussphase ist vordergründig von Ingenieurbaufällen geprägt, unter 15 % der AWF liegen in den Bereichen Hochbau sowie Straßen- und Tiefbau. Der Projektabschluss zur Übergabe in Phase 9 weist ausschließlich AWF im Hochbau aus. Zu schlussfolgern ist, dass Aussagen zu allen Teilbereichen für die Phasen Planung, Ausführungsvorbereitung und Ausführung getroffen werden können. Lediglich für den Projektabschluss sind nur Hochbauvorhaben abgebildet.

## 8. ekF – Risikomatrix

### 8.1 Faktorenkollektion

Die Kollektion der erfolgskritischen Faktoren [ekF] aus den 30 Anwendungsfällen bildet die Basis zur späteren Ableitung der ekF-Risikomatrix [Abb. 37].

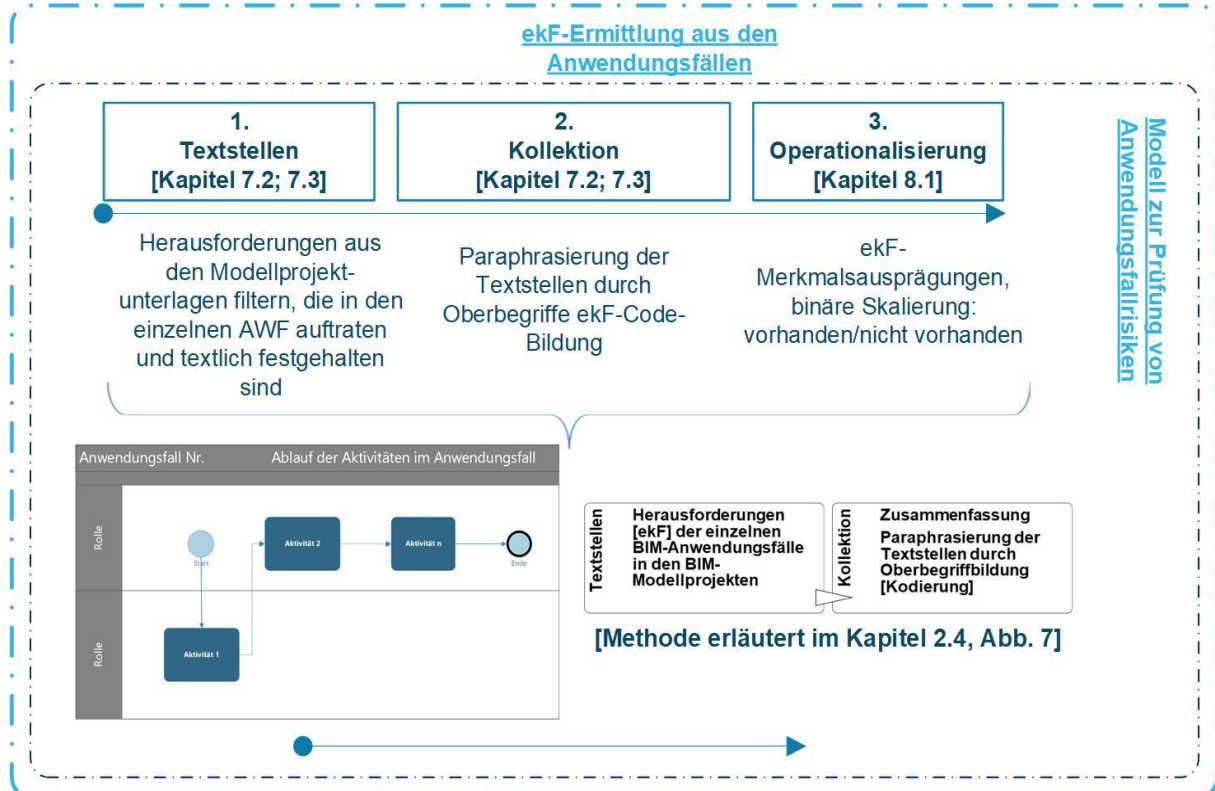


Abbildung 37: Faktorenkollektion schematisch

Aus den Dokumenten der Modellprojekte [Kapitel 7.2] werden die dort beschriebenen AWF erfasst. Es ist untersucht worden, ob für die aufeinanderfolgenden Einzelaktivitäten innerhalb eines jeden Anwendungsfalls Herausforderungen in den wissenschaftlichen Begleitdokumenten verzeichnet worden sind.<sup>62</sup> Aus diesen Herausforderung werden durch die Paraphrasierung der Textstellen Oberbegriffe gebildet.

Die Faktorenkollektion ist durch eine Kodierung der einzelnen ekF zusammengefasst. Gesammelt werden jegliche Merkmalsausprägungen der einzelnen ekF, die Auswirkungen auf den Erfolg des Anwendungsfalls haben [im Sinne der Operationalisierung: Kapitel 2.4]. Insgesamt sind 54 verschiedene ekF evaluiert worden, die kumuliert in 101 Fällen Herausforderungen in BIM-Anwendungsfällen hervorriefen. Die ekF1 bis ekF54 sind mit ihren Merkmalsausprägungen aufgelistet. Jeder ekF ist mit Langtitel und Kodierung bezeichnet. Die Langtitel sind die Resultate der Paraphrasierung [vgl. Auszug Paraphrasierung Anhang 24]. Sie sind die Oberbegriffe, die aus der Zusammenfassung der Textstellen gebildet worden sind. Die Kodierung [ekF Codes] dient einer besseren Darstellbarkeit in Übersichten [Abb. 38 – 39].

<sup>62</sup> In Kapitel 7.2 ist beschrieben aus welchen Modellprojekten die AWF zusammengetragen sind. Kapitel 7.3 [Tab. 16] listet die einzelnen AWF in Zuordnung zur HOAI auf.

Nr.	ekF Codes	Langtitel [Ergebnis Oberbegriffbildung]	ekF-Merkmalsausprägungen
1	ekF1.Vers	Versionierung	fehlerhafte Aktualisierung aller Daten der Objekt- und Fachplaner [Vernachlässigung Datei- und Namenskonventionen aus dem BAP inkl. Versionierung; wöchentliche Koordination]
2	ekF2.Rend	Rendering	Zweck: Rendering zur einfachen Visualisierung, Unzweckmäßige Kamerapfade: 3D, 2D und Plade [werden innerhalb einer Datei gesammelt]
3	ekF3.Transak	Verwendung Transaktionsdiagramm	keine Transaktionsdiagramme vorhanden (lediglich Datadropoints): via IFC-Template mit vordefiniertem Einfügewürfel
4	ekF4.Import	Re-Import	Terminplanverknüpfung: Prüfvorgang für Bauablaufvorgänge [LPH 8]; Importprotokoll listet Fehler nach Erstverknüpfung [Bauteile mit Vorgängen im Detailterminplan]; mehrfach verknüpfte Vorgänge, fehlende Vorgänge, falsch zugeordnete Vorgänge innerhalb der Prüfung des entstandenen Terminplans [Zeiten, Stunden je LV-Position, Kosten je LV-Position, Dauer]
5	ekF5.Bemust	Bemusterung	mangelhafte Modellqualität: Vorstufe zur modellbasierten Mengenermittlung und Leistungsverzeichnisverknüpfung [Bauteil an LV-Position] [mittels QTO-Variante und CPI-Filter]; Modellqualitätsprüfung
6	ekF6.Konv	konventions-entsprechende Nachmodellierung	Zweck: Gewährleistungserfassung im Anlagenmanagement und Objektmanagement sowie Datenerfassung Anlagenmanagement [Modelldaten, Hersteller, Brandschutz] - Unsachgemäße Veränderung des Level of Information: für Abruch und Neubau - fehlerhafte Zustandsdarstellung von Fassadenbauteilen und Anlageobjekten
7	ekF7.Abschrech	Abschlagsrechnung	ungenau Ermittlung fertiggestellter Bauabschnitte [Folge: nicht einbezogene Kosten in der Schlussrechnung]
8	ekF8.graflMeng	grafische Mengenermittlung	grafische Mengenermittlung nach geometrischen Objekten wird bei geometrisch beeinträchtigten Objekten fehlerhaft
9	ekF9.Objektüb	Objektüberlappung	Objektüberlappung bei erdreichberührenden Bauteilen [Winkelstützelemente oder Torpfähle] und Erdschichten mit Gefälle [Verbesserung: Modellierung mit Abzugskörpern, um Clash-Anzeigen zu vermeiden]
10	ekF10.VerknBaubau	Verknüpfung Baubauaufplanung	- unstimmiger Balkenplan in der Bauablaufplanung: Bauablaufmodell wird erstellt [4D]: Verknüpfung von konstruktiven und technischen Bauteilen mit dem Terminplan und LV-Positionen: - unvollständige Terminansicht: Ende-Anfang-Verknüpfungen sollen automatisierte Aktualisierungen der Termine in ITWO zeigen [Zweck: Änderung der Menge und Kolonnenstärken sowie Stundenmengen]
11	ekF11.KostenkatKalk	Kostenkatalog und Kalkulationssätze	unvollständige Übernahme von notwendigen Bauteilinformationen in den Kostenkatalog [Lohn, Baustoffe, Schal-, Rüst-, und Verbaumaterial, Geräte, Ausstattung, Fremdarbeit und Nachunternehmer] bei der Vorbereitung der Angebotsphase nach Leistungsverzeichnisverknüpfung
12	ekF12.spezFormt	spezifische Formteile	Konkrete benötigte Formteile [TGA] existieren nicht in Bauteilbibliotheken nativer Modellierungssoftware; Formteile [herstellerunabhängig] nicht konsistent vorhanden [kein geeignetes Verbindungsstück für Formteil mit zwei Abgängen; Modellierung herstellerabhängiger Formteile [phasenuntypisch: für Fachplanung in LPH 3 nicht vorzusehen]
13	ekF13.LVVerkn	Leistungsverzeichnis- Verknüpfung	- inkonsistente Anwahl [fehlende Auswahlmöglichkeiten an Bauteilen der Objektplanung] in der Objektstruktur für die Verknüpfung bei Anwendung eines Attributfilters im Modell für die Leistungsverzeichnisverknüpfung - ungenaues Fehlermanagement im LV-Verknüpfungsprotokoll [Verknüpfungsprüfung auf Konsistenz]
14	ekF14.Georef	Georeferenzierung	- fehlerhafte Zusammenführung verschiedener Koordinatensysteme in der Fachmodellzusammenführung [Gauß-Krüger-Variante; UTM] - Notwendigkeit der Koordinatenumrechnung
15	ekF15.Refpunkt	Referenzpunkt	fehlende Markierung des Koordinatensprungs [für die Vorbereitung eines IFC-Fachmodelltemplates (durch den Objektplaner) in Vorbereitung auf die Zusammenführung im Koordinationsmodell] - nicht-modellbasiertes Datengerüst [ifcXML] kann nicht vollständig in eine CAFM-Struktur [eine Form des MVD für das Facility Management] importiert werden [Prüfbericht dokumentiert Abweichungen]: - Zweck: Liegenschaftsdaten sollen aus etask werden exportiert Folge: erschwerte Export von Liegenschaftsdaten als ifcXML: strukturierte Bauteildarstellung nach Kostenkatalog DIN 276 werden in ein Basisprofil [enthält Katalog mit Raumnutzungsarten; Gliederung der Grundflächen (vgl. DIN 277-1:2016-01, S. 6-14) eingelesen und Katalog mit notwendigen Dokumentenarten im Assetmanagement soll dargestellt werden
16	ekF16.Schnittdiv	Schnittstellendivergenz	- Attributionsfehler [fehlende Attribute und/oder konventionsunentsprechendes LOI], - Dateiformatfehler [Abweichung Konvention], - Modellartenfehler in der Dateiübergabe, - fehlerhafte Volumenkörper für Durchbruchplanung [als Abzugskörper modelliert]
17	ekF17.Geokonv	Geometrieumverteilung	fehlende Bauteilverortung über Konstruktionsebenen [Lagezuordnung] - fehlerhafte Modellierung mehrschichtiger Bauteile [getrennte Modellierung] - Konventionsmissachtung [Bauteilzuständigkeiten im Modell]
18	ekF18.FachmoKons	Fachmodellkonsistenz	Verschiebungen in der Modellgeometrie treten auf: In der Modellzusammenführung [getrennt erstellte Fachmodellteile; Koordinationsmodell] bedarf es der Geometrieumverteilung durch die Umstellung auf einen konventionell festgelegten Projektursprung
19	ekF19.Modelllauf	Modellaufbau/-gliederung	- fehlerhafte Zusammenführung verschiedener Koordinatensysteme in der Fachmodellzusammenführung [Gauß-Krüger-Variante; UTM] - Notwendigkeit der Koordinatenumrechnung
Nr.	ekF Codes	Langtitel [Ergebnis Oberbegriffbildung]	ekF-Merkmalsausprägungen
20	ekF20.AttrPlan	Attribuierung aus der Planung	- nachträgliche Attribuierung [Abzugskörper, Schichtaufbau] in der Ausführungsvorbereitung und Ausführung aufgrund fehlender Planungsdaten - Basislinienverschiebung [Außenwand] - fehlerhafte Zuordnung zu Konstruktionsebenen - unvollständige Parameterdarstellung [thermische Werte]
21	ekF21.StrukPlan	Strukturübernahme aus der Planung	Strukturübernahme aus der Planung: Anbindung des Produktionsmodells [Verknüpfung Entwurfsmodell mit Ausführungsterminplan] an Strukturen des Entwurfsmodells der Planung: Elementfehler [Vorgänge können nicht direkt mit Bauteilelementen verknüpft werden]
22	ekF22.natStand	native Standard- funktionalitäten	Mengenermittlung [native Funktionalität] nur in nativer Software erfasst, keine durchgängige Übertragung im Bauprojekt möglich
23	ekF23.natDiv	native Divergenz: Geometrieausgabe	- abweichende Geometrieausgabe zwischen verschiedenen nativen Softwarearten [Überlagerung von Geometrieobjekten] - abweichende Parametrik der Bauteile nach Import, Volumenkörper werden verschoben
24	ekF24.RefManPrüf	Referenz manuelle Prüfung	- fehlende Definition: manuelle Prüfung [Fluchtwege, Türbreiten, Mindestabstände]: organisatorische Einbindung der 3D-Modelle bei der Prüfung von Planunterlagen 2D, Schulung BIM-gestützte Kommentierung, automatisierte Prüfmechanismen [entsprechend der Anforderungen an Modellinhalte müssen Prüfregeln der Kollisionskontrolle und Fortschrittskontrolle der Planung definiert sein] - fehlende 3D-Referenz: BIM-Modelle nicht als Grundlage für die abgeleitete 2D-Referenz für manuelle Prüfung genutzt [fehlende Einbindung der modellierten 3D-Modelle Objekt- und Fachplanung]
25	ekF25.geomKonf	geometrische Konformität	- Modellierungsdopplung verschiedene Disziplinen [Objekt- und Fachplanung] - verschobene Raumeometrien, Baukörpergeometrien [Fassade] - Überschneidungen Bodenplatte und Außenwände
26	ekF26.Plaus	Plausibilisierung	- fehlerhafte Zustandsdarstellung der Bauteile: Anwendung in den Abschlags- und Schlussrechnungen: Nutzung des Modells zur regelmäßigen Dokumentation von Bauleistungen und Abschlagsrechnungen, Erfassung des Baufortschritts: Plausibilisierung der in Rechnung gestellten Bauleistungen anhand des hinterlegten Baufortschritts - Missachtung ifcPropertySet und ifcQuantity
27	ekF27.Prozdef	Prozessdefinition	- fehlende Prozessdefinition und Festschreibung [Interaktionsdiagramm als Projektcontrollinginstrument] für modellgestützte Baufortschrittskontrolle, - kein modellbasierter SOLL-IST-Terminabgleich der Baufortschrittskontrolle [farbliche Abweichungsmarkierung und Bearbeitung instabiler Prozesse durch die Aufdeckung im Projektcontrolling]
28	ekF28.Projektstrkplan	Projektstrukturplan	- nicht vollzogene modellbezogene Dokumentation von Planungsständen nach BAP-Vorgabe und entsprechend des Projektstrukturplans - Bewertung des Planungsfortschritts nicht modellbasiert [Objekt- und Fachplanung]
29	ekF29.EindDetail	Eindeutigkeit der Detailierung	fehlerhafte LOD
30	ekF30.InfoManÄnd	Informationsmanagement der Änderungen	Festlegung und Darstellung der Prozessschritte für das Änderungsmanagement nicht nachvollzogen [betrifft Freigabe von Planungsänderungen, Bearbeitungen von Planungsänderungen durch den zuständigen Beteiligten, modellbasierte Dokumentation der Planungsänderungen durch Versionierung und Zustandsbeschreibung]
31	ekF31.Plandetail	Planungsdetailierung	- Planungsdetailierung [Einhaltung des geforderten LOD]: zur Ermöglichung der phasengerechten Analyse der Fachmodelle [Prozesse im Kollisionsschema und Bearbeitungsstand gemäß LPH] - fehlende Anforderungsdefinitionen für die Detailierung der Modellinhalte [Objekt- und Fachplanung]
32	ekF32.VerorDokMäng	Verortung und Dokumentation von Mängeln	- Mängelmanagement: fehlende BAP-Ergänzung zur Zuteilung der Verantwortung und Detailverzeichnis der Mängel und Zusatzdokumente im Modell [Erfassung und Nachverfolgung der Behebung]
33	ekF33.Tellaut	Tellautomatisierung	Ableitung und Erstellung der Berechnungsmodelle [Statik, Lärm- und Schadstoffausbreitung, Energie] nur teilautomatisiert erfolgt und keine durchgängige Modellinformationsverwendung in direkter Berechnungssoftwareverknüpfung
34	ekF34.autDatenstruk	automatisierte Datenstrukturierung	Regelsätze zur Kollisionsprüfung anwenden und standardisieren: keine durchgängig konventionsabhängige Standardisierung wurde praktiziert [Abstandsfehler Sanitäreinbau, Konstruktionsfehler Durchbruchplanung, weil keine standardisierten Regelsätze angewendet worden sind]
35	ekF35.MissIFCAufb	Missachtung IFC- Standardaufbau	- fehlerhafte Bauwerksstruktur im Export - fehlender Attributexport einzelner Bauteile
36	ekF36.Gesimp	Gesamtimport	Zentralmodell im Projektabschluss [Abschluss LPH 8], Übertragung des Projektmodells ins Asset-Modell [Gesamtimport inkl. Werk- und Montageplänen, Freigabeplänen zur Erhaltung im Asset-Modell] stellte sich als nicht zielführend dar [unstrukturierte Informationen: Modellteilung im Asset-Bereich ist zu erhalten]
37	ekF37.Hypermod	Hypermodell	3D-Modelldarstellung mit Vielzahl an Kameraperspektiven und -pfaden [Navigation und Ansichtsmöglichkeiten] sowie 2D-Ableitungen, unstrukturiert in einer Datei abgelegt, fehlende Versionierung
38	ekF38.IFC_Ent	IFC-Entitäten	IFC-Entitäten: fehlende Klassifizierung und Beachtung der korrekten IFC-Entitätsinhalte je Bauteil und deren Export
39	ekF39.Bauteilzust	Bauteilzuständigkeit	Kein Zuständigkeitsmanagement für Bauteile, die Objekt- und Fachplanung bedingen [Bauteildopplungen]

Abbildung 38: Faktorenkollektion: ekF1 bis ekF39

Nr.	ekF Codes	Langtitel [Ergebnis Oberbegriffbildung]	ekF-Merkmausprägungen
40	ekF40.hybrinfraDat	hybride Infrastruktur der Datenhaltung	Entstandene Datenformatvielfalt und Modellartenvielfalt, fehlendes projektdurchgängiges CDE-Management [nach DIN SPEC 91391-1:2019-04; 91391-2:2019-04] und fehlende zentrale Dateiablageorte
41	ekF41.CDECon	CDE-Container	- fehlende Festlegung des Kommunikationsprozesse via CDE-Umgebung und Containerspeicherung [trotz Vorgabe der CDE-konformen Verwendung nach DIN SPEC 91391-1:2019-04; 91391-2:2019-04] - entstandene Informationsdefizite bei nicht involvierten Projektbeteiligten [Fachplanung TRGW: statische Fachplaner: veränderte Auflagergrößen für Vorfertigung]
42	ekF42.AbwCDEStand	Abweichung CDE-Standard	- lokal gespeicherte Modelle ohne Einhaltung der Vorgaben zur Versionierung [konventionelle BAP-Vorgabe] verursachten hohe Fehlerquoten in der Informationsübertragung - keine Informationsversorgung der Projektbeteiligten in den CDE-Containern
43	ekF43.DatenumgAggr	Datenumgebung und Aggregation	CDE-Containerhinterlegung: Konventionsabweichung Objekt- und Tragwerksplaner in CDE-Container: modellbasierte 2D-Pläne [Koordinierungsmodell Objektplanung und Tragwerk für Vorfertigung; Leimholzbinder mit Auflagergrößen unter Herstellerbeziehung] waren nicht über Verknüpfungslink in CDE-Container für Hersteller abrufbar; IFC der Tragwerksplanung wurde für Hersteller nicht nutzbar
44	ekF44.AtrrGeom Aktual	Attribuierung und Geometrie bei Aktualisierungen	Zusätzliche Hinterlegung nicht-geometrischer Informationen [Materialgüte und Bewehrungsgehalt als Bauteileigenschaft in nativer Software für Modifikationserleichterung in den Variantenprüfungen] nicht durchgängig für den Anwendungsfall angewandt
45	ekF45.Dokverknfpf	Dokumentenverknüpfung	Zweck: Datenverknüpfung für den Projektabschluss [Abschluss LPH 8] als Zuordnung von Bildern und Dokumenten zu konstruktiven Bauteilen und Anlagen - Fehler: Projektabschlussvorbereitung: Übergabe nicht an ein CAFM-System [zur Verknüpfung mit einer FM-Datenbank], sondern in nativer Software mit Viewer-Unterstützung [Darstellungsmöglichkeiten von Verknüpfungen stark eingeschränkt: nur als Dateispeicherpfad via Hyperlink zu externen Informationen via URL oder zu lokalem, gleichbleibendem Speicherort] - Hyperlinkdichte zu hoch, keine Listung und Kategorisierung in nativer Software möglich [fehlendes Hyperlinkmanagement] Resultiert in lokal abgelegter Datei Vielfalt [Anlagenmanagement: Funktionskennzeichnung, Anlagenart, Hersteller, Modell, Verortung im Gebäude]
46	ekF46.PIM_AIM	Informationsmodellart: Projekt-Informationsmodell/ Asset-Informationsmodell	Modellarten [PIM; AIM] sind nicht entsprechend der Richtlinie verwendet worden [Aufgabe PIM: Verwendung in der Ausführungsphase, Langzeitspeicher des Bauprojektes, zu Revisionszwecken; Aufgabe AIM: aus PIM resultierend; vordefinierte Informationen [MVD oder manuell strukturiert] aus PIM transportieren und in einem FM-System strukturiert zugänglich machen]
47	ekF47.Datdurchg	Datendurchgängigkeit	Zweck: IFC-Planungsdaten für externes Einlesen [u.a. BTL-Format für Abbundanlage: Holzzuschnitt durch den Hersteller, Listengenerierung für Lieferungen] - kritische Datendurchgängigkeit durch verschiedenartige digitalen Stati der produzierenden und bauausführenden Unternehmen [direkte Modelldatenverwendung war nur eingeschränkt möglich]
48	ekF48.AbwStand	abweichende Standardisierung	abweichende Standardisierung [von BAP-Konventionen]: Definition und Überprüfung vorgesehener notwendiger Parameter zur FM-Vorbereitung [Projektabschluss nach LPH 8] erfolgte nicht oder ungenügend [Ergänzung Raumnamen entsprechend Raumnutzungskonzept, Tür- und Fensternummern mit Verortung im Gebäude]
49	ekF49.NONBIM	NONBIM	Aktivitäten in der Planung, Ausführungsvorbereitung und Ausführung, die von der Definition der Arbeitsmethodik BIM und den BAP-Konventionen des Projektes abweichen und lokale Speicherung begünstigen sowie die Verwendung nicht-BIM-fähiger Software [Einschränkung der Koordinierungsprozesses]
50	ekF50.InfoliefFMAtr	Informationslieferung FM-Attribuierung	Datenbedarf für die CAFM-Schnittstelle [betriebsrelevante Daten] ist nicht klar vereinbart [Datadropoint, Zuständigkeit der Datensammlung, Zusatzdokumente für Anlagen, Informationstiefe entsprach nicht den BAP-Konventionen]
51	ekF51.laufPlananpass	laufende Planungsanpassung	laufende Planungsanpassungen über LPH dadurch fehlerhafte Versionierungen der Modelle: Aufbereitung der Fachmodelle [dauerhafte Plananpassungen über die LPH]
52	ekF52.MVDbasExp	MVD-basierter Export	fehlerhafter MVD-basierter Export [im IFCEXPRESS-Format]: zu geringe Informationen [durch falsch verwendete standardisierte MVD und deren Beschränkungen für Datenexporte]
53	ekF53.Aufarb_as_built Mod	Aufarbeitung As-built-Modell	- fehlende Beauftragung eines As-built-Modells - nachträgliche Verbindung des Planungsmodells mit Laserscandaten [Punktwolke als Ergänzung im Planungsmodell umfasst nicht die Attribuierung und Dokumentenverknüpfung, das bedarf einer manuellen Nachtragung]
54	ekF54.Modartdichte	Modellartendichte/ Dateiformatdichte	- hoher Anteil an einzelnen Teilmodellen [Gründung Baugrube, Fassadenplanung, Balkone, Rohbau, Fenster und Türen], der einen erschwerten Koordinierungsaufwand innerhalb von Fachdisziplinen und unter den BIM-Koordinatoren hervorruft

Abbildung 39: Faktorenkollektion: ekF40 bis ekF54

Zu den Anwendungsfällen 12, 24 und 25 sind keine ekF verzeichnet worden. Insgesamt 5 AWF liegen bei 8 bis über 10 ekF je AWF und erscheinen stark kritisch beeinflusst:

- AWF 4: Koordination der Fachgewerke,
- AWF 6: Verwendung eines Koordinationsmodells,
- AWF 17: modellbasierte Mengen- und Massenermittlung in der Ausführungsvorbereitung,
- AWF 19: Erstellung eines Produktionsmodells,
- AWF 30: Herleitung und Erstellung der FM-Attribuierung.

Diese 5 AWF sind als exemplarischer Auszug aus der gesamten Faktorenkollektion dargestellt [Abb. 40].

Faktorenkollektion

Legende x = ekF vorhanden

Anwendungsfälle 4; 6; 17; 19; 30

Anwendungsfälle →		AWF4	AWF6	AWF17	AWF19	AWF30
Nr.	ekF Codes ↓	Koordination der Fachgewerke	Koordinationsmodellverwendung	modellbasierte Mengen- und Massenermittlung in der Ausführungsplanung	Erstellung Produktionsmodell	Herleitung und Erstellung FM-Attribuierung
1	ekF1.Vers					
2	ekF2.Rend					
3	ekF3.Transak	x	x			
4	ekF4.Import				x	
5	ekF5.Bemust			x		
6	ekF6.Konv					x
7	ekF7.Abschrech					
8	ekF8.grafMeng			x		
9	ekF9.Objektüb					
10	ekF10.VerknBauabl				x	
11	ekF11.KostenkatKalk					
12	ekF12.spezFormt					
13	ekF13.LVVerkn			x		
14	ekF14.Georef		x		x	
15	ekF15.Refpunkt		x		x	
16	ekF16.Schnittdiv					x
17	ekF17.Geokonv		x			x
18	ekF18.FachmoKons			x		x
19	ekF19.Modelllauf	x				
20	ekF20.AttrPlan		x	x		
21	ekF21.StrukPlan					
22	ekF22.natStand					
23	ekF23.natDiv			x	x	
24	ekF24.RefManPrüf					
25	ekF25.geomKonf					
26	ekF26.Plaus					
27	ekF27.Prozdef					
28	ekF28.Projektstrkplan					
29	ekF29.EindDetail				x	
30	ekF30.InfoManÄnd					
31	ekF31.Plandetail	x				
32	ekF32.VerorDokMäng					
33	ekF33.Teilaut					
34	ekF34.autDatenstruk					
35	ekF35.MissIFCAufb	x				x
36	ekF36.GesImp					
37	ekF37.Hypermod					
38	ekF38.IFC_Ent				x	
39	ekF39.Bauteilzust	x				
40	ekF40.hybrInfraDat					
41	ekF41.CDECon					
42	ekF42.AbwCDEStand					
43	ekF43.DatenumgAggr					
44	ekF44.AttrGeomAktual					
45	ekF45.Dokverknopf	x		x	x	x
46	ekF46.PIM_AIM					x
47	ekF47.Datdurchg					
48	ekF48.AbwStand					x
49	ekF49.NONBIM	x		x		x
50	ekF50.InfoliefFMAttr					x
51	ekF51.laufPlananpass					x
52	ekF52.MVDbasExp					x
53	ekF53.Aufarb_as_built_Mo					
54	ekF54.Modartdichte	x	x			

ekF 1- 54

Abbildung 40: Ausschnitt ekF-Faktorenkollektion in den Anwendungsfällen

Kumulierte Häufigkeitsausprägungen der einzelnen ekF sind im Anhang 24 erläutert. Die ganzheitliche Faktorenkollektion ist im Anhang 25 als binäre Übersicht beigefügt. Sie enthält die Zuordnung aller 30 evaluierten Anwendungsfälle zu den ermittelten ekF.<sup>63</sup>

## 8.2 Matrixdarstellung

Die ekF-Risikomatrix ist die Darstellung sämtlicher erfasster ekF aus den BIM-Anwendungsfällen in Zuordnung zu den Strukturbereichen des BIM-Strukturmodells. Die aufgetretenen ekF beeinflussen nicht nur den Ablauf der Anwendungsfälle kritisch, sondern auch die BIM-Strukturen im Bauprojekt. Die Merkmalsausprägungen der ekF geben Auskunft auf die Auswirkungen für die Strukturbereiche [s. Abb. 38 und 39].

Das Strukturmodell wurde in seiner Entwicklung in den Kapiteln 6.1 und 6.2 erläutert. Es beschreibt die notwendigen strukturellen Bedingungen, die in einem BIM-basierten Bauprojekt gegeben sein müssen.

Die horizontale Ebene der Risikomatrix bildet die Strukturbereiche des Strukturmodells ab. Die vertikale Ebene zeigt die 54 evaluierten ekF [Abb. 41]. Die ekF-Wirkung als Tabellensumme ist die kumulierte Häufigkeit eines ekF in den BIM-Strukturbereichen. Die Strukturbereich-Wirkung ist die Summe der Belastung durch ekF im jeweiligen Bereich eines BIM-basierten Bauprojekts. Es ist zu vermuten, dass Strukturbereichen mit mehrfacher ekF-Ausprägung besondere Beachtung bei einer BIM-Implementierung im Bauprojekt oder im Unternehmen zu widmen ist. Das Vorgehen der ekF-Zuordnung zum Strukturmodell ist im Kapitel 9 anhand exemplarischer Anwendungsfälle beschrieben.

---

<sup>63</sup> Das Rohdatenblatt zum ekF-Vorkommen in den Anwendungsfällen ist im Anhang 26 einsehbar.

Titel ekF-Risikomatrix		erfolgsrelevante BIM-Strukturinhalte																									ekF-Wirkung [Summe]							
Ebene 0		Aufbauorganisation					Ablauforganisation					Ressourcen					Technologie																	
Ebene I		Aufbau des Informationsaustauschs			Projektmanagement und Wertschöpfung		Informationsmanagement					Informationsressourcen					Technologie																	
Ebene II		Bauobjektklassifizierung im Modell		Informationsschema	Modellgliederung	BPM-Notation	Datenaggregation	Projektinformationsanforderungen			Interaktions- und Transaktionspläne		Konventionen	generische Modellinhalte		Datenumgebung [Common Data Environment]			Modellierungssoftware	Modellarten	Dateiformate /Austauschformate													
Ebene III		Bauobjekt-klassifizierung und Zusammen-setzungshierarchie	Klassifikations-systeme	Informationsschema	Modellprüfung	objekt-orientierte Modell-gliederung	Strukturierungs-workflows	modellbasierte Daten-strukturierung	Rollen im Informations-management	Informations-anforderungen	Projekt-informationsmodell	Federations-strategie	Aktivitäten-kollaborativer Informations-erzeugung	Datenaustausch-anforderungen	Modellprüfung für den Datenaustausch	Interaktions- und Transaktions-diagramme	AI/ BAP	IDM	Geo-referenzierung	Identifikation	CDE-Container	CDE-Aggregation	CDE-Workflow und Verantwortlichkeiten	Software	Modellarten	Dateiformate								
Nr.	ekF Codes																									ekF-Wirkung [Summe]								
1	ekF1.Vers	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
2	ekF2.Rend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
3	ekF3.Transak	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7		
4	ekF4.Import	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
5	ekF5.Bemust	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3			
6	ekF6.Konv	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4			
7	ekF7.Abschirech	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2			
8	ekF8.grafMeng	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2			
9	ekF9.Objektüb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2			
10	ekF10.VerknBauschl	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4			
11	ekF11.Kostenkalk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2			
12	ekF12.spezFormt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
13	ekF13.LVVerkn	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	3			
14	ekF14.Georef	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
15	ekF15.Refpunkt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
16	ekF16.Schnittdiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
17	ekF17.Geoknv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
18	ekF18.FachmoKons	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	7			
19	ekF19.Modellauf	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
20	ekF20.AttrPlan	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5			
21	ekF21.StrukPlan	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8			
22	ekF22.matStand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
23	ekF23.matDiv	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
24	ekF24.RefManPruf	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			
25	ekF25.geomKonf	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3			
26	ekF26.Plans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4		
27	ekF27.Prozdef	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		
28	ekF28.Projektstrkolan	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	20			
29	ekF29.EindDetaill	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
30	ekF30.InfoManAnd	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	16			
31	ekF31.Plansdetaill	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
32	ekF32.VerorDokMäng	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	6			
33	ekF33.Teilauf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3		
34	ekF34.audDatenstruk	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
35	ekF35.MissIFCAufb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
36	ekF36.Gesimp	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7		
37	ekF37.Hypermod	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
38	ekF38.IFC_Ent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
39	ekF39.Bauteilzust	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
40	ekF40.hybrInfraDat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
41	ekF41.CDECon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3		
42	ekF42.AbwCDEStand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3		
43	ekF43.DatennumAggr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3		
44	ekF44.AttrGeomAktual	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
45	ekF45.Dolverknf	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	6	
46	ekF46.PIM AIM	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
47	ekF47.Datdurchg	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	
48	ekF48.RowStand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
49	ekF49.NONBIM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
50	ekF50.InfoliefMAttr	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
51	ekF51.laufPlananpass	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
52	ekF52.MVDbasExo	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
53	ekF53.Aufarb.as built Mod	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
54	ekF54.Modardichte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	3	
Strukturbereich-Wirkung [Summe]		7	6	1	10	14	5	4	4	4	4	5	8	4																				



Die Interpretation der Risikomatrix ist am Beispiel des erfolgskritischen Faktors 19 in der Abb. 42 dargestellt.

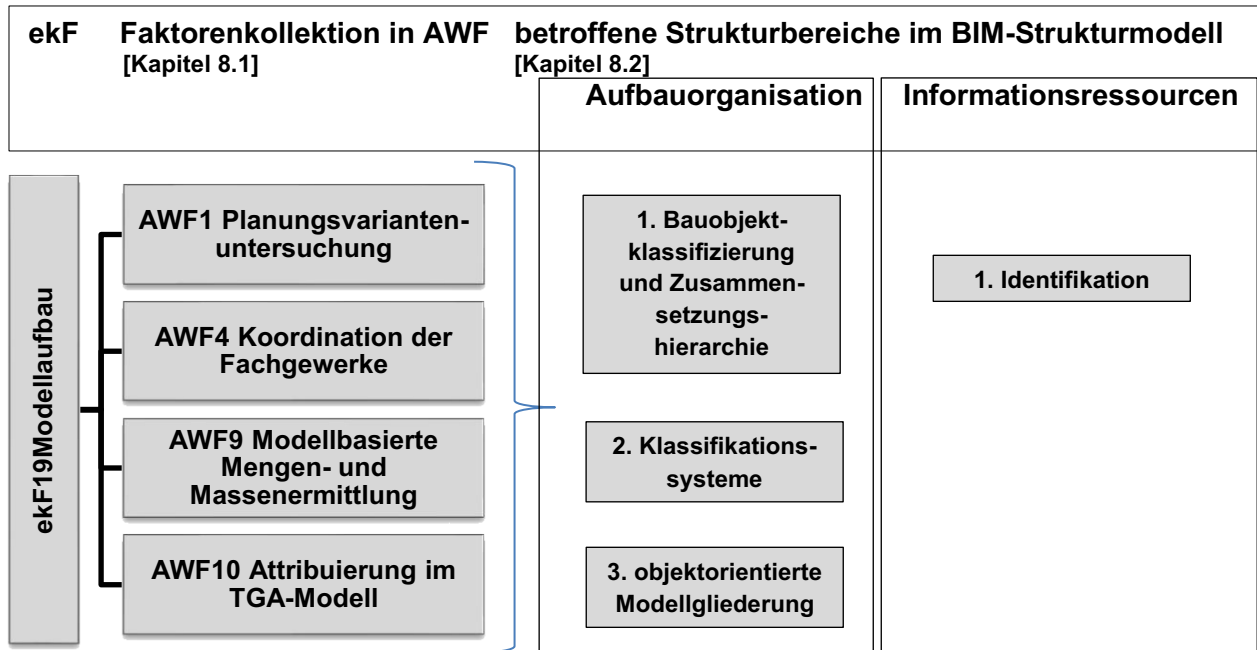


Abbildung 42: Beispiel für die Interpretation der ekF-Risikomatrix

Für dieses Beispiel ließ sich ermitteln, dass der ekF19 Modellaufbau in den AWF 1, 4, 9 und 10 aufgetreten ist. Seine Beschaffenheit beeinflusst die BIM-Strukturbereiche Aufbauorganisation und Informationsressourcen kritisch. Diese Beeinflussung wirkt in den Bereichen:

Aufbauorganisation:

1. Bauobjektklassifizierung und Zusammensetzungshierarchie,
2. Klassifikationssysteme,
3. Objektorientierte Modellgliederung

Informationsressourcen:

1. Identifikation von Bauteilen und Zuständigkeiten.

### 8.3 Externe Validität

Aufgrund einer geringen Stichprobenanzahl in qualitativen Analysen kann die externe Validität bedroht sein (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 105). Eine qualitative Prüfung auf Heterogenität ist durchgeführt worden, indem 3 Modellprojekte [Fachmarktzentrum Leinefelde; BIM4INFRA Projekt 2; BMVI-Piloten Projekt 3] aus der Analyse ausgeschlossen worden sind, um zu prüfen, ob die Gesamtergebnisse in ihrer Verteilung gleich bleiben.<sup>64</sup> Das beinhaltet je ein Projekt aus den Teilbereichen Hochbau, Straßen- und Tiefbau sowie Ingenieurbau [entspricht der strukturellen Zusammensetzung der Modellprojekte; Kapitel 7.3.4]. Abb. 43 zeigt die

<sup>64</sup> vgl. dazu Anhang 2 als Erläuterung zu Bedrohung durch Heterogenität: Prüfung auf Vergleichbarkeit der Untersuchungseinheiten.

aufgetretenen AWF in allen recherchierten Modellprojekten im Vergleich zu einem Szenario, in dem 3 Projekte ausgeschlossen werden. Es wird deutlich, dass die verhältnismäßige Verteilung der AWF gleichbleibt und sich nur die kumulierte Häufigkeit reduziert [von n =98 hin zu n = 63]. 4 AWF würden gänzlich entfallen [AWF 11; 12; 20; 25].

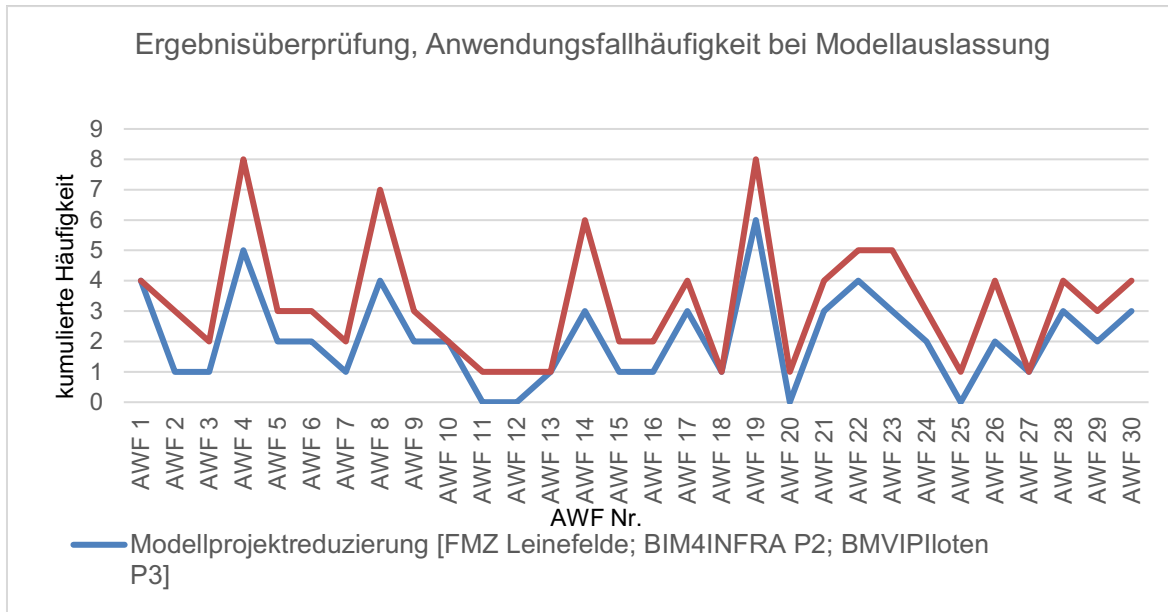


Abbildung 43: Modellprojektauslassung

Allerdings betrifft der Wegfall der AWF lediglich 4 ekF, die in nur 2 AWF auftraten:

1. AWF 11 [ekF40 hybride Infrastruktur der Datenhaltung]<sup>65</sup>,
2. AWF 20 [ekF43 Datenumgebung und Aggregation; ekF47 Datendurchgängigkeit; ekF48 abweichende Standardisierung]<sup>66</sup>,
3. AWF 12 und 25 weisen keine ekF-Ausprägungen auf.

Diese Auswirkung auf die Gesamtergebnisse erscheint vergleichsweise gering, da die ekF47 Datendurchgängigkeit und ekF48 abweichende Standardisierung in anderen Anwendungsfällen auftreten, die trotz des Ausschlusses von Modellprojekten in der Analyse erhalten blieben. Gänzlich entfallen würden lediglich:

1. ekF40 hybride Infrastruktur der Datenhaltung und

<sup>65</sup> ekF40: hybride Infrastruktur der Datenhaltung: Entstandene Datenformatvielfalt und Modellartenvielfalt, fehlendes projektdurchgängiges CDE-Management [nach DIN SPEC 91391-1:2019-04; 91391-2:2019-04] und fehlende zentrale Dateiablageorte.

<sup>66</sup> ekF43: Datenumgebung und Aggregation: CDE-Containerhinterlegung: Konventionsabweichung Objekt- und Tragwerksplaner im CDE-Container: modellbasierte 2D-Pläne [Koordinierungsmodell Objektplanung und Tragwerk für Vorfertigung: Leimholzbinde mit Auflagergrößen unter Herstellereinbeziehung] waren nicht über Verknüpfungslink im CDE-Container für Hersteller abrufbar; IFC der Tragwerksplanung wurde für Hersteller nicht nutzbar; ekF47: Datendurchgängigkeit: Zweck: IFC-Planungsdaten für externes Einlesen [u.a. BTL-Format für Abbundanlage: Holzzuschnitt durch den Hersteller, Listengenerierung für Lieferungen]: kritische Datendurchgängigkeit durch verschiedenartige digitalen Stati der produzierenden und bauausführenden Unternehmen [direkte Modelldatenverwendung war nur eingeschränkt möglich]; ekF48: abweichende Standardisierung: abweichende Standardisierung [von BAP-Konventionen]: Definition und Überprüfung vorgesehener notwendiger Parameter zur FM-Vorbereitung [Projektabschluss nach LPH 8] erfolgte nicht oder ungenügend [Ergänzung Raumnamen entsprechend Raumnutzungskonzept, Tür- und Fensternummern mit Verortung im Gebäude].

## 2. ekF43 Datenumgebung und Aggregation

[Anhang 26 Rohdatenblatt, entfallende AWF grau markiert].

Es ist davon auszugehen, dass die Recherche der Modellprojekte eine homogene Untersuchungsbasis darstellt, die externe Validität aufweist. Dementsprechend kann das generelle Ziel einer qualitativen Inhaltsanalyse verfolgt werden, da die Resultate auf andere AWF-Situationen und BIM-Anwendungszeitpunkte übertragbar sind (vgl. Döring und Bortz 2016, S. 54).

### 8.4 Faktorenallokation

In der Faktorenallokation ist detailliert erläutert, wie die ermittelten ekF zu den Strukturbereichen Aufbau- und Ablauforganisation, Informationsressourcen sowie Technologie zugeordnet sind und wie die erfolgskritischen Wirkungen Einfluss auf den jeweiligen Anwendungsfall nehmen. Auf dieser Basis lassen sich Prozessschritte in BIM-Anwendungsfällen und Risikobereiche in BIM-basierten Bauprojekten ermitteln [Abb. 44].



Abbildung 44: Faktorenallokation schematisch

Die Zuordnung der ekF zu den Strukturbereichen erfolgt auf der Ebene III des Strukturmodells. Die Häufigkeitsausprägungen der ekF in den einzelnen Strukturbereichen sind im Anhang 27 verzeichnet.

Im Kapitel 9 ist die Allokation beschrieben. Um die Ergebnisse anhand des Überprüfungsschemas detailliert erläutern zu können, wird sich exemplarisch auf die Strukturbereiche Aufbauorganisation und Technologie bezogen.<sup>67</sup> Auf diese Weise kann das Überprüfungsschema erläutert werden. Es lässt sich auf alle Anwendungsfälle übertragen. Die Strukturbereiche Informationsressourcen und Ablauforganisation werden nur subsumiert im Text erläutert.

<sup>67</sup> In diesen Strukturkategorien sind am häufigsten ekF innerhalb der Anwendungsfälle aufgetreten [vgl. Anhang 27]. Für die Kategorien Aufbauorganisation und Technologie werden jeweils Einzelfälle erläutert.

## 9. BIM-Strukturmodell-anwendung

### 9.1 Faktorenallokation im Strukturbereich Aufbauorganisation

Die ekF-Zuordnung im Strukturbereich Aufbauorganisation wird exemplarisch für das Feld Modellgliederung [Abb. 45, grau hinterlegt] erläutert. Die Häufigkeitsausprägungen der erfolgskritischen Faktoren [ekF] sind in diesem Bereich am höchsten [Ergebnisse zur Häufigkeit s. Anhang 27].

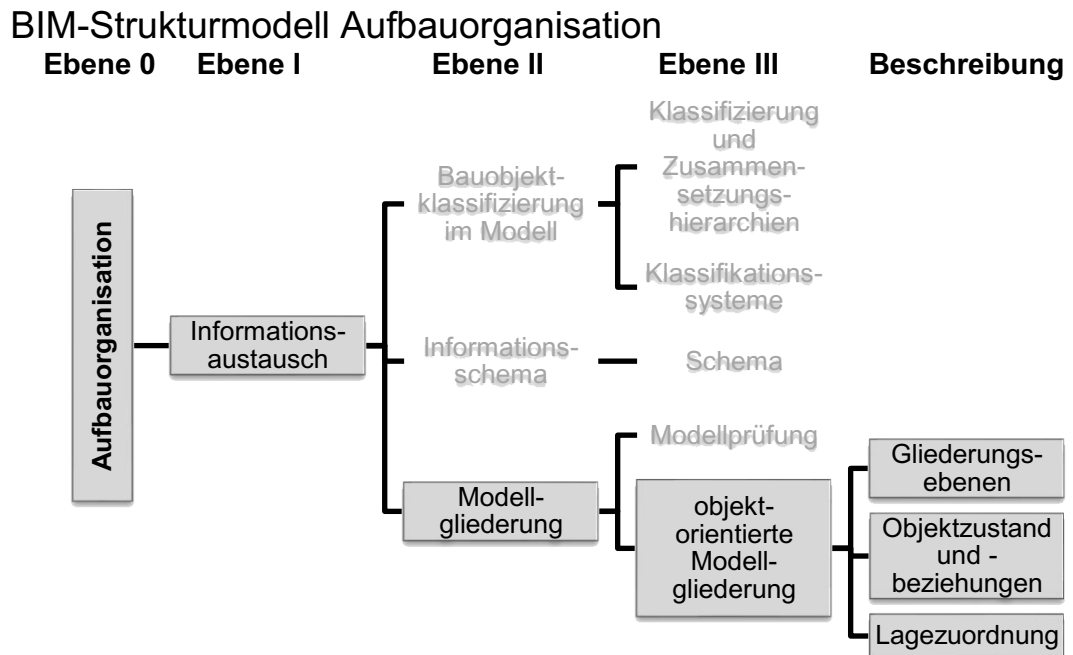


Abbildung 45: Strukturmodell Aufbauorganisation

Abb. 46 zeigt die evaluierten ekF im Bereich objektorientierter Modellgliederung [grau hinterlegte Felder]. An dieser Stelle wird exemplarisch der Bereich Objektzustand und -beziehungen am Beispiel des Anwendungsfall 17 Mengen- und Massenermittlung erläutert. Grau hinterlegte Felder der Abb. 46 sind hier exemplarisch beschrieben, da die Häufigkeitsausprägung der ekF dort am höchsten ist.

Die übrigen Analyseergebnisse zur Aufbauorganisation sind im Detail dem Anhang 28 zu entnehmen.

## ekF-Zuordnung im BIM-Strukturmodell

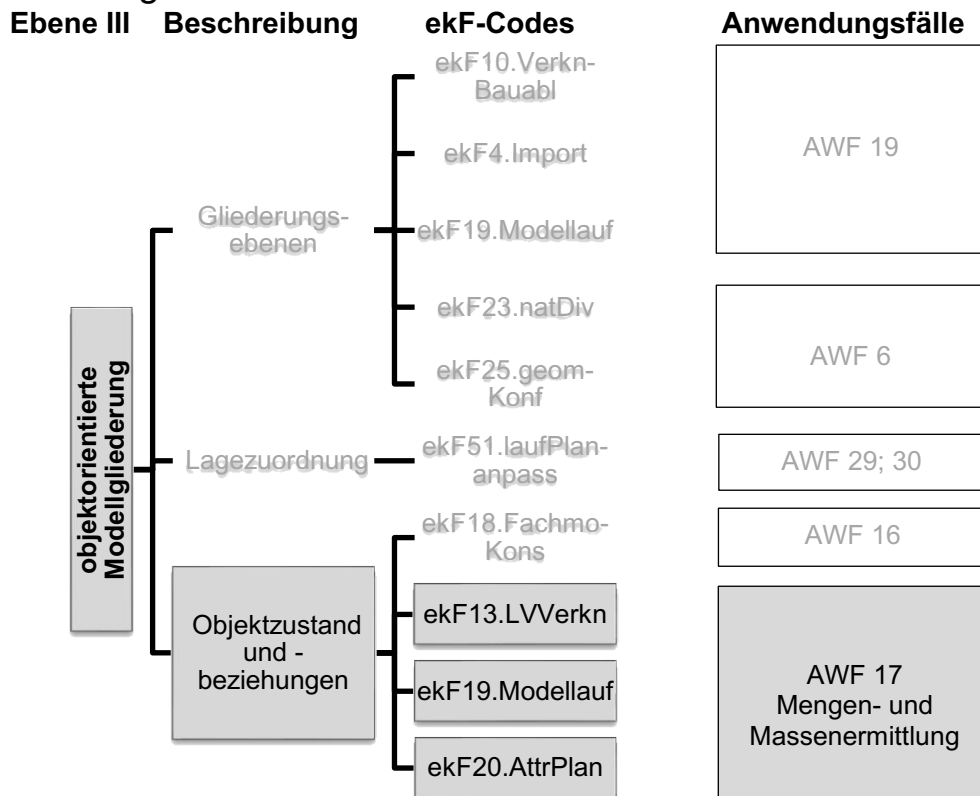


Abbildung 46: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Aufbauorganisation

Die objektorientierte Modellgliederung im Strukturbereich Aufbauorganisation besteht aus:

1. Gliederungsebenen,
2. Lagezuordnung,
3. Objektzustand und -beziehungen

(vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08, S. 24; Borrmann und Berkahn 2015, S. 25–42; Koch 2015, S. 43–55).

### 1. Gliederungsebenen:

Im Bereich Gliederungsebenen treten im AWF 19 die ekF10 Verknüpfung Bauablaufplanung, ekF4 Import und ekF 19 Modellaufbau auf.<sup>68</sup> Die Detailbeschreibungen sind dem Anhang 28 zu entnehmen. Im AWF 6 Koordinationsmodellverwendung treten die ekF23 native Divergenz und ekF25 geometrische Konformität auf.<sup>69</sup>

<sup>68</sup> **AWF 19 Erstellung Produktionsmodell:** das Produktionsmodell ist das Planungsmodell, erweitert um die terminlichen Ausführungsplanungen der Fachgewerke, Erstellung von 2D-Ansichten aus BIM-Modell Ableitung der Ausführungspläne.; **ekF 10 Bauablaufplanung:** unstimmiger Balkenplan in der Bauablaufplanung durch fehlerhafte Automatisierung, **ekF4 Re-Import:** falsch zugeordnete Bauablaufvorgänge, **ekF 19 Modellaufbau:** fehlerhafte Bauteilverortung über Konstruktionsebenen, fehlerhafte Schichtaufbau in Bauteilen.

<sup>69</sup> **AWF 6 Erstellung eines Koordinationsmodells** im Teilbereich Hochbau in der Planungsphase; **ekF 23 native Divergenz:** abweichende Geometrieausgabe zwischen verschiedener nativer Modellierungssoftware, **ekF 25: geometrische Konformität:** verschobene Raumgeometrien und Baukörpergeometrien.

## 2. Lagezuordnung

In den AWF 29 und 30<sup>70</sup> ist der ekF51 laufende Planungsanpassung aufgetreten.<sup>71</sup> Die detaillierten Erläuterungen sind dem Anhang 28 zu entnehmen.

## 3. Objektzustand und -beziehungen:

Der Bereich Objektzustand und -beziehungen umfasst:

1. Attribute,
2. Aggregationen und
3. Kompositionen im Modell.

Sie sind die Zustandsmerkmale eines Bauobjekts und definieren die Objektstruktur, -bestandteile und enthaltene Informationen (vgl. Koch 2015, S. 48). Für den AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung im Teilbereich Hochbau sind die erfolgskritischen Faktoren ekF13 Leistungsverzeichnisverknüpfung, ekF19 Modellaufbau und ekF20 Attribuierung Planung ermittelt worden.<sup>72</sup>

Das Überprüfungsschema in Abb. 47 visualisiert die erfolgskritischen Auswirkungen für die Inhalte Attribute, Aggregationen und Kompositionen. Dieses Schema wurde für alle vier BIM-Strukturbereiche verfolgt.<sup>73</sup> Die methodische Erläuterung dieses Überprüfungsschemas erfolgte in Kapitel 2.4, Abb. 10. Das Schema kann außerdem zu BIM-Implementierungszwecken eingesetzt werden, weil die notwendigen BIM-Strukturbereiche auf Erfüllung oder Herausforderungen hin überprüft werden.

<sup>70</sup> **AWF 29: Herleitung und Erstellung As-built-Modell:** konventionsentsprechende Nachmodellierung [AIA], Schaffung zusätzlicher Zustandsbeschreibungen [über Ebenen: zukünftiger Abbruch oder Anbau], Erfassung des Baufortschritts im As-built-Modell des AN-seitig erstellten Planungsmodell, Dokumentation der Ausführung im As-built-Modell als digitale Bauwerksakte, Verknüpfung wesentlicher betriebsrelevanter Dokumente; **AWF 30: Herleitung und Erstellung FM-Attribuierung im Teilbereich Hochbau,** Projektabschluss: konventionsentsprechende nachträgliche Attribuierung: Gewährleistungsdaten zur Verwaltung der Gewährleistungsansprüche technische Anlagen, Dokumentenverknüpfung mit Bauteilen für Wartungsintervalle, Dokumente sollen in der Betriebsphase mit FM-Datenbank verknüpft sein, Vorbereitung des Modells zur Übergabe als ifcxml an ein CAFM-System [Asset-Informationsmodell].

<sup>71</sup> **ekF 51 laufende Planungsanpassungen:** fehlerhafte Versionierungen durch laufende Planungsanpassungen entstehen.

<sup>72</sup> **AWF 17: modellbasierte Mengen- und Massenermittlung:** mit Leistungsverzeichnis-Verknüpfung [attributorientiert, objektorientiert: bauausführende Unternehmen].

<sup>73</sup> Aufbauorganisation, Ablauforganisation, Informationsressourcen, Technologie.

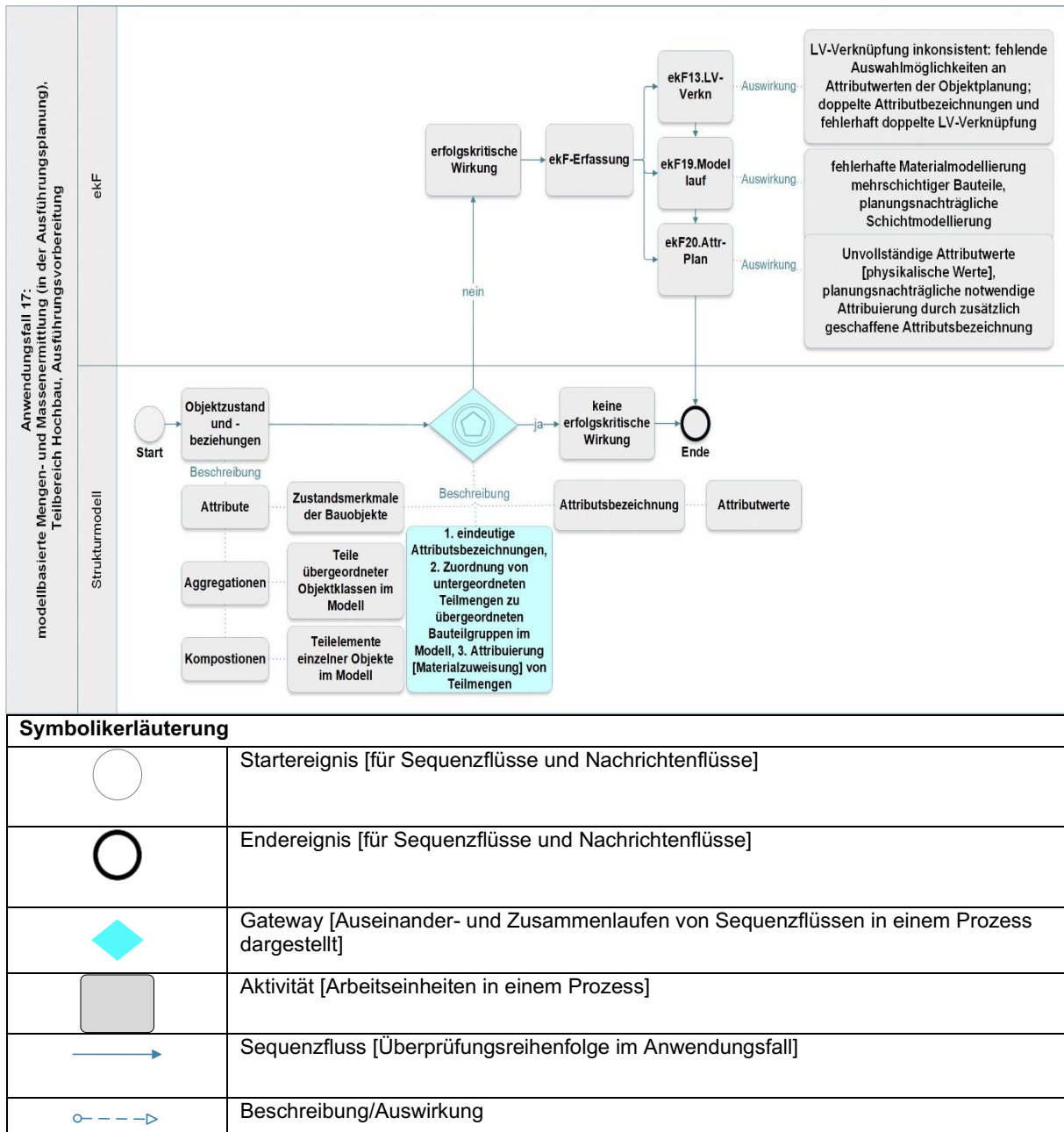


Abbildung 47: Überprüfungsschema Aufbauorganisation: ekF-Erfassung: AWF 17

### 1. Attribute:

Innerhalb einer Objektklasse besitzen alle Objekte die gleichen Attribute, die wiederum eigene Attributwerte aufweisen (vgl. Koch 2015, S. 48). Abb. 48 zeigt einerseits den Aufbau eines Klassendiagramms hinsichtlich der Attributbezeichnungen und -werte allgemein. Andererseits [rote Markierung] ist schematisch dargestellt, was im Falle von Attributdopplungen innerhalb der Konsistenzprüfung evaluiert wird [ekF20 Attribuierung Planung].

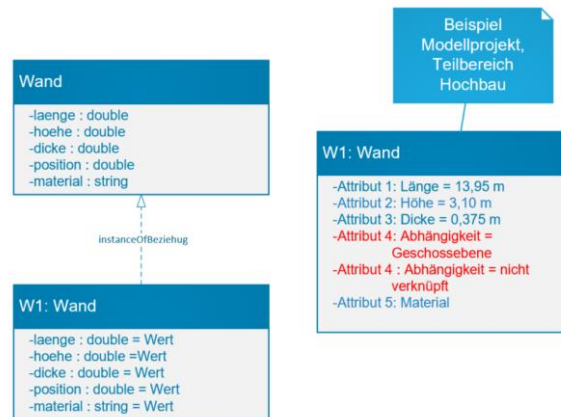


Abbildung 48: Attribute im Objekt- und Klassendiagramm (Koch 2015, S. 50)

Über den Attributfilter innerhalb der Software zur 5D-Kostenermittlung sollen dem vorab erstellten Leistungsverzeichnis Attributwerte zugeordnet werden. Ein Importprotokoll des IFC-Modells listet Fehler und Bemerkungen auf. Diese Konsistenzprüfung ist elementar für die abzuleitenden Mengen und Massen. In diesem Fall ergeben sich mehrere Attribute mit gleichem Namen. Eine Eindeutigkeit innerhalb der Objektdiagramme ist somit nicht mehr gegeben, sodass kein eindeutiger Attributwert für die Leistungsverzeichnisverknüpfung verwendet wird. Die Konsistenzprüfung ist am Beispiel der Elemente ifcWindow dargestellt [Abb. 49].

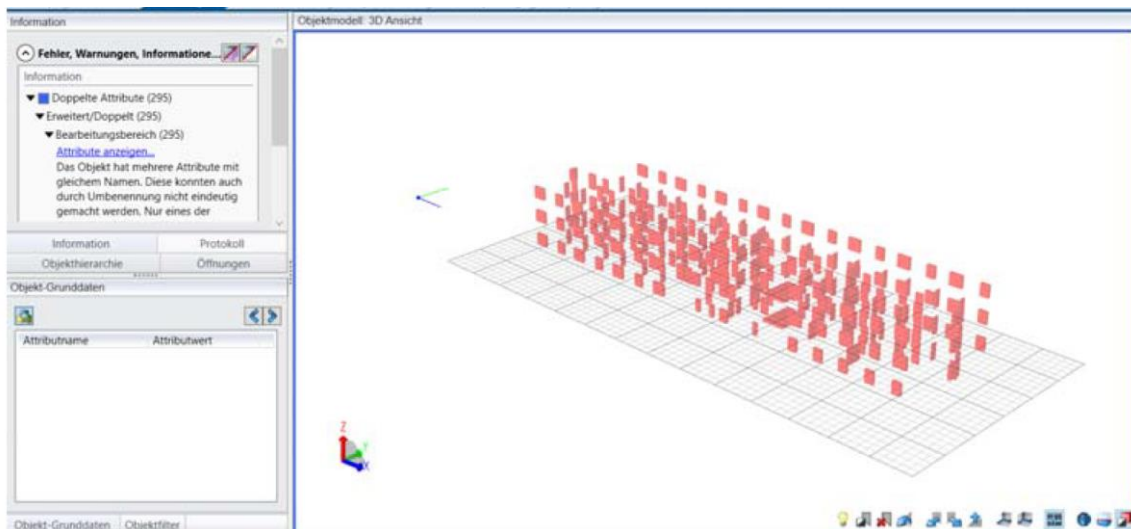


Abbildung 49: CPI-Filter: Konsistenzprüfung (Projektauswertung: Modellierungstagebuch)

## 2. Aggregationen und 3. Kompositionen:

Aggregationen und Kompositionen stellen Beziehungen zwischen Objekten aus nicht gleichrangigen Klassen dar und lassen sich als Verhältnisbeziehung beschreiben. Das Objekt der übergeordneten Klasse ist ein Ganzes und das Objekt der untergeordneten Klasse ein Teilbereich des Ganzen. Die Aggregation definiert, welche Teile zu übergeordneten Objektklassen gehören. Kompositionen definieren, aus welchen Teilelementen und -schichten



ganze Objekte bestehen. In der Kompositionsmodellierung können Teilelemente nicht ohne die übergeordnete Objektklasse bestehen. Somit können einzelne Schichten nicht ohne das Ganze modelliert werden. Abb. 50 zeigt schematisch die Zusammenhänge, ausgehend von einer übergeordneten Klasse (vgl. Koch 2015, S. 54–55).

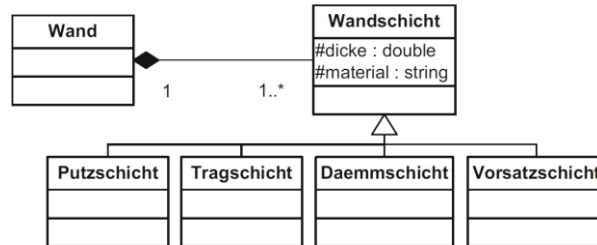


Abbildung 50: Kompositionen im Modell (Koch 2015, S. 55)

Im Falle der Nachbearbeitung einzelner Bauteile für die Mengen- und Massenermittlung sind die Bauteile [Außenwand mehrschichtig Ebene 0; Bodenplatte darunterliegender Perimeterdämmung Ebene -1] anhand der Modellstruktur verortet und in ihrer Attribuierung verändert worden [Abb. 51]. Andernfalls hätte die automatisierte Mengen- und Massenermittlung nicht erfolgen können [ekF13 LV-Verknüpfung].

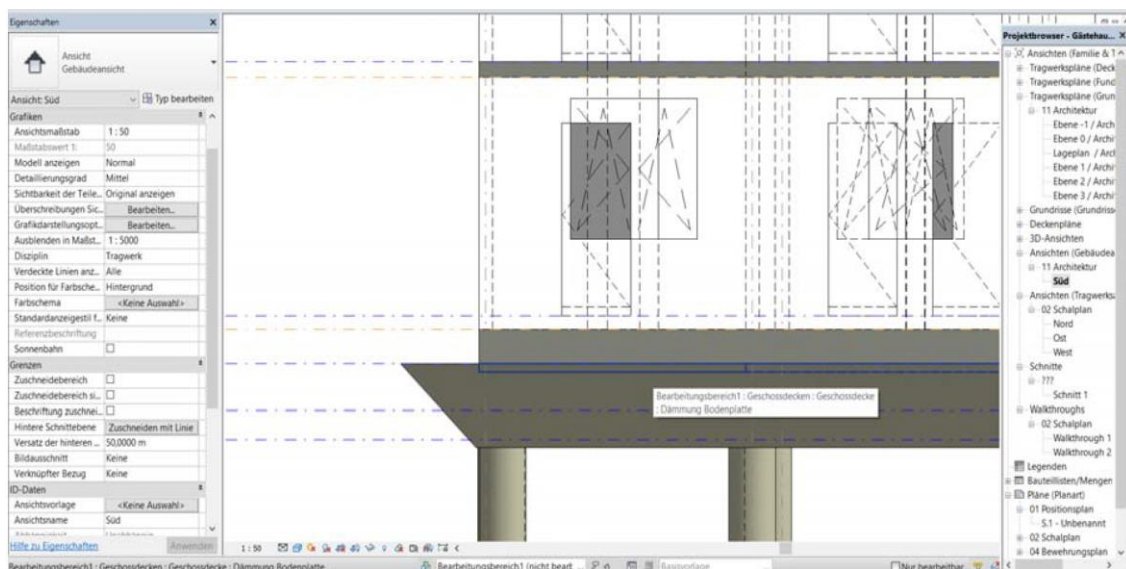


Abbildung 51: Modellnachbesserung: Verortung über Konstruktionsebenen (vgl. Bauhaus-Universität Weimar und Bargstädt 2018)

Abb. 52 zeigt den Außenwandaufbau, der zwar schichtweise dargestellt ist, aber die Komposition nicht korrekt abbildet [ekF19 Modellaufbau]. Die Baugruppe ist falsch zugeordnet [StB Kellerwand] und die Materialzuweisung der Einzelschichten und somit die Verhältnisbeziehung unvollständig.

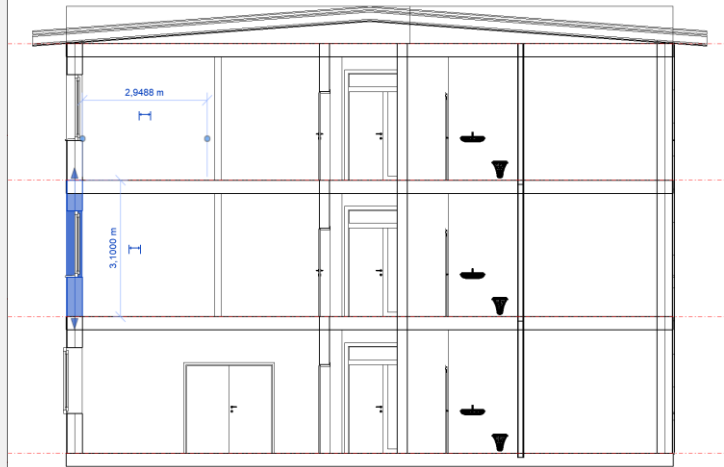
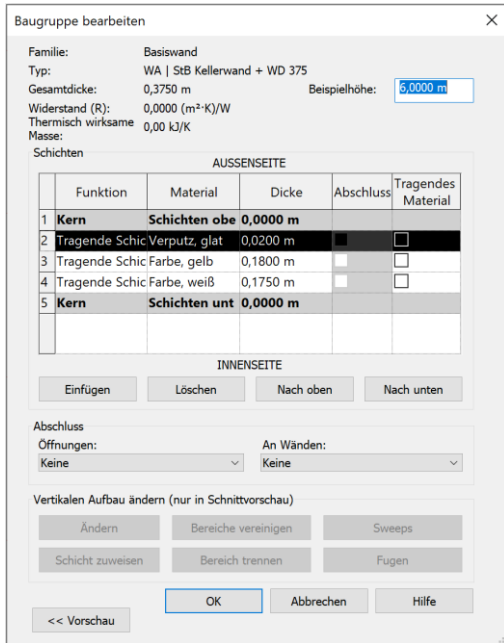


Abbildung 52: Mehrschichtiges Bauteil (Projektauswertung: Modellierungstagebuch)

Wird ein Bauteil nachträglich durch einen veränderten Schichtaufbau neu definiert, ist die Baugruppe zu bearbeiten. In diesem Fall wäre die Kernschicht als Mauerwerk mit 17,5 cm Stärke als übergeordnete Klasse zu definieren. Hinzu kämen die untergeordneten Klassen Wärmedämmung [18 cm] und Verputz [2 cm]. Die exemplarische Materialzuordnung der Kernschicht ist in Abb. 53 dargestellt.

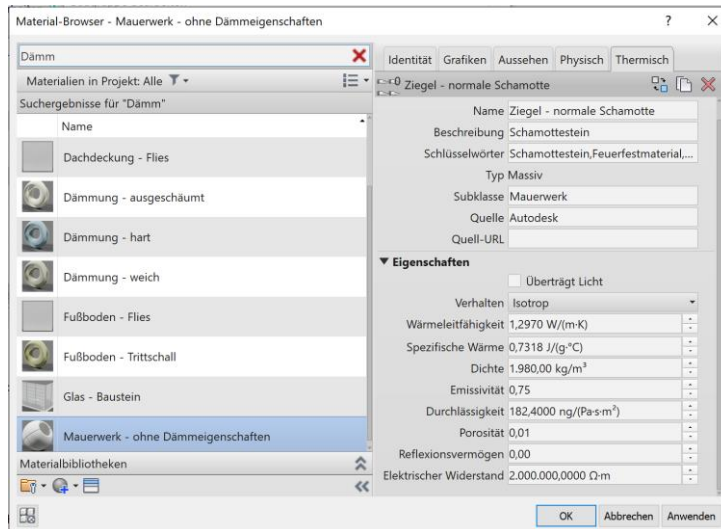


Abbildung 53: Kompositionszuordnung (Projektauswertung: Modellierungstagebuch)

## 9.2 Faktorenallokation im Strukturbereich Ablauforganisation

Für den Strukturbereich Ablauforganisation sind die Ergebnisse nur subsumiert dargestellt. Die häufigsten ekF dieses Strukturbereichs wurden im Informationsmanagement festgestellt [Abb. 54, grau hinterlegte Felder; Ergebnisse zur Häufigkeit s. Anhang 27].<sup>74</sup> Nur dieser Bereich wird in der Auswertung berücksichtigt.

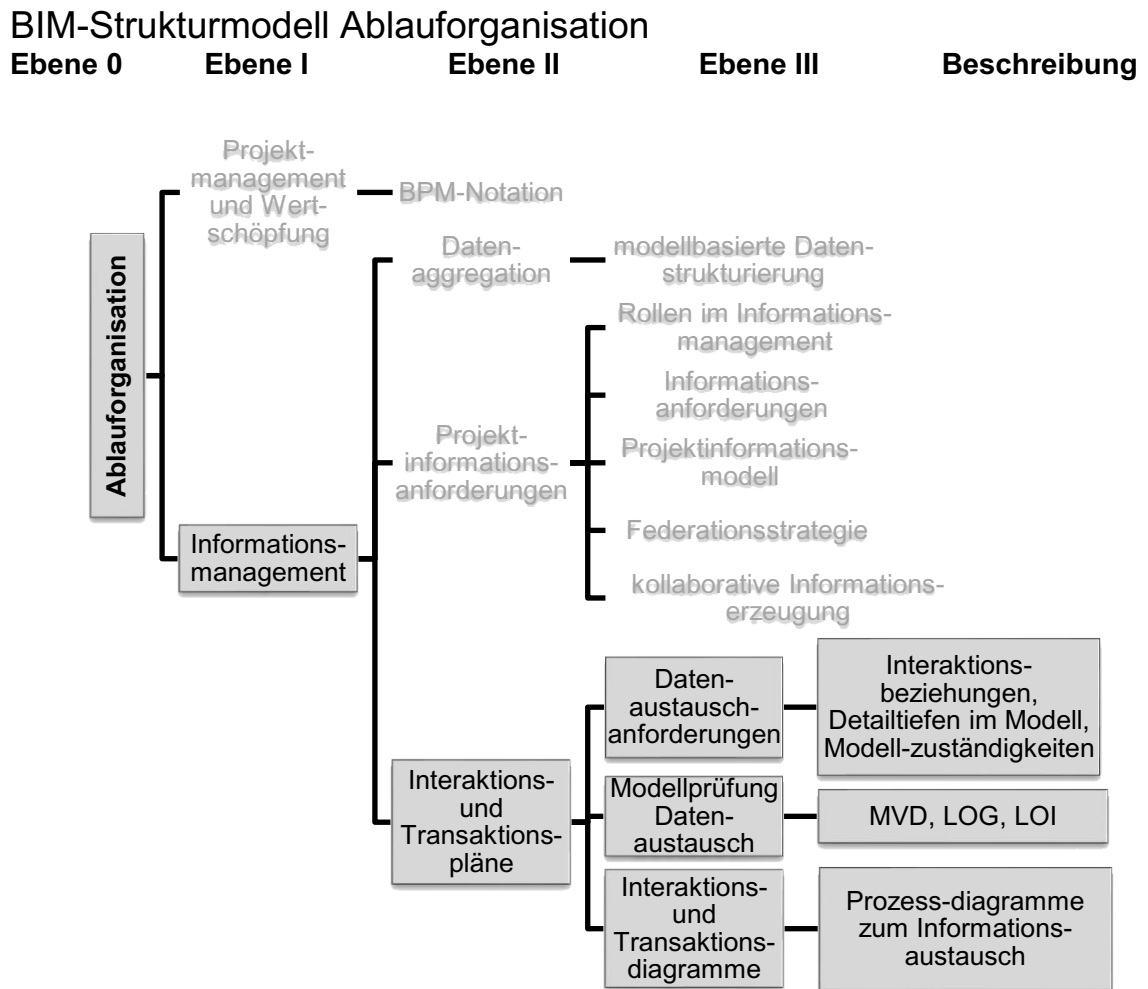


Abbildung 54: Strukturmodell Ablauforganisation

Die ekF-Auswirkungen in den Anwendungsfällen ist für die Bereiche Datenaustauschanforderungen und Modellprüfung zusammenfassend in Abb. 55 gezeigt. Betroffen von den ermittelten ekF<sup>75</sup> sind die AWF 21, 26, 38 und 4.<sup>76</sup>

<sup>74</sup> LOG [Level of Geometry]: Detailtiefe der Geometrie, LOI [Level of Information]: Detailtiefe der hinterlegten Informationen, MVD [Model View Definition]: Export von Teilmengen eines digitalen Modells: Erläuterung erfolgt in der Ergebnisauswertung, s. Anhang 30].

<sup>75</sup> ermittelte ekF: 29 Eindeutigkeit der Detaillierung, 32 Verortung und Dokumentation von Mängeln, 31 Planungsdetaillierung.

<sup>76</sup> **AWF 21 Baufortschrittskontrolle:** Modellnutzung für terminliche Baufortschrittskontrolle als Grundlage des Projekt-Controllings: Eintragung der Ist-Termine der Fertigstellung in Bezug auf terminlichen Soll-Zustand, farbliche Darstellung von Abweichungen; **AWF 26 Mängelmanagement:** Nutzung des Modells zur Verortung und Dokumentation von Ausführungsmängeln und deren Nachverfolgung und Behebung: Erfassung und

## ekF-Zuordnung im BIM-Strukturmodell

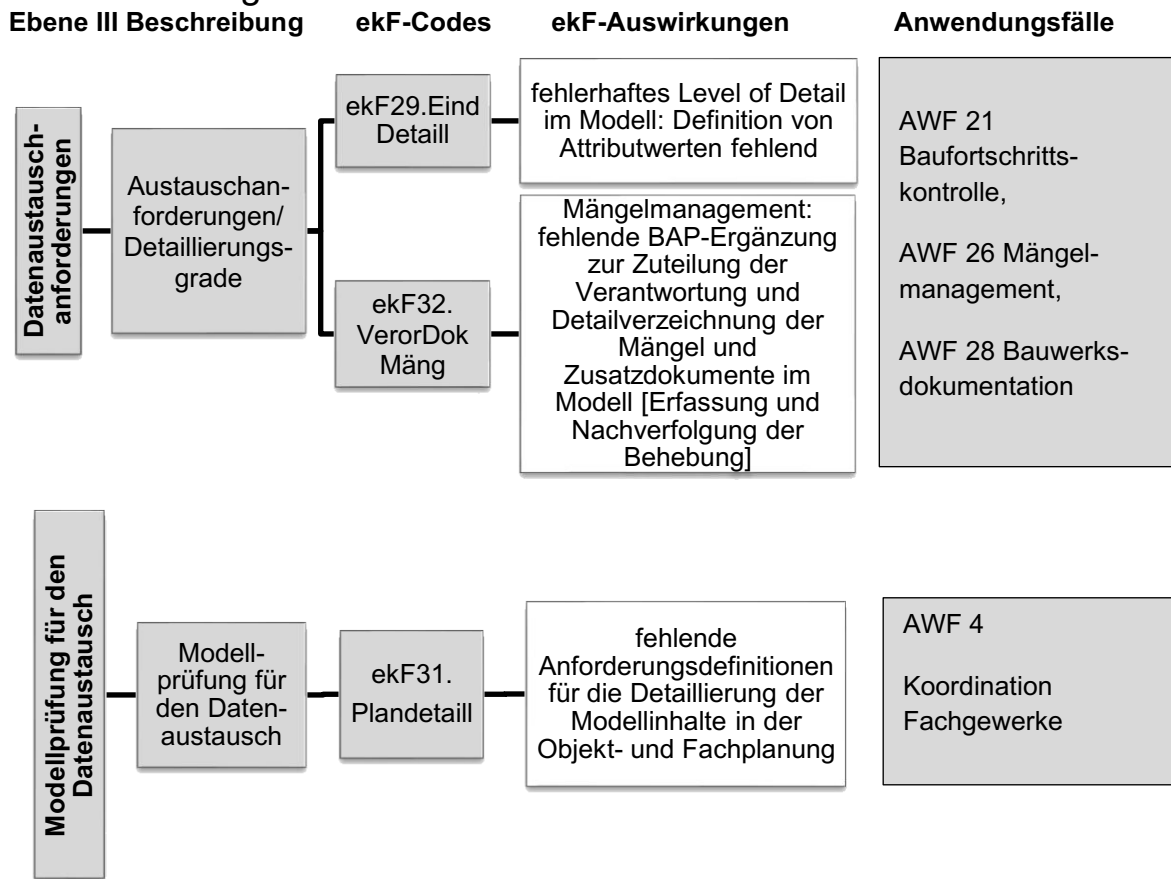


Abbildung 55: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Ablauforganisation

Die ekF-Auswirkungen<sup>77</sup> im Bereich Interaktions- und Transaktionsdiagramme wurden in den AWF 4 und 7<sup>78</sup> ermittelt und in Abb. 56 gezeigt.

Dokumentation auf Grundlage der Elemente im BIM-Modell auf geeigneter Plattform, Mängelerfassung und Einspeisung in Modell: vor Ort mit Endgeräten, Speicherung mit zugehörigen Fotografien und Angabe von Verortung und relevanter Vorgangsinformationen, Zuteilung der Verantwortlichkeiten zur Mängelbeseitigung;

**AWF 28 Bauwerksdokumentation:** Erstellung einer digitalen Bauwerksakte in Form des As-built-Modells, enthält detaillierte Informationen zur Ausführung, z.B. verwendete Materialien und Produkte sowie ggf. Verweise auf Prüfprotokolle und weitere Dokumente, As-built Modell wird auf Grundlage des Modells der Ausführungsplanung erstellt [Projektinformationsmodell];

**AWF 4 Koordination der Fachgewerke:** Bereitstellung des Objektplanungsmodells und Prüfung der Anforderungen in den Fachmodelle der Fachplaner [Vorstufe Kollisionsprüfung], parallele Detailplanung der verschiedenen Fachplaner.

<sup>77</sup> Ermittelte ekF: 39 Bauteilzuständigkeit, 3 Verwendung Transaktionsdiagramm.

<sup>78</sup> **AWF 4 Koordination der Fachgewerke:** Bereitstellung des Objektplanungsmodells und Prüfung der Anforderungen in den Fachmodelle der Fachplaner [Vorstufe Kollisionsprüfung], parallele Detailplanung der verschiedenen Fachplaner; **AWF 7: Fortschrittskontrolle der Planung:** Erstellung der einzelnen Fach- und Teilmodelle nach Planungsterminplan auf Basis gemeinsamer Projektanforderungen: Durchführung der Prüfläufe zur Planungsfreigabe, Prüfung von Planunterlagen und 3D-Modell auf Konformität mit AIA /nach Richtlinien.

### ekF-Zuordnung im BIM-Strukturmodell

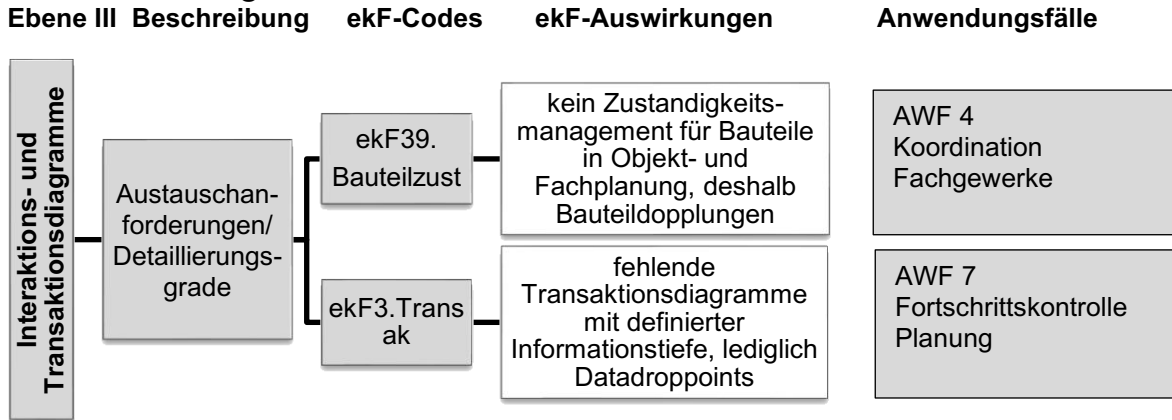


Abbildung 56: Ergänzende Allokation im Strukturbereich Ablauforganisation

Die detaillierten Ergebnisse zur Ablauforganisation, die anhand des Überprüfungsschemas dargestellt sind, sind dem Anhang 30 zu entnehmen.

### 9.3 Faktorenallokation im Strukturbereich Informationsressourcen

Für den Strukturbereich Informationsressourcen sind die Ergebnisse ebenfalls nur subsumiert dargestellt. Im Bereich generische Modellelemente wurden am häufigsten ekF festgestellt, weshalb nur dieser Bereich in den Ergebnissen festgehalten ist. [Abb. 57, grau hinterlegte Felder; Ergebnisse zur Häufigkeit s. Anhang 27].

#### BIM-Strukturmodell Informationsressourcen

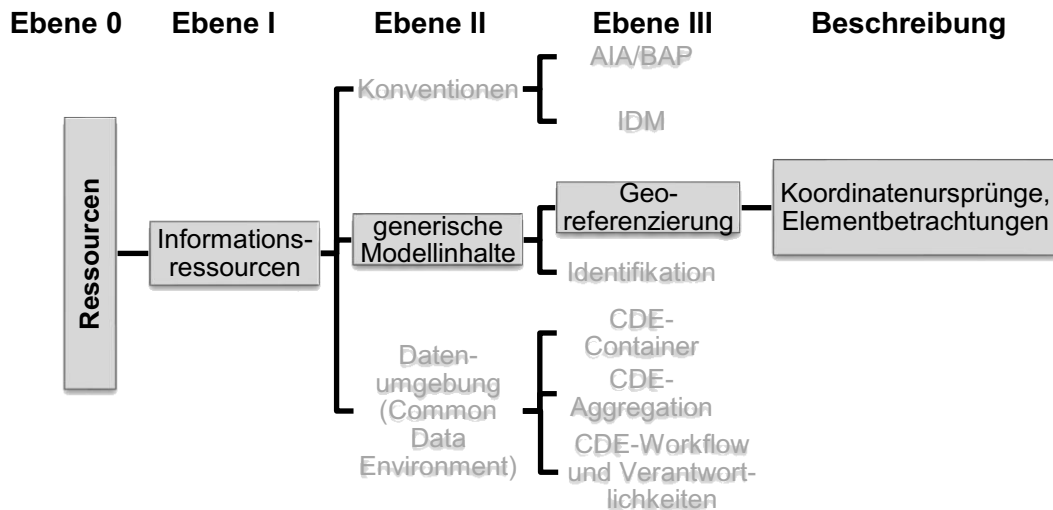


Abbildung 57: Strukturmodell Informationsressourcen

Die Zusammenfassung der Ergebnisse sind in Abb. 58 gezeigt. Die ermittelten ekF<sup>79</sup> im Bereich generische Modellinhalte<sup>80</sup> sind im AWF 6<sup>81</sup> aufgetreten.

### ekF-Zuordnung im BIM-Strukturmodell

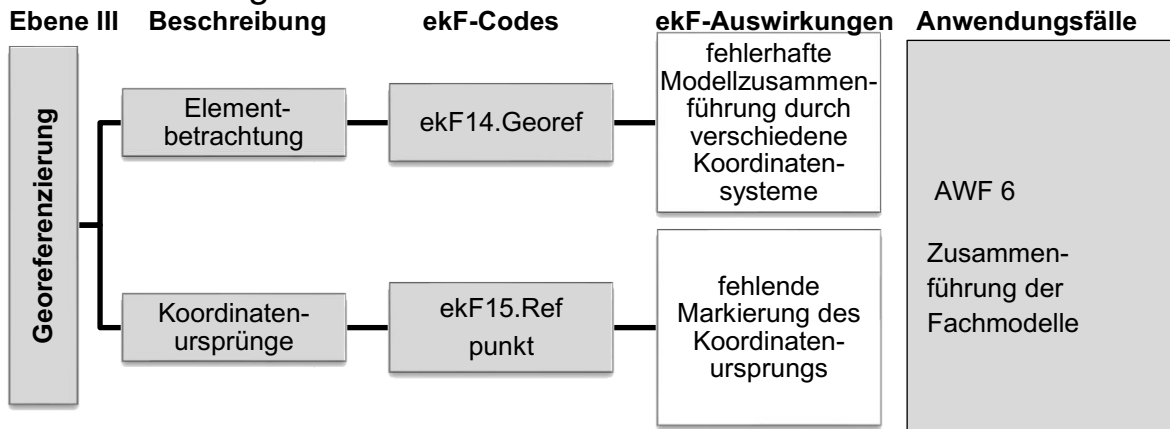


Abbildung 58: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Informationsressourcen

Die detaillierten Ergebnisse zu den Informationsressourcen, die anhand des Überprüfungsschemas dargestellt sind, sind dem Anhang 31 zu entnehmen.

### 9.4 Faktorenallokation im Strukturbereich Technologie

Im Strukturbereich Technologie wird exemplarisch der Bereich Dateiformate/Austauschformate erläutert [Abb. 59, grau hinterlegte Felder]. In diesen Bereichen traten am häufigsten ekF auf [s. Anhang 27].

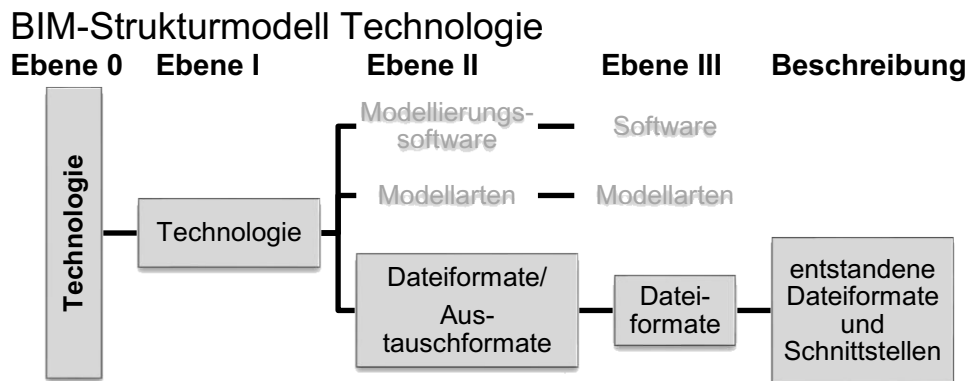


Abbildung 59: Strukturmodell Technologie

<sup>79</sup> Ermittelte ekF: 14 Georeferenzierung, 15 Referenzpunkt.

<sup>80</sup> Generische Modellinhalte beziehen sich auf automatisiert und nicht-automatisiert erstellte Modellinformationen, die erzeugt werden müssen, um Objekte und Positionen im Modell eindeutig identifizieren zu können. Dies ist unabhängig von Datenaustauschscenarien zu beachten und bezieht sich auf (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08, S. 20):

a) den Klassifikationsschlüssel [nicht-automatisiert], der AG-seitig festgelegt ist und die Bauteilklassifikation [zu Klassen: wie Attribute in Kap 9.1],

b) eine automatisch erzeugte GUID [Globally Unique Identifier], die jedes Modellobjekt unverwechselbar identifiziert. Eine Zeichenkette wird für Objekte während deren Modellierung automatisch erzeugt; zum Projektabschluss ist jedes Objekt mit einer GUID versehen.

<sup>81</sup> **AWF 6 Zusammenführung der Fachmodelle** in einem einheitlichen geodätischen Bezugssystem und die Festlegung zur gemeinsamen Datenumgebung und Steuerung des Koordinationsprozesses sowie Anforderungsdefinition für Modellinhalte.

Die Datenaustauschbedingungen sind abhängig von der im Bauprojekt verfolgten BIM-Strategie [Open BIM: Dateiaustausch mit nicht-proprietären Formaten; Closed BIM: Dateiaustausch mit proprietären Dateiformaten] (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08, S. 4). Abb. 60 zeigt das Vorkommen von Austauschformaten in den evaluierten Projekten.

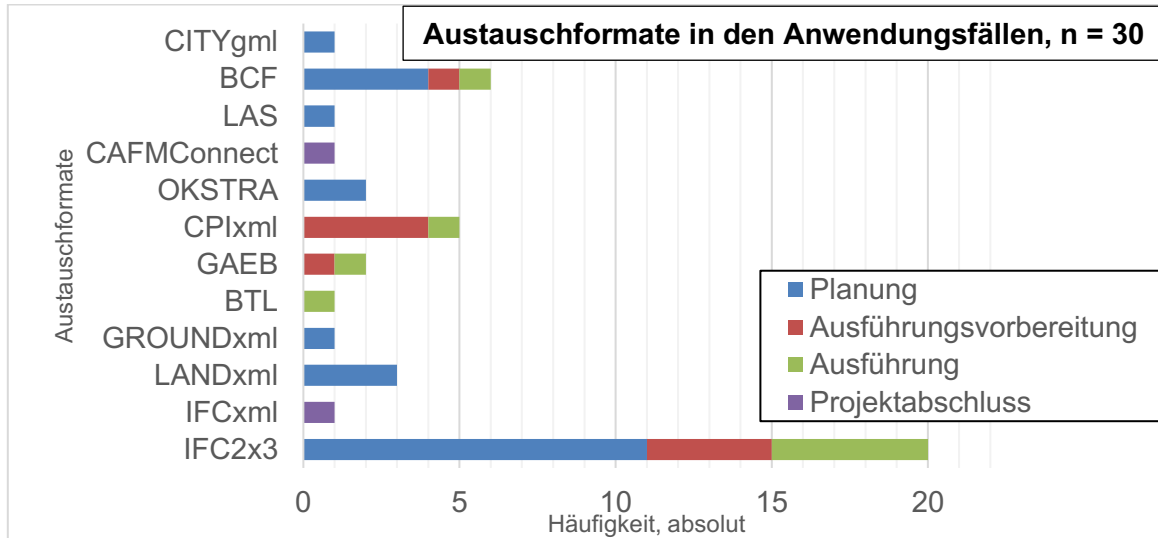


Abbildung 60: Häufigkeitsausprägung der Austauschformate

In 30 Anwendungsfällen ist das IFC2x3-EXPRESS-Format das Austauschformat mit dem häufigsten Vorkommen. Daran schließen sich das cpiXML und das BCF-Format an.<sup>82</sup> Besonders in der Planungsphase ist die Entstehung vielfältiger Dateiformate in den Bauprojekten erkennbar. Die übrigen ermittelten Formate aus Abb. 60 sind im Anhang 32 erläutert. Die ekF-Erfassung im Strukturbereich Technologie erfolgt nur für die Primärformate IFC2x3 und cpiXML, da in diesen Bereichen die häufigsten erfolgskritischen Auswirkungen zu ermitteln waren.

Exemplarisch werden hier die ekF38 IFC-Entitäten, 26 Plausibilisierung, 5 Bemusterung und 13 LV-Verknüpfung erläutert [Abb. 61, grau hinterlegt]<sup>83</sup>. Die übrigen ekF der Abb. 61 sind im Anhang 33 anhand des Überprüfungschemas dargestellt.

<sup>82</sup> Abkürzungen: IFC [Industry Foundation Classes], cpiXML [Construction Process Integration; Extensible Markup Language].

<sup>83</sup> **AWF 19 Erstellung Produktionsmodell:** das Produktionsmodell ist das Planungsmodell, erweitert um die terminlichen Ausführungsplanungen der Fachgewerke, Erstellung von 2D-Ansichten aus BIM-Modell Ableitung der Ausführungspläne; **AWF 23 Abrechnung von Bauleistungen:** modellbasierte Abrechnung von Zwischenständen oder dem Endzustand: Plausibilisierung der in Rechnung gestellten Bauleistungen anhand des hinterlegten Baufortschritts; **AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung:** mit Leistungsverzeichnis-Verknüpfung [attributorientiert, objektorientiert: bauausführende Unternehmen].

## ekF-Zuordnung im BIM-Strukturmodell

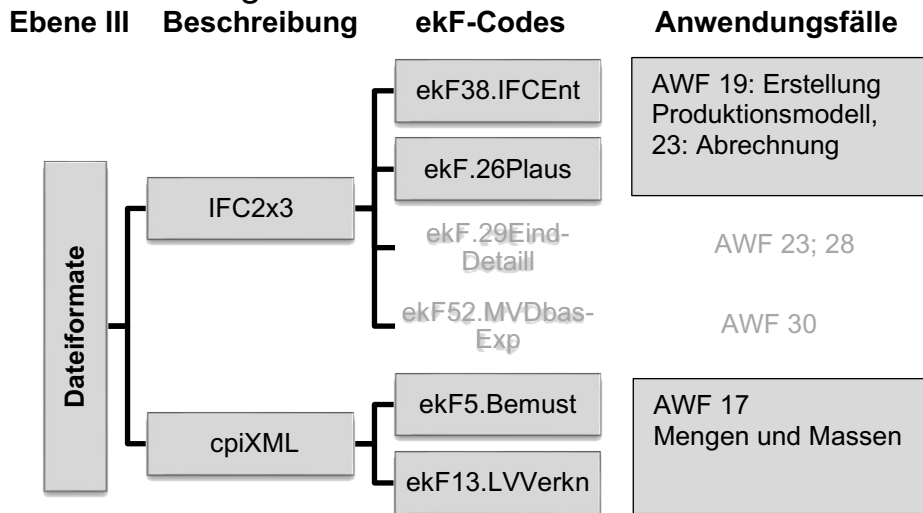


Abbildung 61: Exemplarische ekF-Allokation im Strukturbereich Technologie

Das Nachfolger-IFC-Format [IFC4] ist seit September 2019 über die DIN 16739-1:2019-09 definiert, erhält aber in Ermangelung der Anwendung in den Modellprojekten keine detaillierte Definition.<sup>84</sup>

### 1. IFC2x3

In 20 von 30 Anwendungsfällen erfolgte der Informationsaustausch im IFC2x3-Format [Anhang 32: Modellarten und AWF mit IFC2x3 als Austauschformat]. Entsprechend dem objektorientierten Ansatz ist das Modell als ifcEXPRESS in Klassen aufgeteilt, die als Entitäten bezeichnet werden. Attribute können an Subklassen via Vererbung weitergegeben werden.<sup>85</sup> Assoziationen zwischen Objekten verschiedener Entitäten sind definiert, indem eine Klasse ein Attribut der anderen Klasse aufweist. Ausgehend von der Entität ifcElement<sup>86</sup> sind Informationslücken im nicht-proprietären Datenaustausch der Anwendungsfälle aufgetreten. Für die Elementgruppen ist in den vorliegenden IFC-Dateien der Bereich ifcRelationship mit ifcRelAssociates [ifcRelationshipAssociates] von Bedeutung. Ergänzungen zu ifcRelDefines [ifcRelationshipDefines] sind im Anhang 33 erläutert. Erfolgskritische Faktoren sind in beiden Entitäten ermittelt worden [Abb. 62, grau hinterlegte Felder].

<sup>84</sup> Im Unterschied zum Format IFC2x3 weist IFC4 im Besonderen die Maschinenlesbarkeit verschiedener MVD [über mvdXML] auf, was eine automatische und vielfältige Überprüfbarkeit auf Teilinformationsexporte ermöglicht. Weiterhin unterstützt es das BCF, um das Kollisionsmanagement zu integrieren. Durch diese inkludierten Leistungen kann sich die Formatvielfalt zukünftig weiter reduzieren (vgl. Baldwin 2019, S. 85–86).

<sup>85</sup> Die Erläuterung der IFC-Hierarchie und der Vererbung beinhaltet zur Vollständigkeit der Anhang 35.

<sup>86</sup> ifcElement: Superklasse, die Bauteilklassen in Subklassen als ifcBuildingElement unter sich vereint (vgl. Borrmann et al. 2015a, S. 92.)



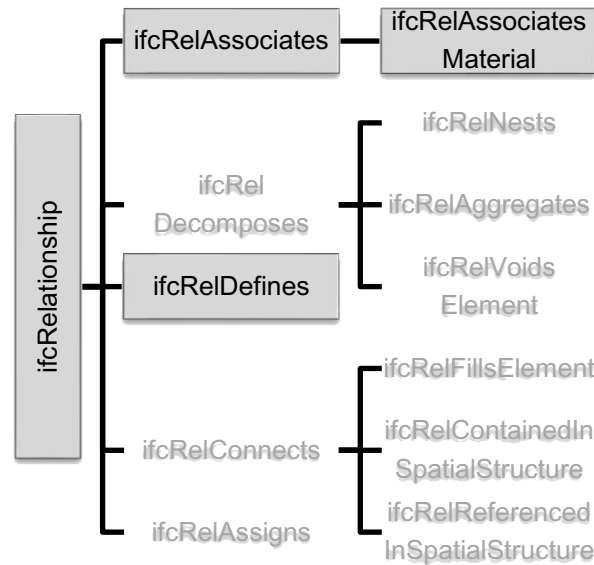


Abbildung 62: Übersicht ekF-wirksame Teilbereiche semantischer Objektbeziehungen

Die definierte Beziehung ifcRelAssociates lässt Teil-Ganzes-Verbindungen zwischen Objekten zu. Die Beziehungsdefinition Relationship ermöglicht die Beziehungsdarstellung zwischen Subklassen der ifcElement in Form eines gesonderten Objekts (vgl. Borrmann et al. 2015a, S. 93). Es sind ekF evaluiert worden, die im Sinne der semantischen Objektbeziehungen ifcRelAssociates [Materialzuweisung] und IfcRelDefines [PropertySet: Eigenschaftsset] fehlende Informationen für Datenaustauschbeziehungen über das IFC-Format im Bauprojekt hervorrufen [Abb. 63]. Die ekF im Bereich ifcRelAssociates sind an dieser Stelle exemplarisch beschrieben.

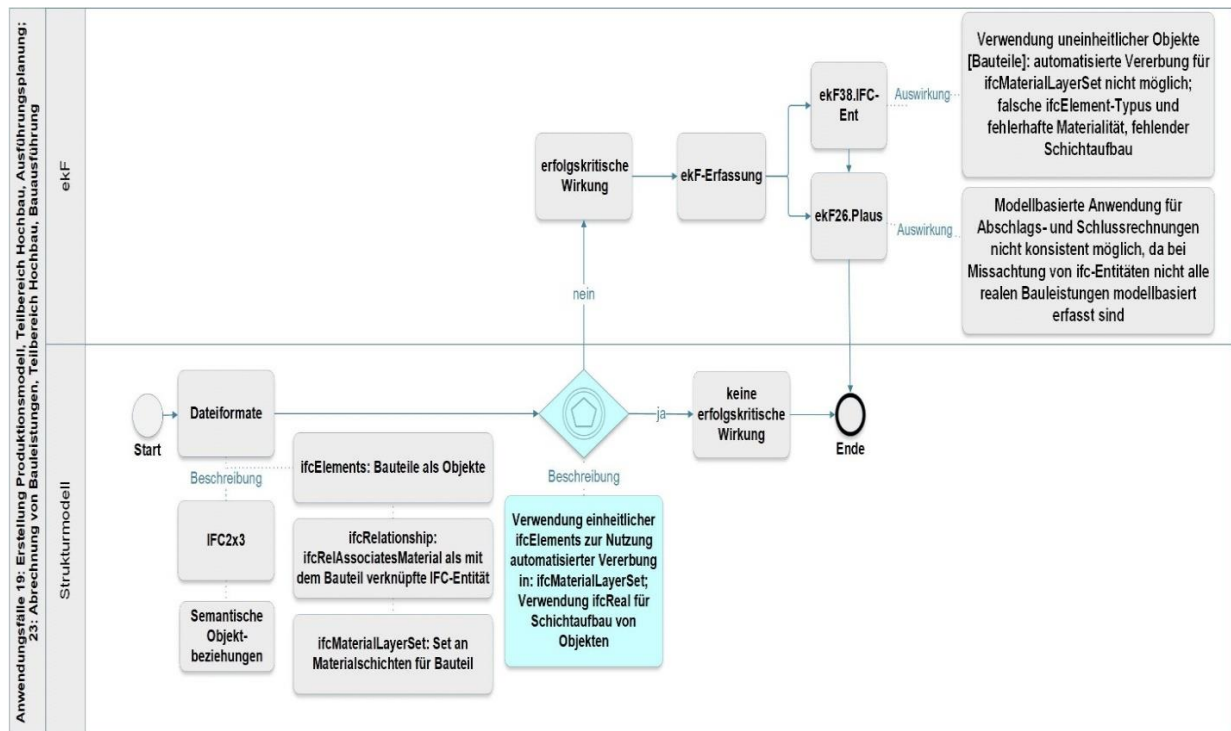


Abbildung 63: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 19,23

In den Anwendungsfällen 19 Produktionsmodell und 23 Abrechnung von Bauleistungen im Teilbereich Hochbau treten die ekF38 IFC-Entitäten und ekF26 Plausibilisierung auf.<sup>87</sup> Für die Nutzung von Planungsmodellen in der Bauausführung ist das Entwurfsmodell als IFC für den Generalunternehmer als Informationsnutzer verfügbar.<sup>88</sup> Für die durchgängige Informationsverwendung bedarf es einer Mindestmenge an Informationsinhalten, die der IFC-Standardaufbau vorgibt und entsprechend der Standardisierung nach VDI 2552 Blatt 4 ein LOD von 300 und 400 vorsieht.<sup>89</sup>

Die Übersetzung der Informationsanforderungen in das IFC-Format befindet sich entsprechend dem Datenschema im Bereich ifcRelAssociates für den Teilbereich Material. Abb. 64 stellt die für die im Modellprojekt aufgetretenen, ekF-wirksamen ifcBuildingElements: ifcWall [Außenwände] und ifcSlab [Bodenplatte mit Perimeterdämmung gegen Erdreich] dar.

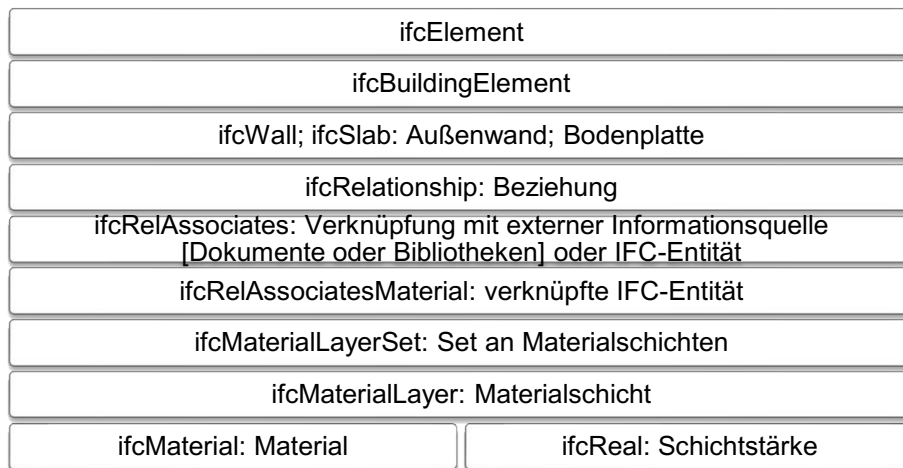


Abbildung 64: Informationsinhalte Teilbereich Material [ifcRelAssociates] (Borrmann et al. 2015a, S. 98)

Aufgrund der Verwendung nicht einheitlicher Bauteile in der Erstellung des Objektplanungsmodells konnten die automatisierten Vorteile der Vererbung für das ifcMaterialLayerSet nicht durchgängig genutzt werden [ekF38. IFC Entität]. Zusätzlich

<sup>87</sup> **AWF 19 Erstellung Produktionsmodell:** das Produktionsmodell ist das Planungsmodell, erweitert um die terminlichen Ausführungsplanungen der Fachgewerke, Erstellung von 2D-Ansichten aus BIM-Modell Ableitung der Ausführungspläne [vgl. zu AWF 8: Pläne haben hier einen höheren Informationsgehalt, weil erhöhter Ausarbeitungsgrad des Modells vorliegt]; **AWF 23 Abrechnung von Bauleistungen:** modellbasierte Abrechnung von Zwischenständen oder dem Endzustand: Plausibilisierung der in Rechnung gestellten Bauleistungen anhand des hinterlegten Baufortschritts.

<sup>88</sup> Es wird genutzt für: Listenerzeugung für Anfragen und Bestellungen; Werk- und Montageplanungen; Dokumentationen des Bauablaufs; Zustandsbeschreibungen zur Baufortschrittskontrolle.

<sup>89</sup> **Informationsanforderungen für AWF 19 und 23: Ausführungsplanung LOD 300:** Die Modellelemente sind geometrisch präzise repräsentiert und enthalten neben generischen Informationen auch Informationen zur Konstruktion, zum Material, die die Grundlage für quantitative Bewertungen und für die Bildung von Leistungspositionen bieten; Parametrisierung der Einbauteile: Stromaufnahme, Gewichte der Einbauteile, Fundamentangaben, Datenpunkte im Bauwerk, Abdichtungen des Bauwerks; **Ausführung LOD 400:** Modellelemente sind geometrisch repräsentiert, durch ein detailliertes Objekt in Bezug auf Größe, Abmessungen, Form, Position und Orientierung sowie Informationen zu Herstellung, Zusammenbau und Installation, Architekturmodell: es beinhaltet alle Parameter und Informationen, die für die Montage benötigt werden, freizuhaltende Montageflächen sind zu modellieren (vgl. VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08, Anhang B, S. 54).

angelegte ifcWalls, die im Sinne der Vererbung MaterialLayerSets übernahmen, wurden für die Geschossebenen generalisiert verwendet.<sup>90</sup> Demzufolge wies der IFC-Export einen gleichförmigen Außenwandaufbau auf und führte gleichwohl die Bezeichnung Stahlbeton Kellerwand für alle Geschossebenen fort [Abb. 65]. Dementsprechend bestehen eine andere Materialität und ein falsch zugeordneter Wandtypus.

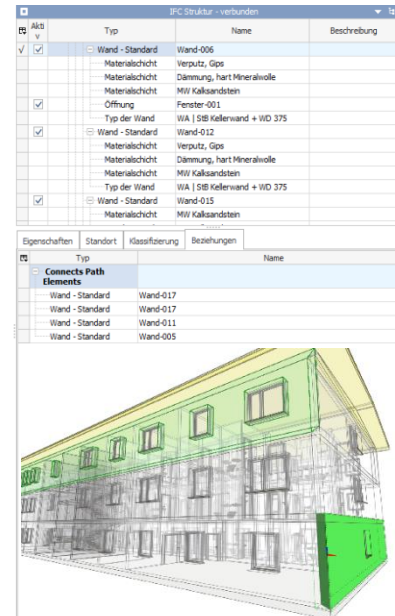


Abbildung 65: ifcRelAssociates in der Vererbung [ifcMaterialLayerSet für ifcWall] (Projektauswertung: Modellierungstagebuch)

Die Bodenplatte [Decke-001], die nach DIN 4108-10:2021-02 über eine Perimeterdämmung<sup>91</sup> gegen das Erdreich verfügen müsste, weist kein ifcMaterialLayerSet, sondern nur die Kernschicht auf. Die 10 cm starke Dämmschicht sollte für die Übergabe des Entwurfsplanungsmodells in die Phasen der Ausführungsplanung und der Bauausführung in der IFC-Struktur enthalten sein [Abb. 66]. Das ist speziell für Massen- und Mengenermittlung sowie für die Verwendung des Produktionsmodells und die modellbasierte Abrechnung bedeutsam [ekF26 Plausibilisierung].

<sup>90</sup> MaterialLayerSets: Mauerwerk Kalksandstein; Dämmung: hart Mineralwolle; Verputz.

<sup>91</sup> Ausführung der Perimeterdämmung: anwendungsbezogene Anforderungen: Perimeterdämmung: außenliegende Wärmedämmung unter Bodenplatte, gegen Erdreich (vgl. DIN 4108-10:2021-02, S. 8). Leistungsverzeichnisposition für KG 523 Gründungsbeläge (vgl. DIN 276:2018-12, S. 29) Dämmschicht für Bodenplatte: liefern und verlegen einer lastabtragenden Perimeterdämmung. Stärke 10 cm, Wärmeleitfähigkeit ≤ 040 WLG, maximale Bodenpressung: ca. 160kN/m2 = 160 kPa mit Stufenfalz, frei von FCKW, HFCKW und HFKW sowie sonstigen klimaschädigenden Treibgasen, normal entflammbar, Euroklasse E (vgl. DIN EN 13501-1:2019-05, S. 24.).

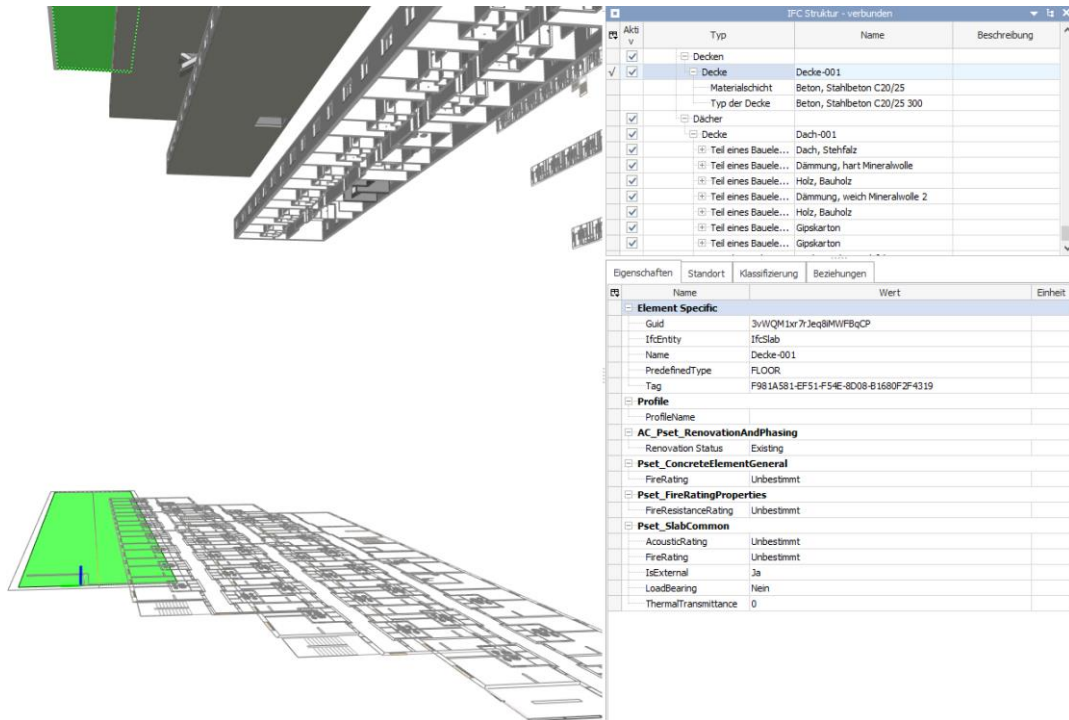


Abbildung 66: ifcRelAssociates in der Vererbung [ifcMaterialLayerSet für ifcSlab] (Projektauswertung: Modellierungstagebuch)

## 2. cpiXML

Importierte Modelle auf IFC- oder nativer Datenformatbasis werden auf die Datenqualität geprüft. Das geschieht in Vorbereitung auf die modellbasierten Mengen- und Massenermittlung sowie Bemusterung des Leistungsverzeichnisses im CPI-Exporter.<sup>92</sup> Die Prüfung im CPI-Exporter dient der Vorbereitung auf die Anwendung der Quantity-Take-off-Formel [QTO] zur Mengen- und Massenermittlung auf Basis einer importierten IFC-Datei.<sup>93</sup> Die Ausstattungspositionen des Leistungsverzeichnisses entstammen der Verknüpfung mit Auswahlgruppen des IFC-Modells, die gleichartige Bauteile enthalten und bedürfen einer realitätsgetreuen Mengenzuordnung. Entsprechend ist die importierte IFC-Datenqualität entscheidend. Im AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung im Teilbereich Hochbau sind die ekF5 Bemusterung und ekF13 LV-Verknüpfung erfasst worden [Abb. 67].<sup>94</sup>

<sup>92</sup> **CPI-Prüfungsmethoden:** 1. **Schnittprüfung:** Überprüfung auf sich schneidende Einzelbauteile und Bauteilpaare [Schnittflächenvermeidung zur korrekten Volumenermittlung], 2. **Geometrieprüfung:** Prüfung auf geschlossene Bauteilgeometrie, 3. **Attributprüfung:** Überprüfung auf gleichnamige Attribute mit verschiedenen Attributwerten [zur eindeutigen Attributidentifizierung; vgl. Abb. 41 Attribute im Objekt- und Klassendiagramm] (vgl. Strotmann 2018, 28-34).

<sup>93</sup> Die QTO-Abfrage ermittelt die Informationen aus dem IFC-Modell entsprechend den attributorientierten ifcPropertyType und ifcQuantity.

<sup>94</sup> **AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung:** mit Leistungsverzeichnis-Verknüpfung [attributorientiert, objektorientiert: bauausführende Unternehmen].

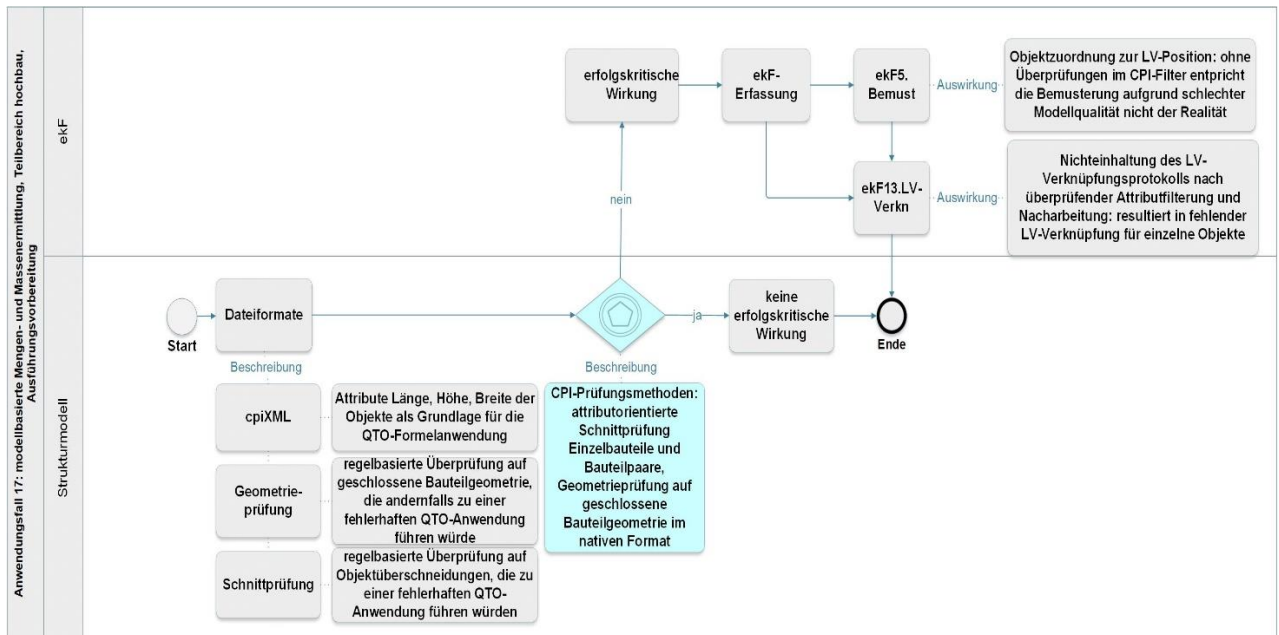


Abbildung 67: Überprüfungsschema Technologie: ekF-Erfassung: AWF 17

Es wird deutlich, dass durch verschnittene Bauteile und nicht geschlossene Bauteilgeometrien eine realitätsgetreue Verknüpfung der Bauteile mit den Positionen des Leistungsverzeichnisses nicht vorgenommen werden konnte. Die QTO-Formelanwendung liefert bei fehlerhaften Verschneidungen und Bauteilgeometrien keine korrekten Ergebnisse. Die Ergebnisse dieser Schnitt- und Geometrieprüfung sind im Anhang 34 einsehbar.

Im Anschluss an die exemplarische Betrachtung der vier Strukturbereiche Aufbau- und Ablauforganisation, Informationsressourcen und Technologie werden AWF mit mehrfachen ekF-Ausprägungen inhaltlich verglichen.

## 10. Risikoverortung

### 10.1 Faktorenaggregation

Die Faktorenaggregation ist die Zusammenfassung der einzelnen ekF-Betrachtungen. Durch die Erstellung einer Näherungsmatrix lassen sich die Anwendungsfälle inhaltlich auf ähnliche ekF-Vorkommen vergleichen. Dazu wird die Faktorenkollektion unter Anwendung des Jaccard-Koeffizienten paarweise verglichen [Abb. 68].

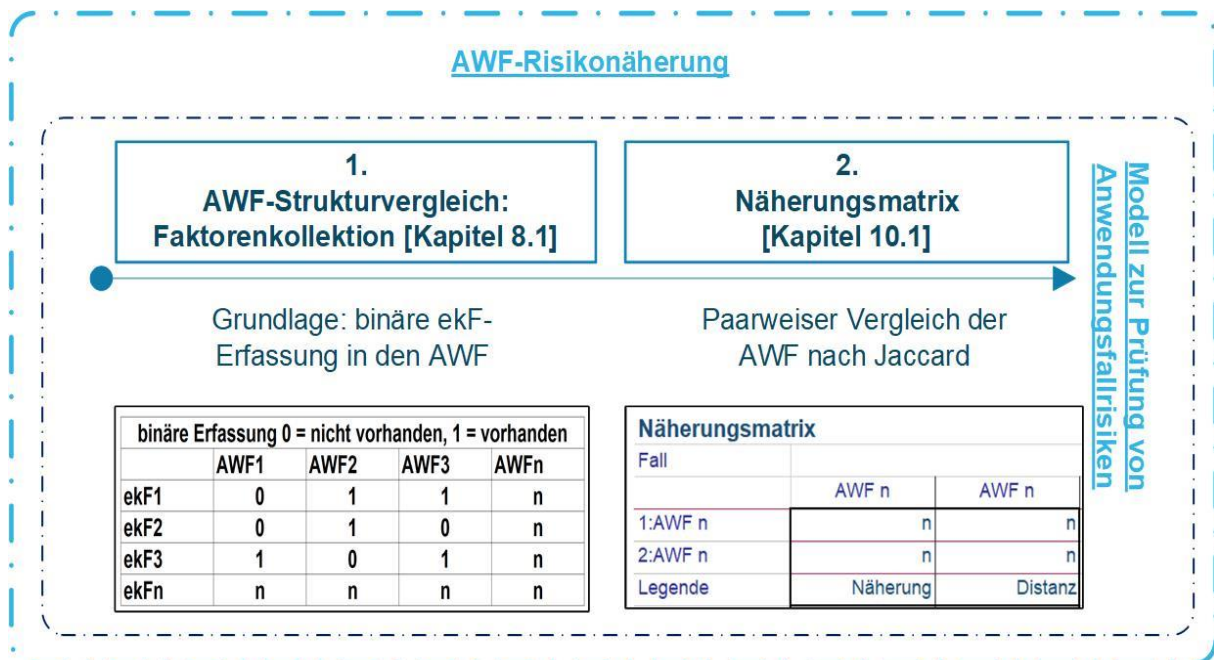


Abbildung 68: Risikonäherung schematisch

Die Grundlage der binären Erfassung ergibt sich aus der Faktorenkollektion im Kapitel 8.1 in der Abb. 40.<sup>95</sup>

Der Koeffizient ermittelt eine Verlinkung zwischen den Anwendungsfällen, um Ähnlichkeiten in den Arten der kritischen Faktoren für AWF im höheren Risikobereich feststellen zu können. Die entstehende Näherungsmatrix ergibt sich durch eine binäre Variablenstruktur im nominalen Skalenniveau. In diesem Fall ist zwischen den binären Eigenschaften ekF vorhanden [Wert: 1] und ekF nicht vorhanden [Wert: 0] zu unterscheiden. Der Koeffizient misst den relativen Anteil gemeinsamer Eigenschaften in den verschiedenen BIM-Anwendungsfällen. Die Gemeinsamkeiten beziehen sich auf die Variablen [ekF], die einen Wert nah an 1 in der Gegenüberstellung aufweisen (vgl. Backhaus et al. 2016, S. 460). Der Koeffizient wird über die Größe der Schnittmenge geteilt durch die Größe der Vereinigungsmenge berechnet. Die Formel des Jaccard-Koeffizienten ist wie folgt:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

<sup>95</sup> Die dort im Ausschnitt dargestellte Tabelle ist im Anhang 25 ganzheitlich dargestellt.

Im paarweisen Vergleich werden Anwendungsfälle mit vergleichsweise vielen ekF-Einwirkungen einbezogen.<sup>96</sup> Tabelle 19 zeigt die Näherungsmatrix. Die höchsten Ähnlichkeiten und Distanzen sind markiert.

<b>Näherungsmatrix</b>					
AWF-Nr.	Ähnlichkeitsmaß nach Jaccard				
	AWF 4	AWF 6	AWF 17	AWF 19	AWF 30
AWF 4	1,000				
AWF 6	0,167	1,000			
AWF 17	0,143	0,077	1,000		
AWF 19	0,067	0,167	0,143	1,000	
AWF 30	0,111	0,059	0,176	0,053	1,000
Legende	Distanz	Näherung			

Tabelle 19: Näherungsmatrix nach Jaccard

Die ekF in AWF mit mehrfacher ekF-Ausprägung erscheinen heterogen. Größte Übereinstimmungen liegen zwischen AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung und AWF 30 FM-Attribuierung. Die Übereinstimmung der aufgetretenen ekF liegt allerdings nur bei 17 %. Die größten Distanzen bestehen zwischen dem AWF 19 Erstellung Produktionsmodell und AWF 30 FM-Attribuierung [weniger als 1 % ekF-Übereinstimmung]. Das lässt schlussfolgern, dass es im Besonderen für die AWF mit erhöhtem Risiko sinnvoll ist, eine Visualisierung als weiteres Instrument der Risikosensibilisierung vorzunehmen.

## 10.2 Exemplarische BPMN-Darstellung

Die BPMN-Darstellung zielt einerseits auf die Sensibilisierung für häufig auftretende ekF ab, die den digitalen Projekterfolg mindern und andererseits auf die Vermittlung von Kenntnissen über sequenzielle AWF-Abläufe. In diesen Übersichten werden die evaluierten Risiken aus den Kapiteln 7 – 9 in einer Workflowdarstellung je Anwendungsfall aufbereitet. Daraus entsteht ein anwendbares Instrument für KMU in der BIM-Erstanwendung. Die visuelle Darstellung der Zusammenhänge zwischen AWF, Strukturbereichen im BIM-Bauprojekt und ekF sind überblicksartig aufbereitet. Abb. 69 erläutert die Methode zur Ableitung der BPMN-Darstellungen aus den Ergebnissen der Kapitel 7 bis 9.

<sup>96</sup> Wie in Kapitel 8.1 erläutert, betrifft das folgende AWF, bei denen 8 bis 13 kritische Faktoren ermittelbar waren [kumuliert, Einbezug aller Modellprojekte, gem. Tab. 18, Kapitel 7.2] :

- AWF 4: Koordination der Fachgewerke,
- AWF 6: Verwendung eines Koordinationsmodells,
- AWF 17: modellbasierte Mengen- und Massenermittlung in der Ausführungsvorbereitung,
- AWF 19: Erstellung eines Produktionsmodells,
- AWF 30: Herleitung und Erstellung der FM-Attribuierung.

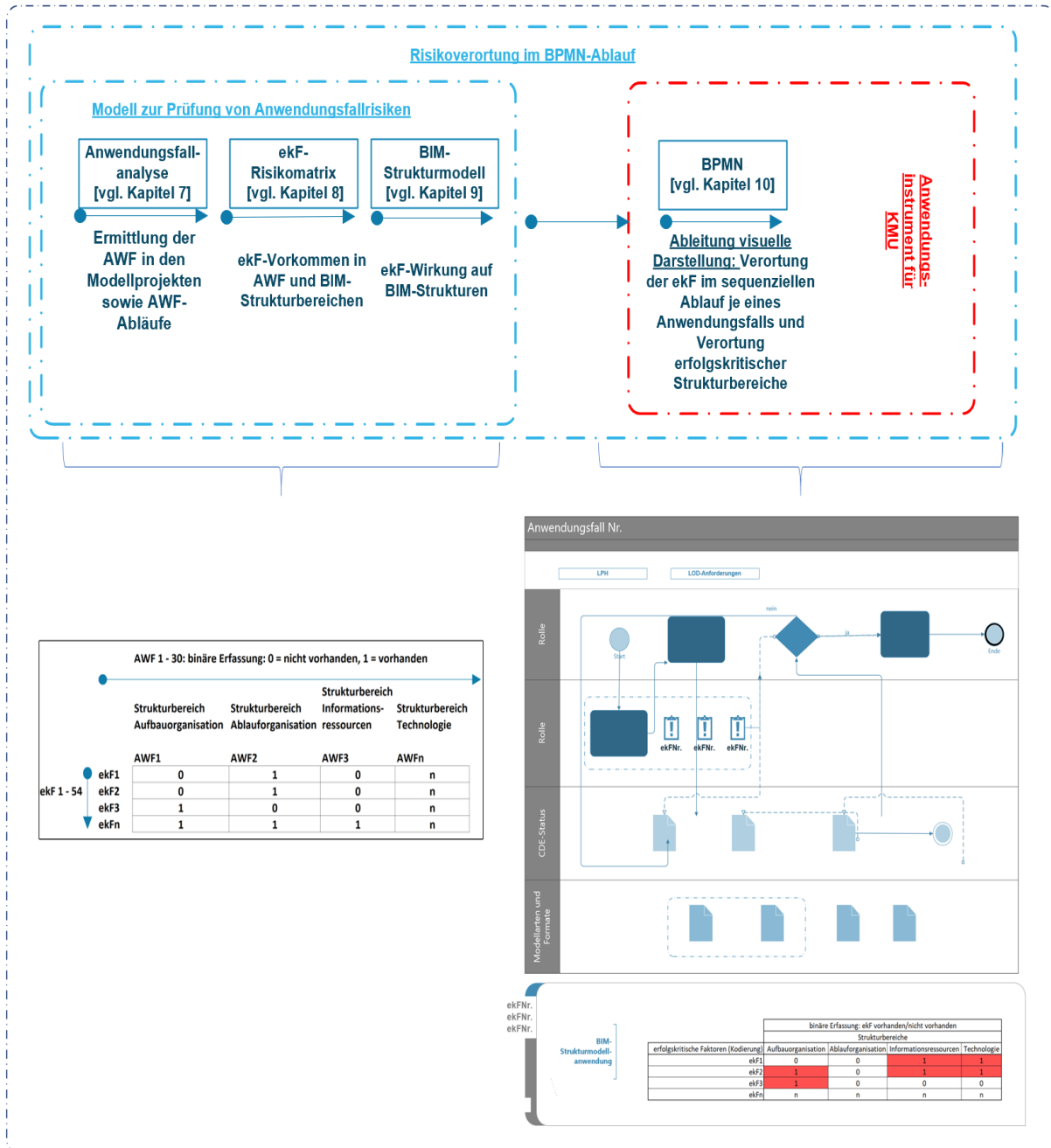


Abbildung 69: Schaubild BPMN-Ableitung

In Abb. 70 wird exemplarisch ein BPMN-Ablauf abgebildet. Dargestellt ist der AWF 19 Erstellung des Produktionsmodells. In der Workflow-Übersicht sind die ekF in den Sequenzflüssen und nachrichtlichen Flüssen gekennzeichnet. Der Sequenzfluss zeigt die einzelnen Aktivitäten im AWF, der nachrichtliche Fluss zeigt die Informationswege. Ebenfalls sind die kritischen Strukturbereiche des jeweiligen AWF in der Risikomatrix angefügt. Dadurch wird der Bezug zur BIM-Projektstruktur aufgezeigt. Eine BPMN-Darstellung mit



Risikoverortung kann eine sinnvolle Ergänzung der Informationsaustausch-Statuten darstellen.<sup>97</sup> Die Bedeutung der BPMN-Symbolik ist Tabelle 20 zu entnehmen.











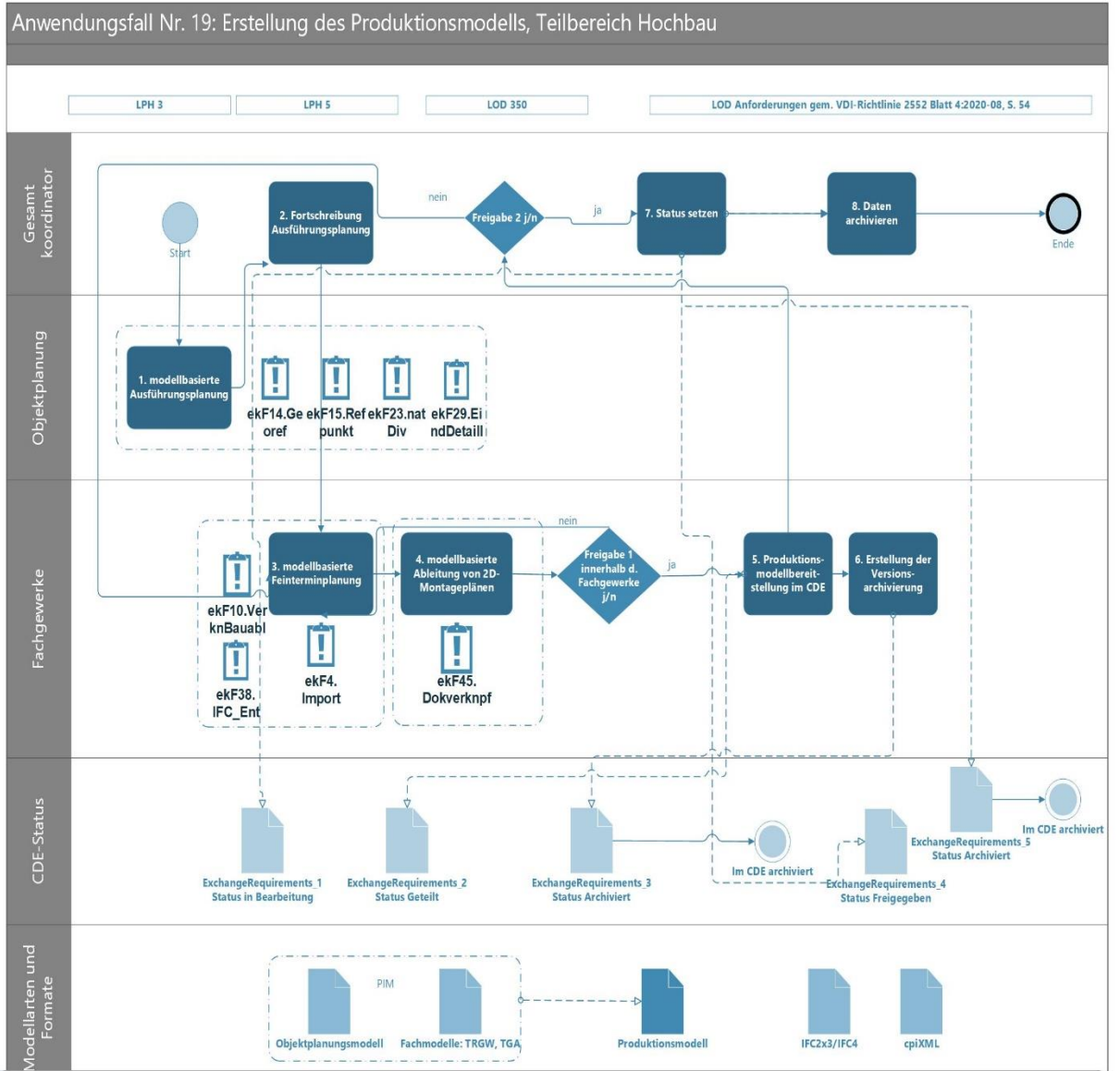
	Startereignis [für Sequenzflüsse und Nachrichtenflüsse]
	Endereignis
	Zwischenereignis [ohne Beendigung des Gesamtprozesses]
	Gateway [Auseinander- und Zusammenlaufen von Sequenzflüssen in einem Prozess dargestellt, hier: alternativer Pfad innerhalb eines Prozessablaufs]
	Erfolgskritischer Faktor
	Datenobjekt [Modellarten, Dateiformate sowie deren Speicherstatus als Exchange Requirement: Informationsaustauschanforderung]
	Aktivität [Arbeitseinheiten in einem Prozess]
	Gruppe
	Sequenzfluss [Reihenfolge der Aktivitäten]
	Nachrichtenfluss [Informationswegverbindung zwischen verschiedenen Pools/Ebenen]

Tabelle 20: BPMN: Erläuterung der Symbolik

Abb. 70 zeigt den AWF 19 Erstellung des Produktionsmodells, der in der Phase der Bauausführung stattfindet. Das Produktionsmodell ist das Planungsmodell, erweitert um die terminlichen Ausführungsplanungen der Fachgewerke. Es werden 2D-Ansichten aus dem Produktionsmodell für die Ableitung der Ausführungspläne im Rohbau generiert. Der BPMN-Tabellenkopf enthält Hinweise zum angemessenen LOD und die Einordnung in die Leistungsphasen. Dieser AWF verläuft phasenübergreifend.

Der BPMN-Ablauf zeigt die 8 Einzelaktivitäten des AWF zwischen der Objektplanung und den Fachgewerken der Bauausführung und ist horizontal dargestellt. Es wurden 8 ekF ermittelt, die den Einzelaktivitäten zugeordnet sind. Die vertikale Ebene enthält die zuständige BIM-Rolle, die Fachbereiche und außerdem die für den Anwendungsfall notwendigen Modellarten und Dateiformate sowie die Status zur Speicherung für die digitale Projektumgebung [CDE]. Die hinzugefügte ekF-Risikomatrix zeigt die kritischen Strukturbereiche des Anwendungsfalls. Der Anwender des BPMN-Ablaufes kann unter Anwendung des BIM-Strukturmodells referenziert die notwendigen BIM-Strukturbereiche einsehen [Abb. 70].

<sup>97</sup> In Anlehnung an das IDM, welches die generellen Informationsaustausch-Statuten festlegt, kann die exemplarische Visualisierung der AWF-ekF-Beziehung im IDM-Bereich Prozessdiagramm eine Ergänzung in den Konventionen des BIM-basierten Bauprojekts darstellen [Anhang 29].



ekF4  
ekF10  
ekF14  
ekF15  
ekF23  
ekF29  
ekF38  
ekF45

Strukturmodell-anwendung

ekF-Risikomatrix

BSP	Aufbauorganisation				Abbauorganisation				Informationsressourcen				Technologie												
	Bauobjekt-Klassifizierung und Zusammenfassungshierarchie	Klassifikations-systeme	Informations-schema	Modell-orientierte Modell-gliederung	objekt-orientierte Modell-gliederung	Strukturierungs-workflows	modellbasierte Daten-strukturierung	Rollen im Informations-management	Informations-anforderungen	Projekt-Informationsmodell	Federations-strategie	Aktivitäten kollaborativer Informations-erzeugung	Datenaustausch-anforderungen	Modellprüfung für den Datenaustausch	Interaktions- und Transaktionsdiagramme	AW/BAP	IDM	Ges-referenzierung	Identifikation	CDE-Container	CDE-Aggregation	CDE-Workflow und Verantwortlichkeiten	Software	Modell-arten	Datenformate
Nr.	ekF Codes																								
1	ekF4.Import	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ekF10.VerknBaubl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ekF14.Georef	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ekF15.Refepunkt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ekF23.natDiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ekF29.EindDetail	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ekF38.IFC_Ent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	ekF45.Dokverknf	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 70: Exemplarische BPMN-Darstellung: AWF 19

Eine vergleichende BPMN-Übersicht für einen inhaltlich stark abweichenden Anwendungsfall beinhaltet Anhang 36.<sup>98</sup>

### 10.3 Diskussion

Die durchgeführte Analyse bringt das in Kapitel 6 entwickelte BIM-Strukturmodell zur Anwendung. Gemäß der ersten benannten Zielstellung der Arbeit definiert das Strukturmodell die notwendigen Bedingungen zur Praktizierung fehlerfreier BIM-Anwendungsfälle in Bauprojekten. Außerdem dient es der Kategorisierung der vorliegenden unstrukturierten Primär- und Sekundärdaten. Im Resultat ermöglicht das BIM-Strukturmodell die Kategorisierung erfolgskritischer Struktureinheiten in diversen BIM-Anwendungsfällen.

Die Analyse der Anwendungsfälle im IST-Zustand und die darin enthaltenen erfolgskritischen Faktoren lassen als zweites Ziel die Ableitung der ekF-Risikomatrix in den Kapiteln 7 – 9 zu. Die analysierten Anwendungsfälle sind die Resultate der Erprobungsphase und spiegeln den Zustand zu Beginn des Leistungsniveaus I [s. Kapitel 4.2].

Die Kategorien des Strukturmodells und die Erkenntnisse der Risikomatrix sind im KMU-Anwendungsinstrument abgebildet. Die Form der Ergebnisaufbereitung als BPMN-Darstellung in Kapitel 10 bietet einerseits eine überblickartige Sensibilisierung für Risikobereiche in BIM-Anwendungsfällen und ermöglicht andererseits die Nachvollziehung der sequenziellen Abläufe der Anwendungsfälle. Aus diesem Grund erscheint es als sinnvolles Instrument für BIM-Erstanwendende und bedient die dritte Zielstellung der Arbeit. Eine mögliche Bedrohung der Analyse durch Heterogenität konnte ausgeschlossen werden, in dem die externe Validität in Kapitel 8.3 dargestellt wurde.

Aufgrund der Vielzahl der AWF und ekF ist eine ganzheitliche Darstellung zwar in der ekF-Risikomatrix möglich, aber nicht in der textlichen Beschreibung, weshalb eine exemplarische Erläuterung der ekF-Wirkungen in den Anwendungsfällen stattfindet [Kapitel 9 BIM-Strukturmodell-anwendung].

Das BIM-Strukturmodell ist dauerhaft nutzbar, sofern es eine regelmäßige Anpassung der Strukturkategorien entsprechend der aktuellen Richtlinienarbeit und Standardisierung erfährt. Die BPMN-Abläufe sind übertragbar auf Bauprojektorganisationen aber auch auf die Unternehmensebene, da sie anwendungsfallorientiert aufgebaut sind. Die Übertragbarkeit ergibt sich für sämtliche Anwendungsfälle in allen Bauprojektphasen. Durch die Verbindung des BIM-Strukturmodells mit den Einzelaktivitäten eines Anwendungsfalles in den BPMN-Übersichten, ist das Instrument für die Definition notwendiger BIM-Strukturen im Bauprojekte und die Implementierung bei Erstanwendung einsetzbar.

---

<sup>98</sup> Die Abweichung bezieht sich auf andere aufgetretene ekF im Anwendungsfall 30 FM-Attribuierung [vgl. Kapitel 10.1 Faktorenaggregation: Jaccard-Vergleich].

Es ist anzunehmen, dass die Nutzbarkeit des Instruments in der vorliegenden Form aufgrund der noch geringen Anwendungsquote in der deutschen Bauwirtschaft längerfristig als unterstützendes Instrument zur Einstiegspraktizierung nutzbar bleibt.

---

 Gesamtfazit und Ausblick
 

---

**11. Fazit und Ausblick****11.1 Fazit**

Forschungsteilbereich A ermittelte im Kapitel 3 einen Beleg für die angenommene schleppende Digitalisierung. Die evaluierten Herausforderungen gliedern sich hauptsächlich in die Schwierigkeiten der Vereinheitlichung bestehender und innovativer IT-Systeme [rund 45 %], in die fehlende Anwendungskompetenz für einzelne digitale Instrumente [45 %], die bisher fehlende digitale Weiterbildung Mitarbeitender [>40 %], und in den als zu hoch erachteten innerbetrieblichen Implementierungsaufwand in bestehende Prozessstrukturen [40 %].<sup>99</sup> Die Digitalisierung der deutschen Bauwirtschaft ist mit 52 Indexpunkten in der gesamtdeutschen Wirtschaft unterdurchschnittlich.<sup>100</sup> Die Schwierigkeiten der Digitalisierung in der Bauwirtschaft sind beziffert mit zu hohen Investitionskosten für digitale Transformationen [35 %], einem Zeitmangel für den Ausbau der Anwendungsexpertise [35 %] und einer erschwerten technischen Einbettung in bestehende Systeme [22 %].<sup>101</sup> Die deutsche Bauwirtschaft weist die größten Umsatzanteile im KMU-Bereich auf: Bauplanung über 80 %, Bauhauptgewerbe ohne Ausbau über 70 %, alleinig Ausbaugewerbe über 90 %. Diese Besonderheit wurde in der Auswahl einzubeziehender Modellprojekte beachtet.

Kapitel 4 ermittelte, dass 26 % der bauplanenden Teilnehmenden der Studie projektreife BIM-Fähigkeiten vorweisen, im Bauhauptgewerbe hingegen lediglich 10 %.<sup>102</sup> Die derzeitige Praktizierung umfasst beinahe ausschließlich Einzelanwendungen im Closed BIM-Bereich umfasst und keine projektdurchgängigen BIM-Anwendungsfälle.<sup>103</sup> Die Einzelanwendungen verteilen sich im Bauplanungsbereich auf native Modellierung im Entwurf und die Koordination von Fachgewerken bis zur Leistungsphase 3 nach HOAI. Die Ausführung in Leistungsphase 8 nach HOAI betrifft die BIM-basierte Baustellenlogistik, Vorgänge zur Leistungsverzeichniserstellung sowie die terminliche Gewerkekoordination.

Belegen lassen sich außerdem stark einschränkende Bedingungen, die die Anwendung im vorgesehenen Leistungsniveau I hemmen: erschwerter Informationsaustausch/Datenmanagement zwischen den Bauprojektbeteiligten [>90 %], hohe Lizenzkosten und die Notwendigkeit verschiedener BIM-Software [52 %], hohe Schulungskosten zur Kompetenzschaffung [51 %], geringer Status des Anwendungswissens [48 %], fehlende organisationale Implementierung durch strukturellen Wandel [22 %]. Eine tatsächliche

---

<sup>99</sup> Im Rahmen des systematischen Reviews ist die erfasste Kategorie Herausforderungen bei einer Stichprobengröße von rund 80.000 Unternehmen in Digitalisierungsstudien mit 58 % überrepräsentiert.

<sup>100</sup> Der Mittelwert liegt bei 58 Punkten von 100 Indexpunkten.

<sup>101</sup> Stichprobenumfang rund 5.300 Unternehmen.

<sup>102</sup> Stichprobenumfang rund 3.250 Unternehmen.

<sup>103</sup> Stichprobenumfang rund 700 Unternehmen.

Anwendungsquote wird in der Bauplanung in 19 % der Projekte, in der Bauausführung in 17 % der Projekte beschrieben.

Es konnten im Kapitel 4 zahlreiche BIM-Definitionsebenen ermittelt werden, die sich in der systemtheoretischen Perspektive auf die Ebenen Prozessartenvielfalt, Anwendungsrisiken und Informationsmanagement beziehen. Die Einbeziehung des Change Managements und dessen relevanter Determinanten ergibt sich aus dem institutionellen Aspekt des Organisationsbegriffs. Das rechtfertigt die Zuordnung des Bauprojekts zu dieser Begrifflichkeit. Transformationen finden demzufolge in wandlungsbezogenen Kategorien statt, wie Kapitel 5 zeigt.<sup>104</sup> Diese Kategorien Aufbau- und Ablauforganisation, Informationsressourcen und Technologie sind im Kapitel 6 erläutert und prägen das Bauprojekt als temporäre Organisation. Deshalb konnte ein theoriegeprüftes BIM-Strukturmodell auf Basis der aktuellen Standardisierung abgeleitet werden. Auf drei Abstraktionsebenen stellt es den konzeptionellen Bezugsrahmen für die AWF-Analyse dar und sichert bei Anwendung den digitalen BIM-Erfolg in modellzentrierter Perspektive ab. Dadurch wurde das erste Teilziel der Arbeit zur Evaluierung notwendiger BIM-Strukturen erreicht.

Im Forschungsteilbereich C, innerhalb der Kapitel 7 – 10, wird die Risikoeinbeziehung verfolgt. Dieses Vorgehen wird auf die evaluierten 30 BIM-Anwendungsfälle und deren erfolgskritische Faktoren, die als Kollektion im Kapitel 7 erfasst sind, angewendet. 5 einbezogene BIM-Modellprojekte mit insgesamt 12 Teilprojekten im gewerblichen Hochbau und infrastrukturbezogenen Verkehrsanlagen fungieren als Datenbasis. Dadurch wurde das zweite Teilziel der Analyse der Anwendungsfälle und die Ableitung erfolgskritischer Faktoren erreicht. Verlässliche Ergebnisse ließen sich für die Leistungsphasen 3, 5 und 8 nach HOAI darstellen.

Die kritischen Faktoren der Aufbauorganisation beziehen sich vor allem auf überlagerte Geometriepunkte sowie fehlerhafte Außen- und Innenbezüge von Bauteilen im Modellaufbau. Es zeigt sich generell eine generell mangelnde Datenqualität für automatisierte Verknüpfungsprozesse, wie beispielsweise eine Anbindung von Bauteilen an LV-Positionen [Abb. 71].

Die Ablauforganisation ist häufig geprägt von einem fehlerhaften LOD in Abhängigkeit zur Leistungsphase. Deshalb können häufig nicht die Informationsinhalte im Projektstatus vorliegen, die entsprechend der Projektphase notwendig wären. In Transaktionsprozessen, wie Zusammenführungen von Objekt- und Fachmodellen entstehen Bauteildopplungen aufgrund von Fehlfestlegungen. Generell sind Transaktionspläne als Bestandteil von BIM-basierten Bauprojekten unterrepräsentiert verwendet worden. Deshalb ergaben sich Freigabeverzögerungen im modellbasierten Projektprozess [Abb. 71].

---

<sup>104</sup> Bereiche: Struktur, Kultur, Individuum.

<b>Aufbauorganisation</b>	<b>AWF</b>	<b>ekF</b>	<b>Auswirkungen</b>
Gliederungsebenen im Modell	1. AWF 19 Erstellung Produktionsmodell 2. AWF 6 Verwendung Koordinationsmodell	1. ekF10 Verknüpfung Bauablaufplanung 2. ekF4 Re-Import 3. ekF19 Modellaufbau 4. ekF23 native Divergenz 5. ekF35 Missachtung IFC-Standardaufbau	1. mangelnde Datenqualität nach CPI-Analyse, 2. fehlerhafte Verknüpfung von Bauteilen mit dem Feinterminplan, 3. falsch zugeordnete Vorgänge zu Bauteilen, 4. verschobene Volumenkörper nach Export aus nativer Software, 5. fehlende Eigenschaften des IFC-Property Sets und der IFC-Quantity
Lagezuordnung der Modellelemente	1. AWF 29 Erstellung as-built-Modell 2. AWF 30 Erstellung FM-Attribuierung	ekF 51 laufende Planungsanpassung	erneute Aufbereitung der Planungsfachmodelle durch fehlerhafte Versionierungen bei laufenden Plananpassungen
Attribute	AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung	ekF 13 LV-Verknüpfung	1. mehrfach gleichartige Attribute (Dopplungen) 2. Lageabhängigkeiten undefiniert
Assoziationen	AWF 16 Pflegen der Fachmodelle	ekF 18 Fachmodellkonsistenz	1. fehlende fehlerhafte Volumenkörper, 2. fehlende Attribute an Bauteilen, Abweichung von der Dateiformatkonvention
Aggregation/Komposition	AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung	1. ekF 19 Modellaufbau 2. ekF20 Attribuierung aus der Planung	1. fehlende Lagezuordnung der Bauteile im Modell, 2. fehlerhafte mehrschichtige Modellierung, 3. unvollständige Parameter an Bauteilen 4. Basislinienverschiebung
<b>Ablauforganisation</b>			
Datenaustauschanforderungen	1. AWF 21 Baufortschrittskontrolle 2. AWF 26 Mängelmanagement 3. AWF 28 Bauwerksdokumentation	1. ekF29 Eindeutigkeit der Detaillierung 2. ekF 32 Verortung und Dokumentation von Mängeln	1. fehlerhafte LOD: abweichend von der LPH 2. fehlende Zuständigkeit für Verzeichnung von Mängeln im Modell
Modellprüfung im Datenaustausch	AWF 4 Koordination der Fachgewerke	ekF 31 Planungsdetailierung	Fehlende Anforderungsdefinitionen für die Detaillierung im Objekt- und in den Fachplanungsmodellen
Interaktions- und Transaktionsdiagramme	1. AWF 4 Koordination der Fachgewerke 2. AWF 7 Fortschrittkontrolle der Planung	1. ekF 3 Verwendung Transaktionsdiagramm 2. ekF 39 Bauteilzuständigkeit	1. keine Transaktionsdiagramme vorhanden (lediglich Datadroppoints) 2. kein Zuständigkeitsmanagement für Bauteile in den Objekt- und Fachplanungsmodellen, deshalb Bauteildopplungen

Abbildung 71: Zusammenfassung erfolgskritischer Auswirkungen Teil 1

In der Kategorie Informationsressourcen sind die uneinheitliche Verwendung von Koordinatensysteme sowie fehlende Markierungen für den Koordinatenursprung erkennbar. Das hat verschobene Modellteile der Fachplanung im Koordinationsmodell zur Folge [Abb. 72].

Der Bereich Technologie ist geprägt von Dateiformatvielfalt im Informationsaustausch.<sup>105</sup> Die gleiche Modellart kann in unterschiedlichen Formaten übertragen werden.<sup>106</sup> Die am stärksten repräsentierten Formate der Modellprojekte sind das IFC2x3 und cpiXML [Abb. 72].

<sup>105</sup> 12 Austauschformate; ohne native Formate.

<sup>106</sup> Entwurfs-/Planungsmodell.

Ressourcen	AWF	ekF	Auswirkungen
Informationsressourcen	<ol style="list-style-type: none"> <li>AWF 5: Leistungsphasenadäquate Kollisionskontrolle</li> <li>AWF 6: Koordinationsmodellverwendung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ekF14: Georeferenzierung</li> <li>ekF15: Referenzpunkt</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Modellverschiebungen im Koordinationsmodell durch Verwendung verschiedener Koordinatensysteme</li> <li>fehlende Markierung des Koordinatenursprungs als referenzierter Punkt</li> </ol>
Technologie IFC 2x3 [IFCExpress]	<ol style="list-style-type: none"> <li>AWF 19 Erstellung Produktionsmodell</li> <li>AWF 23 Abrechnung von Bauleistungen</li> <li>AWF 28 Bauwerksdokumentation</li> <li>AWF 30 Erstellung FM-Attribuierung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ekF26 Plausibilisierung</li> <li>ekF29 Eindeutigkeit der Detaillierung</li> <li>ekF38 IFC-Entitäten</li> <li>ekF52 MVD-basierter Export</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>fehlerhafte Zustandsdarstellung des Baufortschritts für die Anwendung von Abschlags- und Schlussrechnungen</li> <li>fehlerhafte LOD in Abhängigkeit der LPH</li> <li>Missachtung der Inhalte der IFC-Entitäten: fehlende Informationsinhalte: ekF-wirksame Entitäten durch uneinheitliche Bauteilverwendung [nicht Beachtung der Vererbung] ifcRelDefines [ifcPropertySet; ifcQuantity]; ifcRelAssociates [ifcRelAssociatesMaterial; ifcMaterialLayerSets], die Mindestmenge zu definierender und quantifizierender Bauteilmenge im Informationsaustausch unterschritten</li> <li>falsch verwendete MVD hinsichtlich des zu übertragenden Informationsinhalts</li> </ol>
Schnittprüfung	AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung	ekF13 LV-Verknüpfung	<ol style="list-style-type: none"> <li>mehrfach gleichartige Attribute (Dopplungen)</li> <li>Lageabhängigkeiten undefiniert</li> <li>fehlerhafte QTO-Ermittlung durch verschnittene Bauteile</li> </ol>
Geometrieprüfung	AWF 17 modellbasierte Mengen- und Massenermittlung	<ol style="list-style-type: none"> <li>ekF 5 Bemusterung</li> <li>ekF 13 LV-Verknüpfung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>mehrfach gleichartige Attribute (Dopplungen)</li> <li>Lageabhängigkeiten undefiniert</li> <li>Modellqualitätsprüfung mit mangelhaftem Ergebnis für die automatisierte Mengenermittlung: Fehlerhafte QTO-Ermittlung durch nicht geschlossene Bauteilgeometrie</li> </ol>

Abbildung 72: Zusammenfassung erfolgskritischer Auswirkungen Teil 2

Im Kapitel 10 ergab die Näherungsmatrix nach Jaccard, dass diejenigen AWF mit mehrfachen ekF-Ausprägungen in ihrer Risikostruktur heterogen sind. Dabei unterscheiden sich AWF 19 Erstellung des Produktionsmodells und AWF 30 FM-Attribuierung am stärksten.

Abschließend bleibt festzustellen, dass BIM-Anwendungshemmnisse für KMU noch vielfältig ausgeprägt sind. Aus diesem Grund sollte ein Transfer analytischer Ergebnisse in die wirtschaftliche Praxis in Form eines überblickartigen BPMN-Instruments mit Risikoverortung erfolgen. Die Workflowdarstellung im Kapitel 10 vereinfacht die Anwendungspraxis und kann perspektivisch eine nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit national und international sichern. Dadurch wurde das dritte Teilziel der Arbeit erreicht.

Die Nutzbarkeit des gesamten Modells dieser Arbeit ist für die KMU-Zielgruppe entsprechend den vertraglich fixierten BIM-Zielstellungen im Bauprojekt oder gemäß einer individuellen BIM-Strategie zur Implementierung auf Unternehmensebene möglich. Das BIM-Strukturmodell kann in Verbindung mit dem Modell zur Prüfung von Anwendungsfallrisiken zur vorbereitenden Schulung der Akteure oder als begleitende Evaluation von erfolgskritischen Faktoren im Bauprojekt Anwendung finden [Abb. 73].



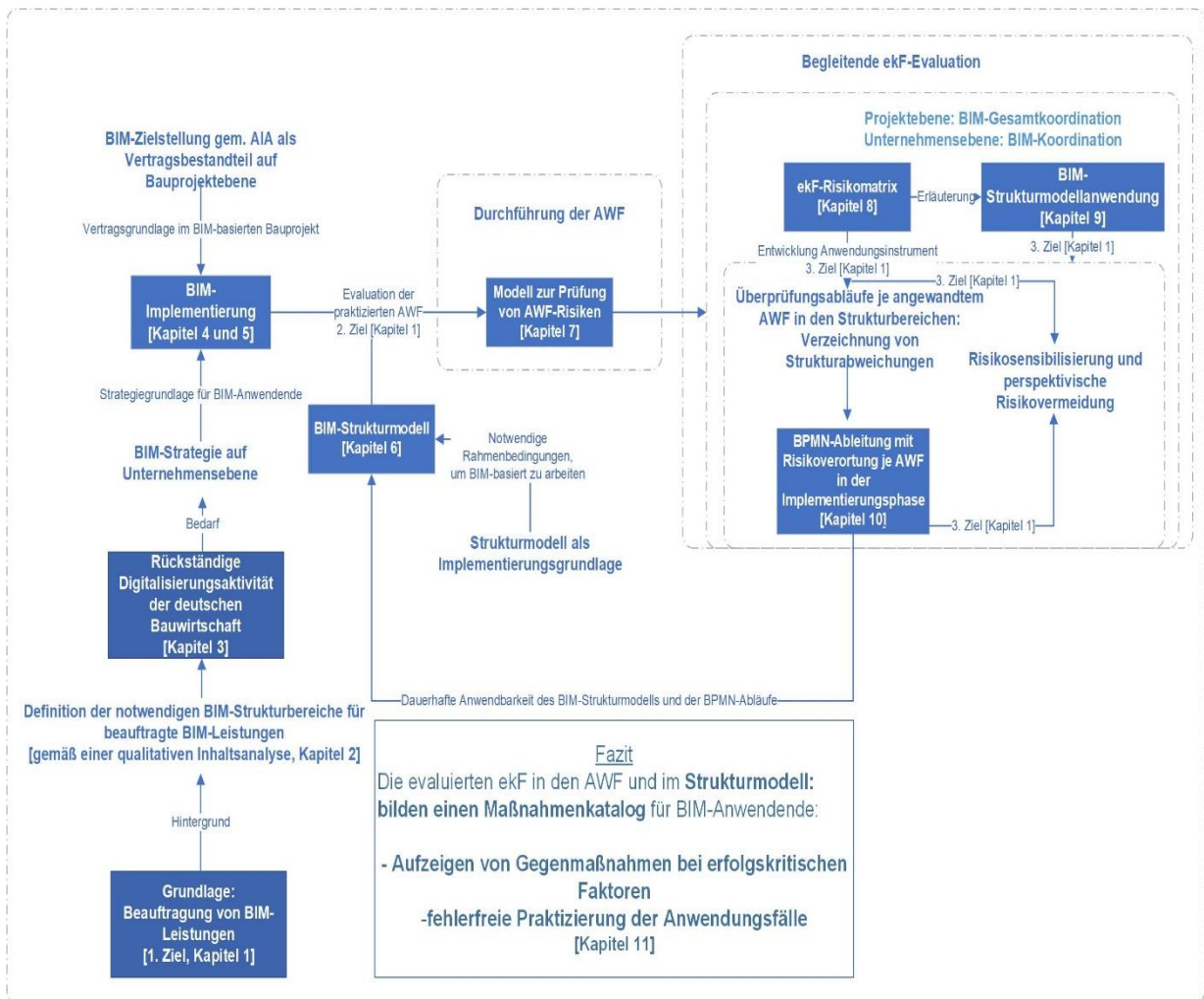


Abbildung 73: Nutzbarkeit des Modells in BIM-basierten Bauprojekten

## 11.2 Ausblick

Mit Hinblick auf die Fortentwicklung der BIM-Leistungsniveaus ist zu vermuten, dass die Prozessanforderungen der BIM-Anwendungsfälle sowohl nachrichtlich als auch sequenziell detaillierter werden [Kapitel 4]. Mit der Zunahme der Vielfalt von Anwendungsfällen kann vor der Implementierung eine messbare Erfassung für potenzielle Abweichungen von definierten Leistungsniveaus notwendig werden. Die qualitative Inhaltsanalyse, die in dieser Arbeit vorliegt, kann die Anwendungsfälle, ekF und BIM-Strukturbereiche auf binärem und eingeschränkt metrischem Skalenniveau untersuchen.<sup>107</sup> Die Quantifizierung der Ergebnisse ist folglich begrenzt, die Ergebnisse sind größtenteils qualitativ. Somit lässt sich kein Risikoerwartungswert<sup>108</sup> darstellen, der künftige Anwendungsfälle in ihrer Risikointensität prognostizieren könnte. Deshalb könnte ein Instrument auf Basis metrischer Merkmalsausprägungen der Anwendungsfälle zur kennzahlbasierten Ermittlung der Prozessfähigkeit auf Auftragnehmerseite beitragen. Damit ließe sich die Risikoermittlung

<sup>107</sup> Häufigkeitsausprägungen lassen sich ableiten.

<sup>108</sup> Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit, vgl. Kapitel 6.3.

bereits progressiv in den Standardisierungsprozess neuartiger Anwendungsfälle einbinden. Ein weiterer Vorteil bestünde darin, dass vertraglich vereinbarte Bauprojektziele in einem messbaren Rahmen mit dem Risikocontrolling digitaler Erfolgsziele verbunden werden könnten.<sup>109</sup> Das ließe Angaben zu Eintrittswahrscheinlichkeiten und zusätzlich Merkmalskorrelationen zu.<sup>110</sup>

Die Ergebnisse der Risikoverortung [Kapitel 10] werfen dennoch weiterführende Fragen zur Anwendung auf. Um für eine zunehmende Anzahl an AWF unaufwendig BPMN-Abläufe darstellen zu können, sollte eine automatisierte BPMN-Modellierung angestrebt werden. Auf Basis der Anwendungsfallstruktur [Kapitel 4] könnten über eine Eingabe definierter Prozess-Input-Informationen durch die BIM-Koordination<sup>111</sup> automatisierte Flussdiagramme im BPMN-Format<sup>112</sup> erstellt werden. Eine zusätzliche Verknüpfung mit der ekF-Matrix und dem BIM-Strukturmodell als Datenbank würde die Risikoverortung je Anwendungsfall einbeziehen. Überdies könnte die Zuordnung der AWF zu den Grundleistungen und besonderen Leistungen nach HOAI entsprechend den übertragenen BIM-Leistungen automatisiert ausgegeben werden. Die bezugnehmende Quelle wären die einzelnen BPMN-Prozessschritte je BIM-AWF.

Weiterführend könnten die gesammelten Output-Informationen eines Anwendungsfalls mit der passenden MVD automatisiert in Verbindung gebracht werden. Dieses Vorgehen ließe eine Vorabprüfung des passenden Exportschemas im Informationsaustausch mit nicht-proprietären Formaten zu, um sämtliche Informationsinhalte verlustfrei an den Informationsempfänger zu übertragen. Letztlich ließe sich dadurch das BIM Use Case Management [Kapitel 1.2] auch für Deutschland in der Anwendungsfallvielfalt ergänzen und mit automatisierter Prozessmodellierung und verknüpfter Risikoeinbindung erweitern.

---

<sup>109</sup> metrische Verteilungen würden darstellbar.

<sup>110</sup> Einwirkungseffekte spezifischer ekF auf messbare Bauprojekt-Zielindikatoren.

<sup>111</sup> BIM-Koordination auftragnehmerseitig, BIM-Management auftraggeberseitig.

<sup>112</sup> Sowohl sequenzielle als auch nachrichtliche Flüsse sollten automatisiert erstellt werden.

**Literaturverzeichnis**

- Albrecht, Matthias** (2015): Building Information Modeling (BIM) in der Planung von Bauleistungen. Hamburg: Disserta Verlag.
- Amann, Julian; Tauscher, Eike; Borrmann, André** (2015): BIM-Programmierwerkzeuge. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 193–206.
- ARGE BIM4INFRA (Hg.)** (2019a): BIM4Infra 2020: Pilotprojekte. Online verfügbar unter <https://bim4infra.de/pilotprojekte/>, zuletzt geprüft am 10.10.2019.
- ARGE BIM4INFRA (Hg.)** (2019b): Leitfäden, Muster und Handreichungen. Online verfügbar unter <https://bim4infra.de/leitfaeden-muster-und-handreichungen/>, zuletzt geprüft am 31.03.2021.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf** (2016): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 14. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Baldwin, Mark** (2019): Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement. 2. Aufl. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH.
- Bargstädt, Hans-Joachim; Brandenburger, Yvonne (Hg.)** (2018): Modellprojekt Building Information Modeling (BIM). Abschlussbericht: Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau in Thüringen. Hg. v. Bauhaus-Universität Weimar. Professur Baubetrieb und Bauverfahren. Fachhochschule Erfurt. Professur Gebäudeentwurf und Bauplanung. Weimar/Erfurt.
- Bauhaus-Universität Weimar; Bargstädt, Hans-Joachim (Hg.)** (2018): BIM in Thüringen. Professur Baubetrieb und Bauverfahren. Online verfügbar unter <https://bim-thueringen.de/>, zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Baumöl, Ulrike** (2008): Change Management in Organisationen. Situative Methodenkonstruktion für flexible Veränderungsprozesse. Wiesbaden: Gabler.
- Bayer, Oliver; Ortolano, Lorena C.; Hoffmann, Dorle; Schweizer Stefanus** (2019): Praxisleitfaden Systematische Literaturrecherche der Universitätsmedizin Mainz. Online verfügbar unter <https://teamweb.uni-mainz.de/sites/bbum/downloads/Praxisleitfaden-Systematische-Literaturrecherche.pdf>, zuletzt geprüft am 24.02.2020.
- Bea, Franz Xaver; Göbel, Elisabeth** (2019): Organisation. Theorie und Gestaltung. 5. Aufl. München: UVK Verlag.
- Bea, Franz Xaver; Haas, Jürgen** (2016): Strategisches Management. Praxisausgabe. 8. Aufl. Konstanz, München: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Beetz, Jakob; Amann, Julian; Borrmann, André** (2018): Linked Data. Analyse von Einsatzmöglichkeiten von verbundenen Informationen (Linked Data) und Ontologien und damit befassten Technologien (Semantic Web) im Bereich des Straßenwesens. Hg. v. Technische Universität München. München.
- Bergische Universität Wuppertal (Hg.)** (2021): Maßnahmen zur Umsetzung eines effizienten Projektrisikomanagements durch Einsatz der Methode BIM. Professur Baubetrieb und Bauwirtschaft. Online verfügbar unter <https://biminstitut.uni-wuppertal.de/index.php?id=5123&L=1>, zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- Bergmann, Rainer; Garrecht, Martin** (2016): Organisation und Projektmanagement. 2. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Bischof, Moritz; Bougain, Aude; Gantner, Johannes; Hausknecht, Kerstin; Heins, Christian; Kirmayr, Thomas; Noisten, Peter; Oberg, Achim; Prüser, Hans-Hermann; Wenzel, Günter; Wölfle, Gunther** (2017): Abschlussbericht. BIM-Referenzobjekt in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer IBP. Stuttgart.
- Bischof, Moritz; Bougain, Aude; Gantner, Johannes; Hausknecht Kerstin; Heins, Christian; Kirmayr, Thomas Noisten, Peter; Oberg, Achim; Prüser, Hans-Hermann; Wenzel, Günter; Wölfle, Gunther** (2018): BIMid-Leitfaden. So kann der Einstieg in BIM gelingen. Hg. v. Fraunhofer IBP. Valley. Online verfügbar unter <https://bim-cluster-rlp.de/pdf/BIMiD-Leitfaden-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 02.02.2019.

- bitkom research (Hg.)** (2019): Digitalisierung der Wirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-04/bitkom\\_charts\\_hub\\_-\\_digitalisierung\\_der\\_wirtschaft\\_10\\_04\\_2019\\_final.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-04/bitkom_charts_hub_-_digitalisierung_der_wirtschaft_10_04_2019_final.pdf), zuletzt geprüft am 21.08.2019.
- Blankenbach, Jörg** (2015): Bauwerksvermessung für BIM. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 343–362.
- Booth, Andrew; Sutton, Anthea; Papaioannou, Diana (Hg.)** (2016): Systematic Approaches to a Successful Literature Review. London: Sage Publications.
- Borenstein, Michael; Hedges, Larry V.; Higgins, Julian P. T.; Rothstein, Hannah R.** (2010): Introduction to meta-analysis. Reprinted. Chichester: Wiley.
- Borrmann, André; Beetz, Jakob; Koch, Christian; Liebich, Thomas** (2015a): Industry Foundation Classes. Ein herstellerunabhängiges Datenmodell für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 83–128.
- Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob** (Hg.) (2015b): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob** (2015c): Einführung. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 1–24.
- Borrmann, André; Berkahn, Volker** (2015d): Grundlagen der geometrischen Modellierung. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 25–42.
- Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Forster, Christian; Hausknecht, Kerstin; Hecker, Daniel; Hochmuth, Markus; Klempin, Carsten; Kluge, Michael; König, Markus; Liebich, Thomas; Schäferhoff, Genia; Schmidt, Ingo; Trzeciak, Maciej; Tulke, Jan; Vilgertshofer, Simon; Wagner, Bernd** (2019a): BIM4INFRA 2020 Teil 1. Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil1.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Forster, Christian; Hausknecht, Kerstin; Hecker, Daniel; Hochmuth, Markus; Klempin, Carsten; Kluge, Michael; König, Markus; Liebich, Thomas; Schäferhoff, Genia; Schmidt, Ingo; Trzeciak, Maciej; Tulke, Jan; Vilgertshofer, Simon; Wagner, Bernd** (2019b): BIM4INFRA 2020: Teil 5. Muster Besondere Vertragsbedingungen BIM (BIM-BVB). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil5.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil5.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Forster, Christian; Hausknecht, Kerstin; Hecker, Daniel; Hochmuth, Markus; Klempin, Carsten; Kluge, Michael; König, Markus; Liebich, Thomas; Schäferhoff, Genia; Schmidt, Ingo; Trzeciak, Maciej; Tulke, Jan; Vilgertshofer, Simon; Wagner, Bernd** (2019c): BIM4INFRA 2020: Teil 6. Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil6.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Bramann, Helmut; May, Ilka** (2015): Stufenplan digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 10.10.2019.
- Brüggemann, Thilo; von Both, Petra** (2015): 3D-Statdmodellierung: CityGML. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 177–192.

- BSI PAS 1192:2008-01** (2008): Collaborative production of architectural, engineering and construction information.
- buildingSMART International Ltd.** (2019): ifcSlabCommon. Online verfügbar unter [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/psd/IfcSharedBldgElements/Pset\\_SlabCommon.xml](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/psd/IfcSharedBldgElements/Pset_SlabCommon.xml), zuletzt geprüft am 21.12.2019.
- buildingSMART International Ltd.** (2020a): ifcElementQuantity. Online verfügbar unter [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcelementquantity.htm](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcelementquantity.htm), zuletzt geprüft am 19.12.2020.
- buildingSMART International Ltd.** (2020b): ifcSlab Quantity Definition. Online verfügbar unter <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcslab.htm>, zuletzt geprüft am 19.12.2020.
- buildingSMART International Ltd.** (2020c): MVD-Database. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/>, zuletzt geprüft am 19.12.2020.
- buildingSMART International Ltd.** (2020d): Property Sets for Objects. Online verfügbar unter [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/schema/templates/property-sets-for-objects.htm](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/templates/property-sets-for-objects.htm), zuletzt geprüft am 19.12.2020.
- buildingSMART International Ltd.** (2020e): Technical Resources. Online verfügbar unter <https://technical.buildingsmart.org/>, zuletzt geprüft am 21.12.2020.
- buildingSMART International Ltd.** (2021): Use Case Management. BuildingSMART Switzerland. Online verfügbar unter <https://ucm.buildingsmart.org/maintenance/>, zuletzt geprüft am 29.03.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.)** (2015): Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2015. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=12), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.)** (2018): Monitoring Report. Wirtschaft DIGITAL 2018. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2018-kurzfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=22](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2018-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=22), zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.)** (2015): Reformkommission Bau von Großprojekten. Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 15.09.2019.
- Cacciatore, Janet; Kaiser, Florian** (2018): BIM - are you ready? strategische und operative Gestaltungsimpulse für die Bauindustrie. Hg. v. Dr. Wieselhuber & Partner GmbH. Online verfügbar unter [https://www.wieselhuber.de/modules/file/606/Studie\\_BIM-AreUready.pdf](https://www.wieselhuber.de/modules/file/606/Studie_BIM-AreUready.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Demary, Vera; Engels, Barbara; Röhl, Klaus-Heiner; Rusche, Christian** (2016): Digitalisierung und Mittelstand. Eine Metastudie. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Medien GmbH (IW-Analysen, Nr. 109). Online verfügbar unter [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/312107/IW-Analyse\\_2016\\_109\\_Digitalisierung\\_und\\_Mittelstand.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/312107/IW-Analyse_2016_109_Digitalisierung_und_Mittelstand.pdf), zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Demharter, Jürgen; Muntziger, Hans-Dieter; Scherer, Raimar J.** (2014): Multimodellbasierte Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. In: Raimar Joseph Scherer und Sven-Eric Schapke (Hg.): Informationssysteme im Bauwesen 2. Anwendungen. Berlin: Springer Vieweg, S. 195–212.
- Deubel, Maximilian; Wolber, Jan; Haghsheno, Shervin** (2018): Identifikation, Analyse und Kategorisierung von BIM-Anwendungsfällen. In: *Bauingenieur* Jg.93 (Nr. 7/8), S. 295–303.
- Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) (Hg.)** (2016): Wirtschaft digital: Perspektiven erkannt, erste Schritte getan. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung. Online verfügbar unter <https://www.dihk.de/resource/blob/4382/ec1ad2449a3efdbda89e9c3b051c77d0/wirtschaft-digital-perspektiven-erkannt-erste-schritte-getan-data.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.

- Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) (Hg.)** (2017): wachsende Herausforderungen treffen auf größeren Optimismus. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung 2017. Online verfügbar unter <https://www.dihk.de/branchen/informations-und-kommunikationsbranche/wirtschaft-4-0/digitalisierungsbarometer>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- DIN 4108-10:2021-02** (2021): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 4109-1:2018-01** (2018): Schallschutz im Hochbau: Mindestanforderungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 276:2018-12** (2018): Kosten im Bauwesen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 277-1:2016-01** (2016): Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen: Hochbau. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 4102-4:2016-05** (2016): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 69901-3:2009-01** (2009): Projektmanagement: Projektmanagementsysteme: Methoden. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 69901-5:2009-01** (2009): Projektmanagement: Projektmanagementsysteme: Begriffe. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 4052-2:2006-05** (2005): Betonteile und Eimer für Straßenabläufe. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 4102-1:1998-05** (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen: Baustoffe: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 12006-2:2020-07** (2020): Hochbau - Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Hoch- und Tiefbauten: Struktur für die Klassifizierung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 16739-1:2019-09** (2019): Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement: Datenschema. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 13501-1:2019-05** (2019): Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 19650-1:2019-08** (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) - Informationsmanagement mit BIM: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 19650-2:2019-08** (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM): Informationsmanagement mit BIM: Planungs-, Bau- und Inbetriebnahmephase. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 19650-3:2019-10** (2019): Organisation von Informationen zu Bauwerken: Informationsmanagement mit Bauwerksinformationsmodellierung: Betriebsphase der Assets. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 19650-5:2019-08** (2019): Organisation von Daten zu Bauwerken: Informationsmanagement mit BIM: Spezifikation für Sicherheitsbelange von BIM, der digitalisierten Bauwerke und des smarten Assetmanagements. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 29481-1:2018-01** (2018): Bauwerksinformationsmodelle - Handbuch der Informationslieferungen: Methodik und Format. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9001:2015-11** (2015): Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN SPEC 91391-1:2019-04** (2019): Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte: Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller: Module und Funktionen einer Gemeinsamen Datenumgebung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN SPEC 91391-2:2019-04** (2019): Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte: Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller: Offener Datenaustausch mit Gemeinsamen Datenumgebungen. Berlin: Beuth Verlag.

- DIN SPEC 91350:2016-11** (2016): Verlinkter BIM-Datenaustausch von Bauwerksmodellen und Leistungsverzeichnissen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN ISO 31000:2018-10** (2018): Risikomanagement - Leitlinien. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN ISO 10303-28:2007-10** (2007): Industrielle Automatisierungssysteme und Integration - Produktdatendarstellung und -austausch: Implementierungsmethoden: XML Darstellungen von EXPRESS Schemata und Daten unter Verwendung von XML Schemata. Berlin: Beuth Verlag.
- Doppler, Klaus; Lauterburg, Christoph** (2014): Change Management. Den Unternehmenswandel gestalten. 13. Aufl. Frankfurt am Main: Campus-Verl.
- Döring, Nicola; Bortz, Jürgen** (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Unter Mitarbeit von Sandra Pöschl-Günther. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Eastman, Charles M.** (1999): Building Product Models. Computer Environments, Supporting Design and Construction. 1st ed. Bosa Roca: CRC Press.
- egger, Martin; Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas; Przybylo, Jakob** (2013): BIM-Leitfaden für Deutschland. Information und Ratgeber. Endbericht. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin.
- Eisend, Martin** (2014): Metaanalyse. sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden. In: Wenzel Matiaske, Martin Spieß, Ingwer Borg, Claudia Fantapié-Altobelli, Holger Hinz, Uwe Jirjahn et al. (Hg.): Metaanalyse. Mering: Rainer Hampp Verlag, S. 1–104.
- Elbe, Martin; Peters, Sibylle** (2016): Die temporäre Organisation. Grundlagen der Kooperation, Gestaltung und Beratung. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Elm, Erik von; Schreiber, Gerhard; Haupt, Claudia Cornelia** (2019): Methodische Anleitung für Scoping Reviews (JBI-Methodologie). In: Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen (143), S. 1–7.
- Eschenbruch, Klaus; Grolle-Hüging, Remus; Herholz, Ronny; Höcker, Thomas; Legat, Maria-Rebecca; Pillich, Hajo; Preuß, Norbert; Schneider, Werner; Döinghaus, Peter; Elixmann, Robert; Gralla, Mike; Kappes, Alexander, Wagner, Reinhard** (2020): Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft - Standards für Leistungen und Vergütung: (Leistungsbild und Honorierung, Nr. 9). 5. Aufl. Köln: Reguvis.
- Fasel, Daniel; Meier, Andreas (Hg.)** (2016): Big Data. Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fill, Hans-Georg; Meier, Andreas** (2020): Blockchain kompakt. Grundlagen, Anwendungsoptionen und kritische Bewertung. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Girmscheid, Gerhard** (2014): Bauunternehmensmanagement-prozessorientiert Band 2. Operative Leistungserstellungs- und Supportprozesse. 3. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- Gomez, Peter; Zimmermann, Tim** (1993): Unternehmensorganisation. Profile, Dynamik, Methodik. 4. Aufl. Frankfurt/Main: Campus-Verl.
- Greiner, Peter; Stark, Karlhans; Mayer, Peter** (2005): Baubetriebslehre - Projektmanagement. Wie Bauprojekte erfolgreich gesteuert werden. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.
- Grohmann, Alexander; Borgmeier, Arndt; Buchholz, Christina; Haußmann, Nathalie; Ilhan, Sinem** (2017): Smart Services und Internet der Dinge: State of the Art. In: Arndt Borgmeier, Alexander Grohmann und Stefan F. Gross (Hg.): Smart services und Internet der Dinge. Geschäftsmodelle, Umsetzung und Best Practices : Industrie 4.0, Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine, Big Data, Augmented Reality Technologie. München: Hanser, S. 3–22.
- Hamidian, Kiumars; Kraijo, Christian** (2013): DigiTalisierung. Status quo. In: Frank Keuper (Hg.): Digitalisierung und Innovation. Planung, Entstehung, Entwicklungsperspektiven. Wiesbaden, : Bearingpoint, S. 3–23.
- Handwerkskammer Erfurt (Hg.)** (2018): Auswirkungen der Digitalisierung auf das Handwerk. Abschlussbericht. Online verfügbar unter <https://www.hwk-erfurt.de/digitalisierung>, zuletzt geprüft am 30.04.2019.
- Hedderich, Jürgen; Sachs, Lothar** (2016): Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. 15. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

- Helfrich, Hede** (2016): Wissenschaftstheorie für Betriebswirtschaftler. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Feller, Daiki John; Klusmann, Brian; Hort, Gamze; Meng, Zhiwei** (2020a): Strukturierung und Aufbau von BIM-Anwendungen. Hg. v. Bergische Universität Wuppertal. Professur Baubetrieb und Bauwirtschaft. Wuppertal. Online verfügbar unter [https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/BIM-Anwendungen/20200929\\_Leitfaden\\_Strukturierung\\_BIM-Anwendung\\_17\\_fe.pdf](https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/BIM-Anwendungen/20200929_Leitfaden_Strukturierung_BIM-Anwendung_17_fe.pdf), zuletzt aktualisiert am 09/2020, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Feller, Daiki John; Klusmann, Brian; Hort, Gamze; Meng, Zhiwei** (2020b): Leitfaden zur Strukturierung und Aufbau von BIM-Anwendungen. Hg. v. Bergische Universität Wuppertal. Professur Baubetrieb und Bauwirtschaft. Wuppertal.
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Kelm, Agnes** (2017): BIM-gestützte Arbeitsplanung in KMU. Auswertung der Umfrageergebnisse. Hg. v. Bergische Universität Wuppertal. Professur Baubetrieb und Bauwirtschaft. Online verfügbar unter [https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/BIM-Prozesse\\_Arbeitsplanung/BIM\\_AP\\_Ergebnisse\\_Umfrage.pdf](https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/BIM-Prozesse_Arbeitsplanung/BIM_AP_Ergebnisse_Umfrage.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Kelm, Agnes; Damerau, Norbert; Kaufhold, Matthias; Feller, Daiki John** (2020c): Detaillierte Entwicklung von BIM-basierten Prozessen des Betriebens von Bauwerken zur Integration in eine lebenszyklusübergreifende Prozesskette. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau).
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Kelm, Agnes; Kesting, Holger; Scarpino, Pietro; Zibell, Michael** (2018a): Entwicklung eines Anforderungskatalogs an Gebäudedatenmodelle in Bezug auf die Standardisierung der Detailinhalte und Detailtiefe aus Sicht der Bauausführung. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau).
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Kelm, Agnes; Klusmann, Boris; Pütz, Carla; Zibell, Michael** (2018b): Methodik und Instrumente zur Verbesserung der Arbeitsplanung in kleinen und mittleren Unternehmen der Bauwirtschaft unter Einsatz des Building Information Modeling. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau).
- Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Kelm, Agnes; Quessel, Melanie; Kaufhold, Matthias** (2018c): BIM-Mittelstandsleitfaden. Wie viel BIM verträgt ein Mittelstandsprojekt? Hg. v. Bergische Universität Wuppertal. Professur Baubetrieb und Bauwirtschaft. Wuppertal. Online verfügbar unter [http://www.biminstitut.de/files/bim\\_institut/media/01\\_Forschung/BIM%20Mittelstandsleitfaden/BIM-Mittelstandsleitfaden%20FMZ%20Leinefelde.pdf](http://www.biminstitut.de/files/bim_institut/media/01_Forschung/BIM%20Mittelstandsleitfaden/BIM-Mittelstandsleitfaden%20FMZ%20Leinefelde.pdf), zuletzt geprüft am 01.10.2019.
- Hentschel, Raoul; Leyh, Christian** (2018): Cloud Computing: Status quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen. In: Stefan Reinheimer (Hg.): Cloud Computing. Die Infrastruktur der Digitalisierung. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 3–20.
- Heyvaert, Mieke; Hannes, Karin; Onghena, Patrick** (2017): Using mixed methods research for literature reviews. 4. Aufl. Los Angeles: Sage.
- Icks, Annette; Schröder, Christian; Brink, Sigrun; Dienes, Christian; Schneck, Stefan** (2017): Digitalisierungsprozesse von KMU im Produzierenden Gewerbe. Hg. v. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/156246/1/882667238.pdf>, zuletzt geprüft am 26.09.2019.
- Honorarordnung für Architekten und Ingenieure [HOAI]** (2021): in der Fassung von 2021: vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2636).
- Ising, Alexander** (2007): Strategieaspekte internationaler Baukonzerne bei der Beteiligung an Flughäfen. Berlin: Univ.-Verl. der TU Univ.-Bibliothek.
- Jannidis, Fotis; Kohle, Hubertus; Rehbein, Malte (Hg.)** (2017): Digital Humanities. Eine Einführung. Stuttgart: J.B. Metzler.
- Jung, Hans** (2010): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 12. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.



- Kaiser, Stephan; Jager, Andreas; Rauch, Ricarda; Kozica, Arjan; Thiemann, Daniel; Müller, Madlen; Wissinger, Josef; Gehrhardt, Ruth; Böhringer, Frank; Zielonka, Andrea** (2019): Digitalisierungsatlas. Die Vermessung der digitalen Arbeitswelt. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Universität der Bundeswehr München und Business School Reutlingen. Institut für Entwicklung zukunftsfähiger Organisationen. Online verfügbar unter [https://digitrain40.de/wp-content/uploads/2019/07/Digitrain\\_Digitalisierungsatlas\\_07.2019\\_DT\\_TT\\_2019.html](https://digitrain40.de/wp-content/uploads/2019/07/Digitrain_Digitalisierungsatlas_07.2019_DT_TT_2019.html), zuletzt geprüft am 21.12.2019.
- Kaiser, Stephan; Kozica, Arjan** (2015): Zukunftsfähige Führung in fluiden Organisationen und modernen Arbeitswelten. In: Werner Widuckel, Karl de Molina, Max J. Ringlstetter und Dieter Frey (Hg.): Arbeitskultur 2020. Herausforderungen und Best Practices der Arbeitswelt der Zukunft. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 307–322.
- Kirsch, Jürgen** (2009): Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme. Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines Ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer. Karlsruhe: Universitätsverl.
- Koch, Christian** (2015): Objektorientierte Modellierung. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 43–56.
- Koch, Jörg** (2012): Marktforschung. Grundlagen und praktische Anwendungen. 6. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.
- Kochendörfer, Bernd; Liebchen, Jens H.; Viering, Markus G.** (2018): Bau-Projekt-Management. Grundlagen und Vorgehensweisen. 5. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- König, Markus** (2015): Prozessmodellierung. In: André Borrmann, Markus König, Christian Koch und Jakob Beetz (Hg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 57–76.
- König, Markus; Amann, Julian; Borrmann, André; Braun, Matthias; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Goetz, Alessandra; Hausknecht, Kerstin; Hochmuth, Markus; Liebich, Thomas; Nejatbakhsh, Nazereh; Scheffer, Markus; Singer, Dominic** (2016): Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastukturbau. Materialsammlung. Bochum. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bim-materialsammlung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bim-materialsammlung.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 02.02.2019.
- Kosiol, Erich** (1962): Organisation der Unternehmung. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag.
- Kraus, Georg; Becker-Kolle, Christel; Fischer, Thomas** (2010): Change-Management. Steuerung von Veränderungsprozessen in Organisationen; Einflussfaktoren und Beteiligte; Konzepte, Instrumente und Methoden. 3. Aufl. Berlin: Cornelsen.
- Kriner, Eva; Maloca, Spomenka; Rogowski, Thorsten; Slama, Alexander; Som, Oliver; Spitzley, Anne; Wagner, Kristina** (2007): Kritische Erfolgsfaktoren zur Steigerung der Innovationsfähigkeit. Empirische Studie bei produzierenden KMU. 2. Aufl. Hg. v. Fraunhofer Institut Arbeitswirtschaft und Organisation und Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT. Stuttgart.
- Kuckartz, Udo** (2019): Qualitative Content Analysis: From Kracauer's Beginnings to Today's Challenges. In: Forum Qualitative Social Research (20(3)), 46 paragraphs. Online verfügbar unter <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/3370/4459>, zuletzt geprüft am 16.07.2020.
- Kuckartz, Udo; Dresing, Thorsten; Rädiker, Stefan; Stefer, Claus** (2008): Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis. 2. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Kurz, Susanne** (2016): Digital Humanities. Grundlagen und Technologien für die Praxis. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Lauer, Thomas** (2014): Change Management. Grundlagen und Erfolgsfaktoren. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer/Gabler.
- Levy, Amir; Merry, Uri** (1986): Organizational transformation. Approaches, strategies, theories. New York: Praeger.
- Liebich, Thomas; Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Hausknecht, Kerstin; Häußler, Marco; Marco; Hochmuth, Markus; König, Markus** (2018):

- Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau. Endbericht Handlungsempfehlungen. Bochum. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/wissenschaftliche-begleitung-anwendung-bim-infrastrukturbau-2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/wissenschaftliche-begleitung-anwendung-bim-infrastrukturbau-2018.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 02.02.2019.
- Mangler, Wolf-Dieter** (2010): Aufbauorganisation. 2. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.
- Mayring, Philipp** (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 11. Aufl. Weinheim: Beltz Verlagsgruppe.
- Mayring, Philipp** (2019): Qualitative Inhaltsanalyse - Abgrenzungen, Spielarten, Weiterentwicklungen. In: *Forum Qualitative Sozialforschung* (20/3), [30 Absätze], Artikel 16. Online verfügbar unter <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/3343/4445>, zuletzt geprüft am 05.05.2020.
- Mayring, Philipp; Frenzl, Thomas** (2019): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Nina Baur und Jörg Blasius (Hg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 633–648.
- McPartland, Richard** (2017): PAS 1192 framework. Hg. v. National BIM Library Standard. Online verfügbar unter <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>, zuletzt geprüft am 12.9.2021.
- McPartland, Richard** (2014): BIM Levels explained. Hg. v. National BIM Library Standard. Online verfügbar unter <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>, zuletzt geprüft am 12.09.2021.
- Mittelstand 4.0: Kompetenzzentrum Planen und Bauen (Hg.)** (2017): BIM-Referenzobjekt in Deutschland: Fachsymposien. Online verfügbar unter <https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/bimid>; [https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=File.download&id=1459&name=BIMiD\\_Pr%C3%A4sentation\\_Berlin\\_Oetke\\_Centmeyer\\_Erfahrungen\\_der\\_Bauleitung.pdf](https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=File.download&id=1459&name=BIMiD_Pr%C3%A4sentation_Berlin_Oetke_Centmeyer_Erfahrungen_der_Bauleitung.pdf), zuletzt aktualisiert am 02.02.2019.
- Mohamed, Khaled Salah** (2019): The Era of Internet of Things. Towards a smart world. Cham: Springer Nature AG.
- Okhuysen, Gerardo A.; Lepak, David; Ashcraft, Karen L.; Labianca, Giuseppe; Smith, Vicki; Steensma, Kevin H.** (2013): Theories of Work and Working Today. In: *The Academy of Management Review* (38), S. 491–502.
- Oltmanns, Hans-Georg; Baum, Andreas; Borowietz, Mirjam; Brechensbauer, Georg; Dahl, Frank; Herholz, Ronny; Hillebrand, Manuela; Jäppelt, Ulrich; Mayer, Peter; Reif, Matthias** (2019): Leistungen Building Information Modeling - die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI. Stand: Januar 2019: Schriftenreihe des AHO Nr. 11. Köln: Reguvis Bundesanzeiger Verlag.
- Pietsch, Gotthard; Scherm, Ewald** (2007): Organisation. Theorie, Gestaltung, Wandel. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- PricewaterhouseCoopers GmbH (Hg.)** (2020): Digitalisierung der Bauindustrie 2020. PwC-Studie zur Digitalisierung der Baubranche unter Berücksichtigung der Corona-Pandemie und des Infrastrukturausbaus. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/pwc-studie-digitalisierung-der-bauindustrie-2020.pdf>, zuletzt geprüft am 30.01.2021.
- PricewaterhouseCoopers GmbH (Hg.)** (2019): Digitalisierung der deutschen Bauindustrie 2019. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digitalisierung-der-deutschen-bauindustrie-2019.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Rank, Susanne; Scheinpflug, Rita; Bidjanbeg, Beate (Hg.)** (2010): Change Management in der Praxis. Beispiele, Methoden, Instrumente. 2. Aufl. Berlin: Schmidt Verlag.
- Reichwald, Ralf; Möslin, Kathrin** (1997): Organisation. Strukturen und Gestaltung. Arbeitsbericht Nr. 14. Hg. von der Technischen Universität München. Lehrstuhl für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre. München.
- Rein, Stefan** (2021): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2021. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2021/ak-01-2021-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2021/ak-01-2021-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 03.03.2021.

- Rein, Stefan** (2020): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2020. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2020/ak-02-2020-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2020/ak-02-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 05.05.2020.
- Sakr, Sherif; Wylot, Marcin; Mutharaju, Raghava; Le Phuoc, Danh; Fundulaki, Irini** (2018): Linked data. Storing, querying, and reasoning. Cham: Springer.
- Schiller, Klaus; Faschingbauer, Gerald** (2016): Die BIM-Anwendung der DIN SPEC 91400. Berlin: Beuth Verlag.
- Schneider, Georg; Albert, Martin** (2019): Innovationsfähigkeit: ein systematisches Literaturreview. Working Papers of the Chair for Innovation Research and Technology Management. Hg. v. der Technischen Universität Chemnitz. Professur für Innovationsforschung und Technologiemanagement. Chemnitz.
- Schneider, Werner** (2017): Prozessorientiertes Bauprojektmanagement. Kurzanleitung Heft 1. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Schou, Lone; Hostrup, Helle; Lyngso, Elin E.; Larsen, Susan; Poulsen, Ingrid** (2012): Validation of a new assessment tool for qualitative research articles. In: Journal of Advanced Nursing, 68 (9), S. 2086–2094.
- Schreyögg, Georg; Geiger, Daniel** (2016): Organisation. Grundlagen moderner Organisationsgestaltung. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Seyda, Susanne** (2019): IW-Report 10/2019. Digitalisierung und Weiterbildung - Industrie 4.0 versus Dienstleistung 4.0. Hg. v. Institut der Deutschen Wirtschaft Köln. Online verfügbar unter [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Report/PDF/2019/IW-Report\\_2019\\_Digitalisierung\\_Weiterbildung.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2019/IW-Report_2019_Digitalisierung_Weiterbildung.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- Sommer, Hans** (2016): Projektmanagement im Hochbau. Mit BIM und Lean Management. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Spath, Dieter; Westkämper, Engelbert; Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans-Jürgen (Hg.)** (2017): Neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation. Berlin, Heidelberg: Vieweg.
- Staehe, Wolfgang H.; Conrad, Peter; Sydow, Jörg** (1999): Management. Eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive. 8. Aufl. München: Verlag Franz Vahlen.
- Stange, Matthias** (2020): Building Information Modelling im Planungs- und Bauprozess. Eine quantitative Analyse aus planungsökonomischer Perspektive. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Statistisches Bundesamt (Hg.)** (2019): Dienstleistungen. Strukturserhebung im Dienstleistungsbereich Architektur- und Ingenieurbüros 2017. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/\\_inhalt.html#sprg239534](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html#sprg239534), zuletzt geprüft am 15.02.2022.
- Statistisches Bundesamt (Hg.)** (2022): Produzierendes Gewerbe. Tätige Personen und Umsatz der Betrieb im Baugewerbe. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Baugewerbe-Struktur/personen-umsatz-baugewerbe-2040510197004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Baugewerbe-Struktur/personen-umsatz-baugewerbe-2040510197004.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 15.05.2020.
- Statistisches Bundesamt (Hg.)** (2020a): Produzierendes Gewerbe. Tätige Personen und Umsatz der Betrieb im Baugewerbe. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Baugewerbe-Struktur/personen-umsatz-baugewerbe-2040510197004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Baugewerbe-Struktur/personen-umsatz-baugewerbe-2040510197004.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 15.05.2020.
- Statistisches Bundesamt (Hg.)** (2020b): Struktur des Bauhauptgewerbes in Deutschland. Hg. v. Hautverband der deutschen Bauindustrie e.V. Online verfügbar unter <https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/statistik-anschaulich/struktur/betriebsstruktur/>, zuletzt geprüft am 15.03.2020.
- Statistisches Bundesamt (Hg.)** (2020c): Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft. Wiesbaden (1020210201064). Online verfügbar unter

- [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Querschnitt/bauwirtschaft-1020210201064.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Querschnitt/bauwirtschaft-1020210201064.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 19.10.2020.
- Stehling, Hanno; Scheurer, Fabian; Roulier, Jean** (2017): Bridging the Gap from CAD to CAM: Concepts, Caveats and a new Grasshopper Plug-In. In: Fabricate 2014. London: UCL Press, S. 52–59.
- Steinle, Claus; Eggers, Bernd; Ahlers, Friedel** (2008): Change Management. Wandlungsprozesse erfolgreich planen und umsetzen. Band 30. München, Mering: Rainer Hampp Verlag.
- Strotmann, Henriette** (2018): AVA - modellbasiert mit iTWO. Unter Verwendung eines Revitmodells. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- techconsult GmbH (Hg.)** (2020): Digitalisierungsindex 2020/2021. Der digitale Status quo des deutschen Mittelstandes. Hg. v. Deutsche Telekom AG Kassel. Online verfügbar unter [https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2020/12/Telekom\\_Digitalisierungsindex\\_2020\\_GESAMTBERICHT.pdf](https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2020/12/Telekom_Digitalisierungsindex_2020_GESAMTBERICHT.pdf), zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- techconsult GmbH (Hg.)** (2019): Digitalisierungsindex Mittelstand 2019/2020. Der digitale Status quo des deutschen Mittelstands. Hg. v. Deutsche Telekom AG Kassel. Online verfügbar unter [https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2019/11/techconsult\\_Telekom\\_Digitalisierungsindex\\_2019\\_GESAMTBERICHT.pdf](https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2019/11/techconsult_Telekom_Digitalisierungsindex_2019_GESAMTBERICHT.pdf), zuletzt geprüft am 03.03.2020.
- techconsult GmbH (Hg.)** (2018): Digitalisierungsindex Mittelstand 2018. Der digitale Status quo des deutschen Mittelstandes. Hg. v. Deutsche Telekom AG Kassel. Online verfügbar unter [https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2018/11/Telekom\\_Digitalisierungsindex\\_2018\\_GESAMTBERICHT.pdf](https://www.digitalisierungsindex.de/wp-content/uploads/2018/11/Telekom_Digitalisierungsindex_2018_GESAMTBERICHT.pdf), zuletzt geprüft am 12.07.2019.
- Theisen, Manuel René; Theisen, Martin** (2017): Wissenschaftliches Arbeiten. Erfolgreich bei Bachelor- und Masterarbeit. 17. Aufl. München: Franz Vahlen.
- Thiemann, Daniel; Kozica, Arjan; Rauch, Ricarda; Kaiser, Stephan** (2019): Digitalisierungsatlas. Die Digitalisierung der Arbeitswelt verstehen und gestalten. In: Zeitschrift für Führung + Organisation (ZfO) 88 (2), S. 114–121.
- Ulrich, Hans** (2001): Systemorientiertes Management. Das Werk von Hans Ulrich. Bern: Haupt Verlag.
- van Alphen, Christian/Bärtle, Doris** (2018): Digitale Transformation 2018. Hemmnisse, Fortschritte, Perspektiven. Unter Mitarbeit von Julian Kawohl. Hg. v. etventure GmbH Berlin. Online verfügbar unter [https://sdv-dialogmarketing.ch/wp/wp-content/uploads/2018/10/etventure\\_Studie\\_2018-Trendreport-Digitale-Transformation-2018.pdf](https://sdv-dialogmarketing.ch/wp/wp-content/uploads/2018/10/etventure_Studie_2018-Trendreport-Digitale-Transformation-2018.pdf), zuletzt geprüft am 21.08.2019.
- van Treeck, Christoph; Elixmann, Robert; Rudat, Klaus; Hiller, Sven; Herkel, Sebastian; Berger, Markus** (2016): Gebäude.Technik.Digital. Building Information Modeling. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Vanini, Ute** (2017): Instrumente für eine systematische Identifikation von Risiken. In: Werner Gleißner und Andreas Klein (Hg.): Risikomanagement und Controlling. Chancen und Risiken erfassen, bewerten und in die Entscheidungsfindung integrieren. 2. Aufl. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Gruppe, S. 67–84.
- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 1:2020-07** (2020): Building Information Modeling: Grundlagen. Beuth Verlag: Berlin.
- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4:2020-08** (2020): Building Information Modeling: Anforderungen an den Datenaustausch. Beuth Verlag: Berlin.
- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 5:2018-12** (2018): Building Information Modeling: Datenmanagement. Beuth Verlag: Berlin.
- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 7:2020-06** (2020): Building Information Modeling: Prozesse, Beuth Verlag: Berlin.
- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 9:2020-08** (2020): Building Information Modeling: Klassifikationssysteme. Beuth Verlag: Berlin.

- VDI-Richtlinie 2552 Blatt 10:2020-01** (2020): Building Information Modeling: Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP). Beuth Verlag: Berlin.
- VDI/bS-Richtlinie 2552 Blatt 11.1:2020-09** (2020): Building Information Modeling: Informationsaustauschanforderungen. Beuth Verlag: Berlin.
- Verband für die Digitalisierung im Immobilienbetrieb CAFM RING e.V. (Hg.)** (2020): CAFM-Connect. Standardschnittstelle zum Austausch von Immobiliendaten. Online verfügbar unter <https://www.cafmring.de/caf-m-connect/>, zuletzt aktualisiert am 12.12.2020.
- Wöhe, Günter** (1986): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 16. Aufl. München: Vahlen.
- Wöhe, Günter; Döring, Ulrich** (2008): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 23. Aufl. München: Vahlen.
- Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. (Hg.)** (2021): Baumarkt 2020 Perspektiven 2021. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.zdb.de/fileadmin/user\\_upload/Baumarkt\\_2020\\_-\\_Internet.pdf](https://www.zdb.de/fileadmin/user_upload/Baumarkt_2020_-_Internet.pdf), zuletzt geprüft am 05.08.2021.
- Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. (Hg.)** (2020): Baumarkt 2019 Perspektiven 2020. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.zdb.de/fileadmin/user\\_upload/Baumarkt\\_Jahr\\_2020\\_Internet.pdf](https://www.zdb.de/fileadmin/user_upload/Baumarkt_Jahr_2020_Internet.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2020.
- Zimmermann, Volker** (2018): KfW-Digitalisierungsbericht Mittelstand 2018. Digitalisierung erfasst breite Teile des Mittelstands - Digitalisierungsausgaben bleiben niedrig. Hg. v. KfW Bankengruppe: Abteilung Volkswirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Digitalisierungsbericht-Mittelstand/KfW-Digitalisierungsbericht-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2020.

**Anhang****Anhangverzeichnis [separater Downloadlink]**

Anhang 1: Diskussion der Syntheseform.....	137
Anhang 2: Bedrohungen der externen Validität .....	140
Anhang 3: Datenbankrecherche Digitalisierungsrealität.....	142
Anhang 4: Einbezogene Studien: Digitalisierungsrealität.....	143
Anhang 5: Rohdatenblatt: digitale Instrumente und Herausforderungen .....	147
Anhang 6: Rohdatenblatt: Stand der Digitalisierung .....	148
Anhang 7: Digitalisierungsherausforderungen .....	149
Anhang 8: Rohdatenblatt: Digitalisierungsherausforderungen .....	150
Anhang 9: Rohdatenblatt: innerbetriebliche Digitalisierungsauswirkungen .....	151
Anhang 10: Bauvolumina nach Produzentengruppen.....	152
Anhang 11: Größenklassen im Bauhauptgewerbe 2012 bis 2020 .....	153
Anhang 12: Recherche nach TREAD: Digitalisierung deutsche Bauwirtschaft.....	154
Anhang 13: Einbezogene Studien: Digitalisierung deutsche Bauwirtschaft.....	155
Anhang 14: Rohdatenblatt: digitale Fähigkeiten.....	156
Anhang 15: BIM – Anwendungsrealität: Datenbankrecherche .....	157
Anhang 16: Einbezogene Studien zur BIM-Anwendungsrealität .....	158
Anhang 17: Aufgabenanalyse und Aufgabensynthese .....	159
Anhang 18: BIM – Strukturmodell Ebene 0 bis Ebene III .....	161
Anhang 19: BIM – Bauprojektorganisation in den Modellprojekten .....	163
Anhang 20: Modellprojekte und mitwirkende Institutionen .....	164
Anhang 21: Rohdatenblatt: Anwendungsfallvorkommen: Modellprojekte.....	165
Anhang 22: BIM – AWF in Zuordnung zur Objekt- und Fachplanung nach HOAI .....	166
Anhang 23: Anwendungsfälle: kumulierte Häufigkeiten .....	177
Anhang 24: ekF – Kodierung und Häufigkeiten in AWF .....	178
Anhang 25: ekF – Kollektion.....	185
Anhang 26: Rohdatenblatt: ekF-Vorkommen in AWF .....	186
Anhang 27: ekF – Vorkommen in den Strukturbereichen.....	191
Anhang 28: Detailergebnisse Strukturbereich Aufbauorganisation .....	194
Anhang 29: Beispiel für ein Information Delivery Manual [IDM] .....	203
Anhang 30: Detailergebnisse Strukturbereich Ablauforganisation .....	205
Anhang 31: Detailergebnisse Strukturbereich Informationsressourcen.....	213
Anhang 32: Erläuterung Primärformate, Sekundärformate und Modellarten .....	217
Anhang 33: Detailergebnisse Strukturbereich Technologie .....	224
Anhang 34: exemplarische Schnitt- und Geometrieprüfung.....	231
Anhang 35: IFC – Hierarchie der Vererbung.....	235
Anhang 36: exemplarische BPMN-Darstellung AWF 30 .....	236

**[Hinweis: alle Anlagen sind über folgenden Link abrufbar.**

<https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.4928>

## Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Nr.	Jahr	Titel
1	2000	<b>45 Jahre Baubetrieb und Bauverfahren in Weimar</b>
2	2000	<b>Tag des Baubetriebs 2000 – Tagungsbeiträge</b>
3	2001	<b>2. Fachtagung Sicherheit auf Baustellen</b>
4	2002	<b>2. Tag des Baubetriebs 2002 – Tagungsbeiträge – Über den Strukturwandel zur Konjunktur: Innovation – Qualität – Zahlungssicherheit</b>
5	2003	<b>3. Fachtagung Sicherheit auf Baustellen</b>
6	2004	<b>3. Tag des Baubetriebs 2004 – Tagungsbeiträge – Planungshaftung in der Bauausführung</b>
7	2005	<b>Stefan Weyhe: Bauschadensprophylaxe als Beitrag zur Qualitätssicherung während der Bauausführung</b> , Dissertation
8	2005	<b>4. Fachtagung Sicherheit auf Baustellen: Erfahrung – Arbeitssicherheit - Leistung</b>
9	2005	<b>Grundlagen des Baubetriebswesens – ein kurzer Überblick</b> , Lehrunterlage
10	2005	<b>Die Professur Baubetrieb und Bauverfahren 2000 bis 2005</b>
11	2005	Raghavendra Kulkarni: <b>An Algorithm for Decision-making at the Front-end in International Project Management</b> , Dissertation
12	2006	<b>4. Tag des Baubetriebs 2004 – Tagungsbeiträge – Nachtragsmanagement in Praxis und Forschung</b>
13	2006	Arno Blickling: <b>Spezifikation des Bau-Solls durch interaktive Modellierung auf virtuellen Baustellen</b> , Dissertation
14	2007	<b>5. Fachtagung Sicherheit auf Baustellen „Gesund arbeiten bis zur Rente“</b>
15	2007	Norbert Krudewig: <b>Streitbeilegungsmodell für die deutsche Bauwirtschaft</b> , Dissertation
16	2007	Barbara Leydolph: <b>Ausbau von Fugendichtstoffen im Rahmen von Gebäuderückbau und Sanierung</b> , Dissertation
17	2008	<b>5. Tag des Baubetriebs 2008 – Tagungsbeiträge – Auf dem Weg zum digitalen (Bau-)haus-Bau</b>
18	2008	<b>Grundlagen des Baubetriebswesens – Skript zur Vorlesung</b> , Lehrunterlage
19	2010	<b>6. Tag des Baubetriebs 2010 – Tagungsbeiträge – Modellierung von Prozessen zur Fertigung von Unikaten</b>
20	2010	<b>Grundlagen des Baubetriebswesens – Skriptum zur Vorlesung</b> , Lehrunterlage, 3. überarbeitete Auflage
21	2011	Bargstädt, H.-J.; Ailland, K. (Hrsg.): <b>Proceedings of the 11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality</b> , Germany, Weimar Nov. 3-4, 2011
22	2012	Antje Hegwald: <b>Strategische Handlungsempfehlungen für die technische Bewirtschaftung von Wohnungsbeständen</b> , Dissertation
23	2012	Ulrike Beißert: <b>Constraint-basierte Simulation zur Terminplanung von Ausführungsprozessen: Repräsentation baubetrieblichen Wissens mittels Soft Constraints</b> , Dissertation
24	2012	Heinrich Best: <b>Kooperationsstrategien spezialisierter Ingenieurberatungsunternehmen im internationalen Wettbewerb</b> , Dissertation
25	2012	Dirk Orbanz: <b>Budgetierung im Straßenbetriebsdienst - Bestimmungsfaktoren und der Einfluss von Straßenzustand und Verkehrsstärke</b> , Dissertation
26	2013	<b>Tagungsband zum 24. Assistententreffen der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und der Bauverfahrenstechnik</b> , Fachtagung an der Bauhaus-Universität Weimar
27	2013	Amir Elmahdi: <b>Grid Based Simulation Model for Workspace Management and Analysis</b> , Dissertation

Nr.	Jahr	Titel
28	2013	Anne Alexander: <b>Quantitative Erfassung von Risiken und Simulation ihrer Auswirkungen auf den Verlauf eines Bauprojektes</b> , Dissertation
29	2013	Karin Ailland: <b>Ereignisbasierte Abbildung von Bau-Ist-Zuständen</b> , Dissertation
30	2013	<b>Grundlagen des Baubetriebswesens - Skriptum zur Vorlesung</b> , Lehrunterlage, 4. überarbeitete Auflage
31	2014	Hong Ha Le: <b>A model for manpower relocation considering the impact derived from weather forecasts</b> , Dissertation
32	2014	Dang Thi Trang: <b>Automated Detailing of 4D Schedules</b> , Dissertation
33	2014	Julia K. Voigtmann: <b>Simulation bauleistungsprozesse</b> , Dissertation
34	2016	Sebastian Hollermann: <b>An object-oriented Approach for knowledge-based Project planning</b> , Dissertation
35	2016	<b>Grundlagen des Baubetriebswesens - Skriptum zur Vorlesung</b> , Lehrunterlage, 4. überarbeitete Auflage
36	2017	Jürgen Melzner: <b>Ein Modell zur objektorientierten Gefährdungsbeurteilung im Hochbau</b> , Dissertation
37	2017	Abdur Rehman Nasir: <b>A digital Task Instruction Model for low skilled construction workforce</b> , Dissertation
38	2019	Beate Massa: <b>Methodenentwicklung für die Abwicklung des anlagentechnischen Brandschutzes komplexer Bauprojekte unter Betrieb</b> , Dissertation
39	2021	Judith Fauth: <b>Ein handlungsorientiertes Entscheidungsmodell zur Feststellung der Genehmigungsfähigkeit von Bauvorhaben</b>
40	2021	Stefan Hörhold: <b>Leistungsbezogene Musterjahresganglinien für den Straßenbetriebsdienst</b> , Dissertation
41	2023	Franziska Weise: <b>Erfolgskritische Faktoren in exemplarischen Building Information Modeling-Anwendungsfällen: Eine Analyse unter der Beachtung schleppender Digitalisierung und organisationaler Veränderungen</b> , Dissertation
42	2023	Nadine Wills: <b>Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM auf Grundlage von Sensortechnologien und BIM</b> , Dissertation
43	2023	Tino Walther: <b>Ein Modell zur Optimierung der Bauleistungsfeststellung von Linienbaustellen</b> , Dissertation



Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren