

Nadine Wills

Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

42 | 2023

Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM auf Grundlage von Sensortechnologien und BIM

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

Druck

Blueprint. druck + medien gmbh

Der Volltext dieser Publikation ist abrufbar unter folgender DOI:

<https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.4924>

Jahr der Ersterscheinung: 2023

**Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM auf
Grundlage von Sensortechnologien und BIM**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR

vorgelegt von

Nadine Wills, M.Sc.

geb. am 23.01.1991 in Rotenburg a.d. Fulda

Gutachtende:

1. Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt
2. Prof. Dr.-Ing. Joaquín Díaz
3. Prof. Dr.-Ing. Matthias Sundermeier

Tag der Disputation: 07. Dezember 2022

Vorwort der Herausgeber

Die Digitalisierung im Bauwesen ist auf einem guten und sich dynamisch entwickelnden Weg. Dieses gilt zumindest für die Planungs- und zunehmend auch für die Bauprozesse. Der Übergang in das Facility Management sowie die Nutzung des digitalen Potentials in der Betriebsphase ist jedoch vorsichtig betrachtet sehr zurückhaltend. Dieses liegt wesentlich daran, dass die Akteure in der Nutzungsphase einerseits meist nur einen geringen Bruchteil der Informationen aus der Entstehungsphase eines Bauwerks benötigen und dass sie andererseits dringend darauf angewiesen sind, diese reduzierten Gebäudemodelle sehr gezielt mit laufenden Daten aus der Betriebsphase zu ergänzen.

Frau Wills hat sich in ihrer Dissertation gezielt darauf konzentriert, Möglichkeiten der Sensor-basierten Informationsgewinnung in die Betriebsphase einzuführen und diese mit den Informationen aus einem BIM-basierten Gebäudemodell zu verknüpfen. Diesen reichhaltigen Informationsfundus wertet sie dazu aus, die Grundlagen für ein bedarfsorientiertes Facility Management zu legen.

Ihre Forschungsarbeit ist insofern innovativ, als dass sie aktuellste Sensorik mit ausgefeilten Bewertungsalgorithmen verknüpft. Dabei kommt es in der täglichen Praxis darauf an, zunächst nach ohnehin verfügbaren bzw. verbauten Sensoren und anderen Messfühlern Ausschau zu halten. Dann ist zu analysieren, welche für die eigene Aufgabe, beispielsweise in ihrer Dissertation die Gebäudereinigung, nutzbringend abgefragt und ausgewertet werden können. Erst an dritter Stelle steht sodann die Überlegung, an welcher Stelle welche zusätzliche Sensoren noch notwendige ergänzende Daten liefern müssten.

Die auf diese Weise abgreifbaren Daten werden an Hand eines fiktiven Nutzungsbeispiels bewertet. In unterschiedlichen Szenarien werden daraus Handlungsoptionen abgeleitet, hier ganz konkrete Reinigungs- und Wartungsaufgaben.

Die Professur Baubetrieb und Bauverfahren baut mit dieser Veröffentlichung ihr Engagement im Forschungsgebiet der digitalgestützten Gebäudeoptimierung für den gesamten Lebenszyklus von Planen, Bauen und Betrieb konsequent fort.

Wir wünschen allen Leserinnen und Lesern dieser Arbeit einen hohen Erkenntnisgewinn und eine ansprechende Lektüre. Insbesondere freuen wir uns mit Frau Wills und ihren Forschungspartnern, dass die Arbeit dazu beiträgt, weiter konsequent an der Verbesserung der Betriebsphasen in Forschung und Praxis zu arbeiten und somit die Digitalisierung des Lebenszyklus von Bauwerken voranzutreiben.

Weimar im Dezember 2022

Jürgen Melzner
Leiter der Professur
Baubetrieb und Bauverfahren

Hans-Joachim Bargstädt
Seniorprofessor an der
Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Bauhaus-Universität Weimar

Vorwort der Verfasserin

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nie das Werk einer einzelnen Person. Deshalb ist es jetzt an der Zeit, mich bei allen Menschen zu bedanken, die mir die Erstellung meiner Dissertation ermöglicht haben.

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr.-Ing. Bargstädt, meinem Doktorvater, für die Betreuung dieser Arbeit, der freundlichen Hilfe und der Tatsache für mich komplexe und unlösbar anmutende Probleme in unkomplizierter Weise darzustellen und zu objektivieren. Ich habe die Dialoge stets als Ermutigung und Motivation empfunden.

Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Diaz für die Zweitbetreuung meiner Arbeit seitens der Technischen Hochschule Mittelhessen. Auch meine Diskussionen mit ihm und seine Hinweise haben geholfen, diese Arbeit zu erstellen.

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Sundermeier für die Übernahme des Drittgutachtens.

Die Möglichkeit, berufsbegleitend zu promovieren, verdanke ich der Technischen Hochschule Mittelhessen. Hier gebührt ein ganz besonderer Dank meinen Kolleginnen und Kollegen vom Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, die mich während der Erstellung meiner Arbeit begleitet haben. Ganz besonders sei an dieser Stelle Annika, Franziska, Meike und Monika für das Korrekturlesen einzelner Kapitel gedankt.

Professor Dr.-Ing. Udo Fiedler und Prof. Dr.-Ing. Lars Heinert danke ich vielmals, die Arbeit vor der finalen Einreichung in Gänze zu lesen. Ihre kritischen Einwände, differenzierten Anmerkungen und hilfreichen Hinweise haben dazu beigetragen, dass diese Dissertation erfolgreich eingereicht werden konnte.

Zum Schluss danke ich besonders den Menschen, ohne deren Rückhalt und Unterstützung mein Promotionsvorhaben und die Erstellung der Arbeit nicht möglich gewesen wären. Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mich auf dem Weg bis zur Einreichung und Verteidigung dieser Arbeit in allen Belangen unterstützt haben. Dazu zählt insbesondere die Vermittlung der Tatsache, dass ein Doktorgrad eine ganz besondere Auszeichnung für Mühe, Ehrgeiz, Fleiß und Durchhaltevermögen ist, die den Charakter und die Persönlichkeit eines Menschen jedoch nicht ausmacht. Deshalb widme ich ihnen diese Arbeit.

An letzter, doch eigentlich an erster Stelle, danke ich meinem Partner Carsten. Das unermüdlich geduldige Zuhören, die Hilfen in Wort und Tat, die Rücksichtnahme, Geduld und uneingeschränkten Aufmunterungen sowie die Ablenkungen in schwierigen Phasen der Promotion haben dazu beigetragen, dass die vorliegende Arbeit den Leserinnen und Lesern zur Verfügung steht.

Inhalt

Inhalt.....	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung.....	9
1.1 Anlass der Arbeit und Forschungsfrage	10
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit	13
1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit.....	14
2 Stand der Forschung.....	15
2.1 Grundlagen zu Facility Management.....	15
2.1.1 Definitorische Erläuterungen zu Facility Management	15
2.1.2 Richtlinien, Regelwerke und Rechtsquellen des FM	19
2.1.3 Daten und Dokumente im FM.....	22
2.1.4 Ausgangssituation der Leistungserbringung im FM	23
2.2 Building Information Modeling	26
2.2.1 Thematische Einordnung und Definitionen.....	26
2.2.2 BIM im FM	28
2.2.3 Richtlinien und Regelwerke für BIM im FM	31
2.3 Sensortechnologien und Internet of Things (IoT)	32
2.3.1 Technische Grundlagen und thematische Einordnung.....	32
2.3.2 Sensortechnologie und IoT im FM.....	35
2.3.3 Sensordatenanalyse und Auswertung im FM.....	38
2.4 Integrale Betrachtung von FM, BIM und Sensortechnologien	38
2.5 Grundlagen des Datenaustauschs für BIM im FM.....	40
2.6 Zusammenfassende Betrachtung des aktuellen Stands	42
3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung	44
3.1 Grundlagen relationaler Datenbankstrukturen.....	44
3.2 Methodisches Vorgehen der Informationsmodellierung	46
3.3 Bestandteile des Informationsmodells.....	48
3.3.1 Relevante Informationen für FM-Leistungserbringung	48
3.3.2 Kategorisierung FM-relevanter Informationen	51
3.4 Informationsstrukturierung.....	53
3.4.1 Strukturierung von Gebäudeinformationen.....	54
3.4.2 Strukturierung von Prozessinformationen	57
3.4.3 Strukturierung von Sensorinformationen	60
3.4.4 Gesamtmodellierung	63
3.5 BIM-Anforderungen bedarfsgerechter FM-Leistungserbringung	64

3.6	Abschluss der Grundlagen und weiteres Vorgehen	65
4	Entscheidungsalgorithmen	67
4.1	Grundlagen zu Bedarf, Entscheidungen und Entscheidungsalgorithmen	67
4.2	Bedarfsermittlung	70
4.2.1	Auswertungserfüllungsgrade (AEG)	71
4.2.2	Entscheidungsarten und Entscheidungserfüllungsgrade (EEG)	74
4.2.3	Opportune Tätigkeitsausführung	79
4.3	Leistungsbeauftragung, Auftragsannahme und Quittierung	81
4.4	Dynamisierung des Informationsmodells.....	83
4.4.1	Implementierung von Sensorauswertungen in das Informationsmodell	84
4.4.2	Implementierung von Entscheidungsalgorithmen in das Informationsmodell.....	85
4.5	Programmablauf bedarfsorientierter Leistungserbringung	86
4.6	Zusammenfassende Betrachtung zu Entscheidungsalgorithmen	92
5	Simulative Evaluierung des Modells.....	94
5.1	Eingangsparameter und Szenarien	96
5.2	Implementierung des WEIMAR in eine Datenbank	99
5.3	Betrachtete Aufträge, Entscheidungen und Entscheidungsarten	100
5.4	Durchführung der Simulation und Ergebnisse.....	103
5.4.1	Bedarfsermittlung	103
5.4.2	Gegenüberstellung WEIMAR-basierte und verrichtungsorientierte Reinigung.....	106
5.4.3	Beauftragung und Dokumentation.....	108
5.4.4	Opportune Leistungserbringung	110
5.4.5	Verfügbarkeit der Elemente der Leistungserbringung	111
5.4.6	Zusammenfassende Betrachtung der Simulationen.....	112
6	Fazit und Ausblick	115
6.1	Zusammenfassung der Arbeit	115
6.2	Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick.....	116
7	Literatur	118
	Abbildungsverzeichnis.....	131
	Tabellenverzeichnis.....	133
	Anhangverzeichnis	134

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Auswertungserfüllungsgrad
AIA	Auftraggeberinformationsanforderung
AIM	Asset-Information-Model
AIR	Asset-Information-Requirement
BACnet	Building Automation and Control Network
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BCF	BIM Collaboration Format
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CAD	Computer-Aided Design
CAFM	Computer Aided Facility Management
CDE	Common Data Environment
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CoAP	Constrained Application Protocol
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
DB	Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DBS	Datenbanksystem
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DL	Dienstleister
DMS	Dokumentenmanagementsystem
EEG	Entscheidungserfüllungsgrad
EG	Erdgeschoss
ER-Modelle	Entity-Relationship-Modelle
ERP	Enterprise-Resource-Planning
ff.	folgende
FM	Facility Management
FS	Facility Service
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
GEFMA	German Facility Management Association (Gesellschaft für Facility Management e.V.)
gem.	gemäß
gif	Gesellschaft für immobilienwirtschaftliche Forschung e.V.
GIS	Geoinformationssystem
GLT-System	Gebäudeleittechnik-System
GM	Gebäudemanagement
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

ID	Identifikationsnummer
IDM	Information Delivery Manual
I-Empf.	Informationsempfänger
IFC	Industry Foundation Classes
IFM	Infrastrukturelles Facility Management
I-Lief.	Informationslieferant
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
KFM	Kaufmännisches Facility Management
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LTE-M	Long Term Evolution for Machines
LZP	Lebenszyklusphase
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MVD	Model-View-Definition
NB-IoT	Narrowband IoT
OG	Oberer Grenzwert
PIM	Projekt-Informationen-Modell
RegIS	Regelinformationssystem
Richtlinie IDA	Richtlinie zum Immobilien-Daten-Austausch
SLA	Service Level Agreement
sog.	Sogenannte
TFM	Technisches Facility Management
UG	Unterer Grenzwert
UML	Unified Modeling Language
VBA	Visual Basic
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VOB/B	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil <i>B</i>
VOB/C	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil <i>C</i>
WEIMAR	Wissensbasiertes Entscheidungs- und Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM

1 Einleitung

Das Facility Management (FM) ist ein integrierter Prozess zur Erfüllung und Unterstützung multidisziplinärer Aktivitäten aller Gebäudelebenszyklusphasen (EN 15221-4) und agiert in Unternehmen als Sekundärprozess zur Unterstützung der Unternehmenskernfunktion (Gondring, Wagner 2018b). FM umfasst sämtliche Aktivitäten, die erforderlich sind, um Gebäude zu betreiben. Dazu gehören u. a. Objektver- und -entsorgung, Objektreinigung und -pflege oder Unterstützungsprozesse in Form von Personalwesen, Buchhaltung und Einkauf (GEFMA 100-1). Das Wachstum und die wirtschaftliche Bedeutung der FM-Branche in Deutschland lassen sich anhand des jährlichen Marktvolumens ableiten: Der Umsatz stieg von 44,7 Milliarden Euro im Jahr 2010 auf 54 Milliarden Euro im Jahr 2020 an. Davon wurden 31,5 % des Umsatzanteils durch Leistungserbringung im technischen Gebäudemanagement, 59 % im infrastrukturellen Gebäudemanagement und 2,4 % im kaufmännischen Gebäudemanagement erwirtschaftet (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2021). Leistungserbringung im FM kann auf verschiedene Arten erfolgen. Während der verrichtungs- bzw. funktionsorientierten Leistungserbringung statische Intervalle und Termine zugrunde liegen, die den eigentlichen Bedarf außer Acht lassen, erfordert die ergebnis- bzw. bedarfsorientierte Methode ein hohes Maß an Planung, Flexibilität und Koordination des Auftragnehmers zur Organisation einer Leistungserbringung. Die Art der Leistungsvergabe und -erbringung im FM bietet für Auftragnehmer und Auftraggeber gleichermaßen Vorteile und Risiken. Bei der verrichtungsorientierten Leistungserbringung werden die Intervalle durch den Auftraggeber definiert. Dies birgt das Risiko einer Leistungserbringung und -vergütung aufgrund fehlenden Bedarfs. Konträr dazu liegt die Verantwortung zur Einhaltung vertraglich definierter Leistungsziele bei dieser Leistungsform beim Auftragnehmer.

Die Nutzungskosten eines Gebäudes sind mit 44 % der größte Kostenanteil im Lebenszyklus (Litau 2015; Bogenstätter 2008). Das infrastrukturelle Facility Management erbringt zwar den zweitgrößten Umsatzanteil an FM-Dienstleistungen, ist zeitgleich aber auch der größte Kostentreiber in der Bewirtschaftung von Gebäuden: Je nach Gebäudetyp entfallen 50 % bis 73 % der Kosten des infrastrukturellen Facility Managements auf die Reinigung (Rotermund 2016). Unter nachhaltiger Betrachtung erweist sich eine bedarfsorientierte Leistungserbringung als sinnvoll, bei der die Verantwortung über vertraglich vereinbarte Leistungserbringung beim Auftraggeber liegt.

Die in Deutschland sukzessive stattfindende Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche, insbesondere die Methode des Building Information Modeling (BIM) sowie der Einsatz von Sensortechnologien stellen Möglichkeiten dar, FM-Leistungserbringung effizienter zu gestalten. BIM ist eine sich stark entwickelnde Methode des Bausektors (Fauth, Bargstädt 2019) und wird in Deutschland auf Basis des durch das Bundesministerium für Verkehr und

digitale Infrastruktur (BMVI) veröffentlichten „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ seit dem Jahr 2020 sukzessive bei neu zu planenden Verkehrsinfrastrukturprojekten realisiert (BMVI 2015, S. 12). Relevante Daten und Informationen der am Gebäudelebenszyklus beteiligten Parteien (z. B. Eigentümer, Architekten, Fachplaner, Betreiber) werden größtenteils in autarken Systemen gepflegt, was zu Informationsverlusten zwischen den Lebenszyklusphasen führt (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020a). Durch die BIM-Methode sind Informationen theoretisch von der Planungs- über die Bauphase bis in die Nutzungsphase eines Gebäudes für die Gebäudebewirtschaftung im Sinne des FM nutzbar. Dies soll einen durchgängigen Informationsaustausch aller Beteiligten über den Lebenszyklus von Gebäuden hinweg ermöglichen. Um jedoch Informationsverluste und damit Fehler bei der Informationsübergabe eines Bauwerkinformationsmodells zu vermeiden, ist bereits in der Planungsphase von Gebäuden der Einbezug des FM erforderlich (van Treeck 2016).

Neben der Nutzung der BIM-Methode stellt der Einsatz von Sensortechnologien und des Internet of Things (IoT) einen erkennbaren Trend in der FM-Branche dar (Marmo et al. 2020; Fialho, Codinhoto, Fabricio 2020; Al Dakheel et al. 2020). In der Praxis erfolgt die Nutzung von IoT und Sensortechnologien in Teilbereichen des FM wie beispielsweise Energiecontrolling Belegungs- oder Reinigungsmanagement (Jaspers et al. 2018). Sensortechnologien bieten die Möglichkeit, Zustandsparameter zu erfassen. Die Überwachung und Interpretation von Gebäudeumgebungen (innerhalb und außerhalb von Gebäuden) sowie die damit verbundene Generierung von Informationen dienen der Entscheidungsfindung von FM-Aktivitäten (Cigolini et al. 2008; Dibley et al. 2011).

1.1 Anlass der Arbeit und Forschungsfrage

Die derzeitige Art verrichtungsorientierter Leistungserbringung weist u. a. folgende Schwachstellen auf:

- Eine Tätigkeitsausführung erfolgt anhand vertraglich definierter und statischer Termine, Intervalle oder Zeiträume, unabhängig eines tatsächlich bestehenden Bedarfs.
- Die Abrechnung und Vergütung von Leistungen basieren auf der statischen Tätigkeitsausführung. Aus einer in Rechnung gestellten Tätigkeit, die ohne bestehenden Bedarf erbracht wurde, resultieren vermeidbare Kosten.
- Der tatsächliche Bedarf einer Tätigkeit bleibt aufgrund der Einhaltung des vertraglichen Regelwerks unbeachtet.

Dem gegenüber weist auch die bedarfsorientierte Leistungserbringung Schwachstellen auf:

- Die Ermittlung eines Bedarfs der Leistungserbringung führt zu Kostensteigerungen beim Auftragnehmer, wenn Personal den Bedarf durch Sichtkontrollen zu erfassen hat.

- Das Personal des Auftragnehmers muss derart geschult und qualifiziert sein, dass von in den Leistungsverzeichnissen beschriebenen Ergebnissen auf zu erbringende Tätigkeiten geschlossen werden kann.
- Auftraggeber sind der Gefahr ausgesetzt, die vertraglich vereinbarten Ergebnisse bei sich ändernden Geschäfts- und Bewirtschaftungsparametern nicht unmittelbar anzupassen, was zu einer negativen Beeinflussung der Unternehmenskernprozesse führen kann.
- Auftragnehmer müssen zur Kalkulation von Leistungsangeboten Zeitaufwände und Leistungshäufigkeiten konkret kalkulieren, was aufgrund agiler Kernprozesse des Auftraggebers nicht immer möglich ist.
- Der Personaleinsatz im Rahmen der Sichtkontrolle von Objekten zur Bedarfsermittlung ist subjektiv geprägt und gewährt keine vollumfängliche und quantifizierbare Bedarfserfassung.
- Unterlassene Tätigkeitsausführung bei bestehendem Bedarf einer Leistungserbringung induziert Unzufriedenheit bei Gebäudenutzern.
- Fehlende Bedarfsorientierung kann zu Schäden der Bausubstanz führen.

Die benannten Schwachstellen werden am Beispiel eines Bahnhofs erläutert: Das Passagier- und Personenaufkommen an Verkehrsgebäuden ist durch Ticketbuchungen sowie die Erfassungen des Pendleraufkommens partiell kalkulierbar. Unvorhersehbare Ereignisse wie beispielsweise eine außerplanmäßige Erhöhung oder eine Verminderung des Personenaufkommens initiieren jedoch nicht automatisch eine Anpassung der FM-Leistungserbringung. Bezogen auf den Facility Service Reinigungs- und Pflegedienste kann eine außerplanmäßige Erhöhung des Personenaufkommens zu einem außerplanmäßigen Reinigungsbedarf führen. Erfolgt eine verrichtungsorientierte Reinigung, bleibt die erforderliche Reinigung bis zum Eintreten des nächsten Reinigungsintervalls bzw. der nächsten Sichtkontrolle aus. Konträr dazu führt eine Reduzierung des Personenaufkommens zu Tätigkeitsausführungen, die finanzielle sowie Sach- und Personalressourcen unbegründet beanspruchen. Erfolgt eine bedarfsorientierte Reinigung, erfordert dies vom Auftragnehmer, dass der Bedarf der Reinigung unmittelbar erkannt und lokalisiert wird sowie Personalressourcen zur Tätigkeitsausführung bereitgestellt werden.

Der Einsatz von BIM im FM beschränkt sich in internationaler Betrachtung auf weniger als 1 % aller am Markt existierenden Neu- und Bestandsbauten (GEFMA 926). Gründe dafür sind neben fehlenden Regeln und Standards der in Unternehmen nicht erkannte Mehrwert einer lebenszyklusbetrachtenden Methode (CAFM Ring e.V. 2017).

Die in der Praxis für das FM genutzten Sensortechnologie-Anwendungen stellen häufig sog. Insellösungen dar, die durch Softwarehersteller für spezifische Kundenbedürfnisse programmiert und erst in der Nutzungsphase von Gebäuden, insbesondere bei Bestandsgebäuden,

installiert werden. Wissenschaftliche Ausarbeitungen der Hersteller, z. B. über die Ermittlung von Bedarfen, liegen nicht vor. Die zur bedarfsorientierten Leistungserbringung relevanten Daten liegen dem Auftragnehmer nur selten vor und müssen durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden.

Hieraus ergeben sich folgende Probleme:

- Daten aus der Planungs- und Errichtungsphase von Gebäuden werden häufig nicht in adäquater Weise für das FM bereitgestellt.
- Für die FM-Leistungserbringung relevante Daten und Informationen werden durch unterschiedliche Fachdisziplinen zur Verfügung gestellt, was zu Informationsverlusten bei der Übergabe von Fachmodellen führt.
- Die für die FM-Leistungserbringung benötigten Daten und Informationen sind aufgrund der Heterogenität von Gebäuden und deren Nutzungsarten diffizil und nicht vollumfänglich bekannt.
- Der integrale Einsatz von BIM-Methode und Sensortechnologien im FM fokussiert sich aktuell auf die Leistungserbringung der vorausschauenden Wartung und Inspektion von gebäudetechnischen Anlagen im Bereich des technischen FM (z. B. Aufzüge oder Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik). Dabei erfolgt eine geringe Fokussierung auf bedarfsorientierte Leistungserbringung des infrastrukturellen FM. Um Gebäudebewirtschaftung effizient zu gestalten, ist jedoch eine integrale, d. h. gesamtheitliche Betrachtung von in der Bau- und Planungsphase generierten sowie bei der Erfassung von Zustandsparametern ermittelten Informationen durch Sensortechnologie erforderlich.

Ein integraler Ansatz von BIM und Sensortechnologien zur effizienten Gestaltung der Gebäudebewirtschaftung ist jedoch noch nicht vollumfänglich erforscht. Die vorausschauende Wartung und Instandhaltung von gebäudetechnischen Anlagen (predictive maintenance) untersucht zwar erste Ansätze der integralen Anwendung von BIM und Sensortechnologien für das FM, bildet bedarfsorientierte FM-Leistungserbringung, insbesondere im infrastrukturellem Dienstleistungs-FM, nicht ab. Um dem FM prognostizierten Fachkräftemangel (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020b) im Bereich der reaktiven und bedarfsorientierten Leistungserbringung durch Einsatz von Technologien entgegenzuwirken, ist eine umfassende Übersicht und Abbildung aller Tätigkeiten bedarfsorientierter FM-Leistungserbringung erforderlich.

In Anbetracht der ausgeführten Problematik wird deutlich, dass Effizienzsteigerungen in der Gebäudebewirtschaftung durch den Einsatz von BIM und Sensortechnologien in der infrastrukturellen FM-Leistungserbringung realisierbar sind. Bereits vorhandene Potenziale werden dabei jedoch nicht vollständig ausgeschöpft. Daraus ergeben sich folgende Teil-Forschungsfragen:

1. Welche Informationen werden für die bedarfsorientierte FM-Leistungserbringung benötigt?
2. Welche Informationen sind zur bedarfsorientierten Leistungserbringung im Sinne einer lebenszyklusübergreifenden Gebäudeplanung durch die Akteure eines Gebäudes zur Verfügung zu stellen?
3. Wie kann der Bedarf einer Leistungserbringung durch den Einsatz von Sensortechnologien ermittelt werden?
4. Wie können Informationen und Daten aus Sensortechnologien und digitalen Gebäude- modellen zur FM-Leistungserbringung genutzt werden?
5. Ist vorausschauende Leistungserbringung eine Möglichkeit zur Steigerung der Gebäu- debewirtschaftungseffizienz?

Die Teilforschungsfragen resultieren in der Gesamtforschungsfrage dieser Dissertation:

Wie kann eine bedarfsorientierte und vorausschauende Leistungserbringung im FM, unter Ein- bezug von durch Sensortechnologien generierten Messwerten, erfolgen?

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die zuvor erläuterten Aspekte durch die Entwicklung eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM zu beheben. Dazu werden ein Informationsmo- dell und Entscheidungsalgorithmen entwickelt, mit denen Bedarfe durch die Auswahl geeigne- ter und mehrfach nutzbarer Daten zur Tätigkeitsausführung ermittelt und entscheidungsbasiert beauftragt und dokumentiert werden können. Im Sinne einer lebenszyklusübergreifenden Pla- nung wird definiert, welche Informationen für eine Leistungserbringung seitens des FM benö- tigt und durch welche Projektbeteiligten bereitgestellt werden müssen.

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit den für die bedarfsorientierte Leistungserbringung im in- frastrukturellen FM relevanten Informationen auseinander. Das FM ist untergliedert in strategi- sches, operatives und taktisches FM. Die Dissertation betrachtet das infrastrukturelle FM, ei- nen Bereich des operativen FM, und fokussiert sich dabei auf die Leistungen der Reinigungs- und Pflegedienste. Die Arbeit befasst sich mit der Unterhaltsreinigung von Gebäudeinnenräu- men und versucht, einen Beitrag zu leisten, bedarfsorientierte Leistungserbringung für Auf- tragnehmer und Auftraggeber in diesem Bereich transparent zu gestalten. Das Ziel dieser Ar- beit ist es nicht, ein BIM-Modell im Sinne eines digitalen Gebäudezwillings zu entwickeln, son- dern die Beschreibung der Vorgehensweise zur Ermittlung relevanter Daten und Informationen des FM, die in der Planungsphase bekannt sein müssen, um ein Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung zu entwickeln.

1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Im **zweiten Kapitel** dieser Arbeit wird zunächst der aktuelle Stand der Forschung der in dieser Arbeit zu untersuchenden Themen erläutert und es werden Restriktionen der derzeit genutzten Sensortechnologien und des Einsatzes des BIM im FM hergeleitet.

In **Kapitel 3** werden die für eine Leistungserbringung relevanten Informationen durch eine Literaturrecherche sowie quantitative Analyse von Leistungsverzeichnissen aus der Praxis hergeleitet. Diese Informationen werden kategorisiert und über Relationen miteinander in Beziehung gesetzt. Das Resultat ist ein Informationsmodell zur bedarfsorientierten Leistungserbringung.

Kapitel 4 behandelt zunächst die Ermittlung eines Bedarfs. Zur Nutzung verschiedener Sensoren zur Bedarfsermittlung wird eine Methode der Normierung von Sensormesswerten dargestellt. Durch die Definition unterschiedlicher Entscheidungsarten und der damit verbundenen Einführung von Entscheidungserfüllungsgraden ist die Grundlage bedarfsorientierter Leistungserbringung abgebildet. Es folgt die Betrachtung der vorausschauenden, sog. opportunen, Leistungserbringung in Verbindung mit bereits bestehenden Bedarfen. Anforderungen der Leistungsbeauftragung, -ausführung und -dokumentation werden definiert und prozessual beschrieben. Die entwickelten Algorithmen zur Bedarfsermittlung, Entscheidungsfindung, Leistungsbeauftragung und -dokumentation werden mit dem in Kapitel 3 entwickelten Informationsmodell verknüpft. Der daraus resultierende Programmablauf wird in Struktogrammen dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer zusammenfassenden Betrachtung der Entscheidungsalgorithmen ab.

Das aus einem Informationsmodell und Entscheidungsalgorithmen bestehende Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung wird in **Kapitel 5** theoretisch in Form von Simulationen evaluiert. Es erfolgt die Beschreibung der Eingangswerte und Szenarien der Simulationen sowie der Übertrag des Informationsmodells in eine Datenbank. Die dabei betrachteten Aufträge und Entscheidungen werden erläutert, bevor die Simulationsparameter in die Datenbank eingegeben werden und die Prüfung der Funktionsfähigkeit des Modells erfolgt.

In **Kapitel 6** werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und bewertet. Abschließend werden im Rahmen eines Ausblicks Aspekte aufgezeigt, die weitere Untersuchungen erfordern.

2 Stand der Forschung

Um ein Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM auf Grundlage von Sensortechnologien zu entwickeln, ist zunächst eine Einordnung und Definition der thematisch relevanten Begriffe erforderlich. Neben den Grundlagen der Leistungserbringung in der Nutzungsphase von Gebäuden sowie den daran beteiligten Akteuren wird die Rolle des FM im Sinne der lebenszyklusübergreifenden Planungsmethode des Building Information Modeling (BIM) erläutert. Wesentliche Aspekte zu Sensortechnologien im Allgemeinen sowie deren Anwendung im Gebäudebetrieb werden ausgeführt. Synergien und Restriktionen der integralen Betrachtung von BIM und Sensortechnologien im FM werden aufgezeigt. Im Anschluss daran werden die Grundlagen des Austauschs und der Nutzung von Daten und Informationen im Gebäudelebenszyklus betrachtet. Damit sind die Kernaspekte einer bedarfsorientierten Leistungserbringung im FM abgedeckt.

2.1 Grundlagen zu Facility Management

Aufgrund inkonsistenter und nicht eindeutiger Verwendung von Begriffen des FM in der Praxis sowie der Literatur (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018; Nävy 2018; Seifert 1998) werden die relevanten Begriffe zur besseren Einordnung im Kontext dieser Arbeit erläutert.

2.1.1 Definitorische Erläuterungen zu Facility Management

Folgende Begriffe stehen in engem Zusammenhang mit der Leistungserbringung in der Gebäudenutzungsphase.

- Facility Management (FM): Die DIN EN ISO 41011 definiert FM als „organisatorische Funktion, die Personen, Orte und Prozesse innerhalb einer bebauten Umgebung zu dem Zweck integriert, die Qualität des Lebens von Personen und die Produktivität des Kerngeschäfts zu verbessern“ (DIN EN ISO 41011). Die „Gesellschaft für Facility Management e.V.“ (GEFMA) definiert FM als eine Managementdisziplin, die durch ergebnisorientierte Handhabung von Facilities und Services im Rahmen geplanter, gesteuerter und beherrschter Facility Prozesse eine Befriedigung der Grundbedürfnisse von Menschen am Arbeitsplatz, Unterstützung der Unternehmenskernprozesse und Erhöhung der Kapitalrentabilität bewirkt (GEFMA 100-2). Das FM umfasst in seinem Aufgabenbereich alle Phasen eines Gebäudelebenszyklus: beginnend bei der Planung, die Bauphase, den Gebäudebetrieb, die Wartung, die Instandhaltung bis hin zum Rückbau und der Entsorgung von Materialien. Das FM ist gegliedert in die Bereiche Facilities, Services und Management (GEFMA 100-2). Der Begriff FM wird in vorliegender Arbeit in Anlehnung an Nävy (2018) definiert als ein „[...] strategisches Konzept zur Bewirt-

schaftung, Verwaltung und Organisation aller Sachressourcen innerhalb eines Unternehmens“ (Nävy 2018, S. 2). Sachressourcen umfassen Grundstücke, Gebäude, Anlagen, Ausstattungen, Räume, Infrastruktur und Versorgungseinrichtungen (Nävy 2018, S. 3). FM ist nicht an die physikalische Existenz von Gebäuden gebunden, sondern kann auch auf digitale Gebäude- und Bauwerksmodelle übertragen werden (Seifert 1998, S. 30).

- Lebenszyklusphasen (LZP): Die GEFMA strukturiert das FM in neun Gebäude-LZP: Konzeption (LZP1), Planung (LZP2), Errichtung (LZP3), Vermarktung (LZP4), Beschaffung (LZP5), Betrieb und Nutzung (LZP6), Umbau (LZP7), Leerstand (LZP8) und Verwertung (LZP9). Jede der neun LZP ist in Facility Prozesse gegliedert (GEFMA 100-1).
- Facility Prozess: Ein Facility Prozess ist ein Prozess, der durch Managementtätigkeiten Facilities und Dienstleistungen in ein Facility Produkt umwandelt, z. B. in einen funktionsfähigen Arbeitsplatz oder die Verfügbarkeit von Anlagen und Einrichtungen (GEFMA 100-1).
- Facility, facilities: Facilities sind Grundstücke, Gebäude, sonstige Bauwerke, bauliche und technische Anlagen, Anlagen und Einrichtungen, Ausstattungen, Geräte, Infrastrukturen, Arbeitsmittel, Energie, Hard- und Software (GEFMA 100-1). Facilities lassen sich somit als Sachgüter definieren (Nävy 2018) und können synonym zu Sachressourcen verwendet werden.
- Facility Service (FS): Ein Facility Service ist eine Leistung des operativen FM (Nävy 2018). Ein FS umfasst Dienstleistungen, die unter Einbeziehung von Facilities Anforderungen an das FM erfüllen. Die Leistungen des operativen FM sind differenziert in die Facility Service-Bereiche „Fläche und Infrastruktur“ sowie „Mensch und Organisation“ (Stadlöder 2013). Facility Services stellen für FM-Dienstleister Kernprozesse, also den Tätigkeitszweck eines Unternehmens oder einer Organisation, dar. Für den FM-Kunden sind Facility Services Unterstützungsprozesse, also Prozesse, die die Voraussetzung für Kernprozesse liefern (GEFMA 100-1). Der Kernprozess eines Reinigungs- und Pflegedienstleisters ist das Erbringen von Reinigungs- und Pflegeleistungen.
- Leistungserbringung: Die Bereitstellung eines Facility Service sowie die Sicherstellung der Leistungserfüllung durch Managementtätigkeiten wird als Leistungserbringung definiert (RealFM e.V., SVIT FM Schweiz, FMA Facility Management Austria 2015). Eine Leistungserbringung umfasst damit die Beauftragung, Ausführung und Dokumentation einer Tätigkeit.
- Kunde: Als FM-Kunden werden Personen oder Organisationen bezeichnet, die ein Facility Produkt, also das Ergebnis eines Facility Prozesses, empfangen. Kunden sind z. B. Eigentümer, Vermieter oder Mieter. Kunden können selbstnutzend, wie dies bei

Eigentümern der Fall ist, oder gewerbliche Mieter und Vermieter sein (GEFMA 100-1; Arndt 2018).

- Auftragnehmer, Dienstleister: Dienstleister (DL), die im FM agieren, stellen Facility Produkte bereit und können externen Unternehmen oder Organisationen angehören (GEFMA 100-1). In dieser Arbeit werden Dienstleister als externe Unternehmen oder Organisationen zur Erbringung von Facility Services betrachtet.
- Systemanbieter: Umfassende FM-Dienstleistungen gegenüber dem Kunden werden durch Systemanbieter erbracht. Systemanbieter können sämtliche Aufgaben in Eigenleistung erbringen oder Dienstleister zur Erbringung von Teilaufgaben wie z. B. Reinigungs- und Pflege- oder Wachdiensten beauftragen. Leistungen können in allen Leistungsbereichen erbracht werden oder durch den Systemanbieter auf einen Leistungsbereich wie z. B. technisches FM beschränkt sein (Arndt 2018).
- Betreiber: Der Betreiber eines Gebäudes stellt eine natürliche oder juristische Person oder eine rechtsfähige Personengesellschaft dar, die die Betreiberverantwortung trägt. Der Betreiber ist gesetzlich dazu verpflichtet, Gefahren oder Nachteile für Leben, Körper, Gesundheit, Freiheit, Eigentum oder sonstige Rechte von Personen oder für die Umwelt, die sich durch den Betrieb von Gebäuden ergeben, zu verringern oder zu vermeiden (GEFMA 190).
- Strategisches FM, taktisches FM, operatives FM: Das FM ist untergliedert in die Ebenen strategisch, taktisch und operativ (DIN EN ISO 41011). Auf strategischer Ebene erfolgt die Festlegung von Zielen sowie die Planung und Bewertung der Zielerreichung unter dem Aspekt der Langfristigkeit. Die taktische Ebene ist für die Planung und Steuerung von Ressourcen und spezifischen Mechanismen verantwortlich, welche für die betriebliche Lieferung von Produkten erforderlich sind. Die operative Ebene beinhaltet die Ausführung von Leistungen unter Beachtung definierter Ziele und Maßnahmen (DIN EN ISO 41011) und demnach auch das Erbringen von Facility Services.
- Gebäudemanagement (GM): Zwischen Leistungen des FM und des Gebäudemanagements existieren Überschneidungen (Nävy 2018). FM wird in der Literatur u. a. synonym für „Gebäudemanagement“, „Objektbewirtschaftung“ oder „Objektmanagement“ verwendet (Hellerforth 2006; Diederichs 2006). Als GM wird die Gesamtheit aller Leistungen bezeichnet, die zum Betreiben und zum Bewirtschaften von Gebäuden einschließlich der baulichen und technischen Anlagen auf der Grundlage ganzheitlicher Strategien erforderlich sind (DIN 32736). Dazu gehören auch die infrastrukturellen und kaufmännischen Leistungen. In dieser Arbeit wird die in der Literatur und Praxis gängige Auffassung (Preuß et al. 2016; Kochendörfer, Liebchen, Viering 2021; Alda, Hirschner 2016) vertreten und das operative FM dem Gebäudemanagement gleichgesetzt.

- **Leistungsbereiche:** Das operative FM ist in Verbindung mit der DIN 32736 (Gebäudemanagement) und den FM-Prozessen nach GEFMA 100-2 in technisches FM (TFM), infrastrukturelles FM (IFM) und kaufmännisches FM (KFM) differenziert (Arndt 2018; Nävy 2018). Das TFM umfasst Leistungen wie das Betreiben, das Energiemanagement oder die Sanierung von Gebäuden. Verpflegungs-, Reinigungs- und Pflegedienste sind Beispiele des IFM. Dem KFM sind u. a. die Leistungen Vertragsmanagement und Controlling zuzuordnen (GEFMA 100-1). Die Funktionsbereiche können getrennt voneinander betrachtet werden, agieren jedoch nicht autark (GEFMA 100-1). Eine Übersicht aller Tätigkeitsfelder des TFM, IFM, KFM befindet sich in Anhang A1.
- **Computer Aided Facility Management (CAFM):** Lebenszyklusphasenübergreifendes Informationsmanagement und die Digitalisierung von Gebäuden sowie zugehörigen Anlagen und Prozessen wird primär durch CAFM gestaltet. CAFM besteht aus einer CAFM-Software, einem CAFM-System sowie unternehmensspezifischen Systemen, die an das CAFM-System angeschlossen sind (Marchionini, Hohmann, May 2018). Wie in Abb. 2-1 dargestellt, sind weitere Systeme an das CAFM-System angeschlossen.

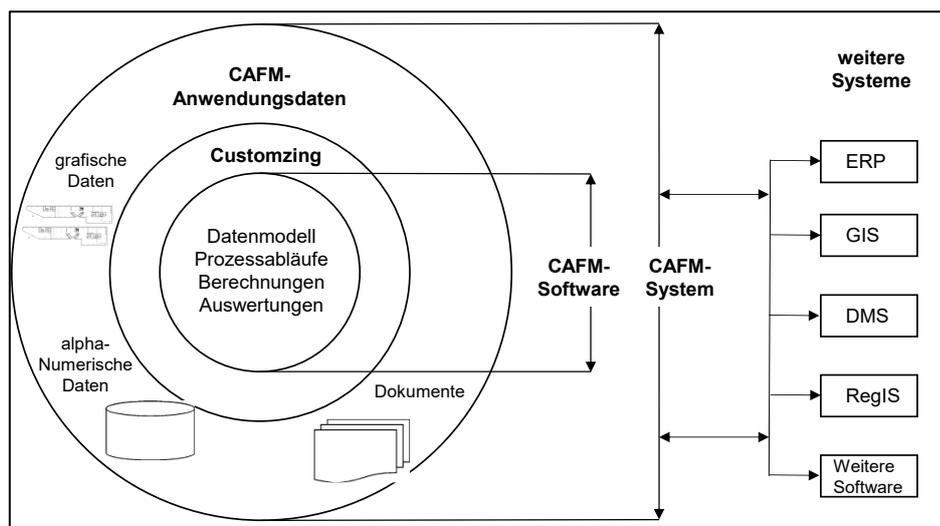


Abb. 2-1: CAFM-Software, CAFM-System und weitere Systeme

nach (Koch, May, Schauer 2013; Bartels 2020)

Die CAFM-Software verfügt über eine interne Struktur von Funktionalitäten wie z. B. Flächen-, Inventar-, Reinigungs-, Umzugs- oder Instandhaltungsmanagement und Raumreservierung (GEFMA 400). Die Grundfunktionen der Software können durch das sog. Customizing über passende IT-Lösungen an die Bedürfnisse des Anwenders angepasst werden. Das CAFM-System besteht aus der CAFM-Software und den Anwendungsdaten. Die durch das CAFM-System unterstützten Prozesse werden über Schnittstellen mit weiteren Systemen verknüpft, die für das Unternehmensgeschäft erforderlich sind (Koch, May, Schauer 2013). Klassische Beispiele für weitere Systeme sind Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme, Geoinformationssysteme (GIS),

z. B. zur Erfassung, Speicherung, Verwaltung und Modellierung digitaler raumbezogener Daten oder Regelinformationssysteme (RegIS) (Bartels 2020) sowie Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik (Koch, May, Schauer 2013). CAFM-Systeme basieren auf mindestens einer Datenbank, in der die Daten der einzelnen Facilities hinterlegt sind (Jedlitzke et al. 2018).

- Datenbanken im FM: Die Vielzahl von Daten, die im FM existieren, werden in Datenbanken (DB) zentral gesammelt und strukturiert. Daten in Datenbanken können aus verschiedenen Sichtweisen betrachtet werden, z. B. aus technischer oder aus kaufmännischer Sicht. Datenbanksysteme (DBS) können aus mehreren Datenbanken bestehen, die durch ein integriertes Datenbankmanagementsystem (DBMS) verwaltet werden (Jedlitzke et al. 2018). Datenbanken beinhalten die CAFM-Anwendungsdaten und sind somit Bestandteil des CAFM-Systems. Die am häufigsten genutzten Datenbanken bei CAFM-Softwareanbietern sind relationale DB wie z. B. MS SQL Server, Oracle und MySQL (Altmannshofer 2020).
- Service Level Agreements (SLA): Ergänzend zu dem zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer bestehenden FM-Vertrag werden in Service Level Agreements Leistungen, Messungen und Bedingungen einer Leistungserbringung vereinbart (DIN EN ISO 41011). SLA sollen transparente Kontrollmöglichkeiten für Auftraggeber und Auftragnehmer zu Leistungseigenschaften, Leistungsumfang, Reaktionszeit oder Bearbeitungsdauer darstellen (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018).

2.1.2 Richtlinien, Regelwerke und Rechtsquellen des FM

Die folgenden Ausführungen dienen der Erläuterung der gesetzlichen und rechtlichen Grundlagen sowie der gültigen Richtlinien, Normen und Standards insbesondere der Leistungserbringung im FM.

Gesetzliche Grundlagen, die sich explizit und ausschließlich auf Leistungserbringung im FM beziehen, sind nicht existent. Im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) fehlen explizite Regelungen zum Recht des FM, wodurch FM-Verträge als Vertragstyp nicht definiert sind (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018). Die einzelnen Leistungsbereiche unterliegen jedoch Gesetzen und technischen Regelwerken wie z. B. DIN-Normen, Unfallverhütungsvorschriften und Verordnungen (Arndt 2018). FM-Verträge können als Verträge zur Bewirtschaftung von Gebäuden deklariert werden (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018, S. 64). Im dienstleistungsgeprägten IFM kann der Grundsatz von Werkverträgen, d. h. eine wirtschaftliche selbstständige Arbeitsweise des Auftragnehmers, aufgrund der Beschreibung von Tätigkeiten, z. B. in SLA, nicht erfüllt werden. Daher werden FM-Verträge häufig dem Dienstvertragsrecht zugeordnet (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018, S. 66). Relevante Rechtsgrundlagen des TFM sind z. B. das Werk-, Bau- und Architektenvertragsrecht, die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI),

§ 631 ff. BGB, Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen und sonstige allgemein technische Regelwerke für die Bereiche Instandsetzung und Sanierung. Für Reinigungs- und Pflegedienste des IFM gelten die Rechtsgrundlagen des Dienstvertragsrechts gem. § 611 ff. BGB (Arndt 2018). FM-Verträge werden demnach als sog. typengemischte Verträge bezeichnet, die durch Leistungsvereinbarungen in Form von SLA komplettiert werden (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018, S. 91; Viering, Kochendörfer, Liebchen 2007, S. 46; Gondring, Wagner 2018a). Jede Art der Leistungserbringung ist in Standards und Richtlinien definiert, die wiederum auf Gesetze verweisen. Ein Beispiel dafür ist die GEFMA-Richtlinie 190 „Betriebsverantwortung im FM“, der u. a. das BGB, das Arbeitsschutzgesetz, die Betriebssicherheitsverordnung oder das Bundes-Immissionsschutzgesetz zugrunde liegen.

Um Prozesse des FM zu standardisieren, existieren auf nationaler und internationaler Ebene Standardisierungsgremien, die u. a. Richtlinien für das FM generieren. Beispiele dafür sind die International Standards Organization (ISO), The European Committee for Standardization (CEN) und länderspezifische Richtlinien auf nationalen Ebenen. Auf nationaler Ebene in Deutschland agieren die GEFMA sowie das Deutsche Institut für Normung (DIN) als entwickelnde Organe von Richtlinien und Normen im FM. Dieser Arbeit werden daher FM-Richtlinien der GEFMA und Normen des DIN zugrunde gelegt.

Die GEFMA forciert die Weiterentwicklung des FM in Deutschland, setzt sich für qualifizierte Aus- und Weiterbildung im Bereich FM ein und ist Ansprechpartner für Medien in FM-relevanten Gebieten (GEFMA 2020). Ein Ergebnis der GEFMA-Arbeitsgruppen ist das GEFMA-Richtlinienwerk, bestehend aus neun Richtlinien, bzw. Kategorien. Die Kategorien des Richtlinienwerks gliedern sich wiederum in Unterkategorien. Abb. 2-2 zeigt das Richtlinienwerk mit den neun Kategorien und Unterkategorien der Jahre 1996 bis 2019. Die Abbildung ist in vergrößerter Darstellung in Anhang A2 zu finden.

Die neun Kategorien geben jeweils eine allgemeine Einführung in die Thematik der betreffenden Richtlinie. Die Richtlinien der Unterkategorien beinhalten ausführliche Erläuterungen sowie Methoden zur Realisierbarkeit der einzelnen Richtlinien. Einige der Unterkategorien in Abb. 2-2 sind orange dargestellt. Diese Richtlinien werden unter spezieller Beachtung des Einsatzes von BIM im FM weiterentwickelt. Das durch die GEFMA veröffentlichte Whitepaper „GEFMA 926: Building Information Modeling im Facility Management“ erläutert den Mehrwert von BIM für FM sowie Zusammenhänge zwischen BIM und CAFM und gibt Anwendungsbeispiele für BIM sowohl im Bestand als auch in der Nutzungsphase von Gebäuden (GEFMA 926).

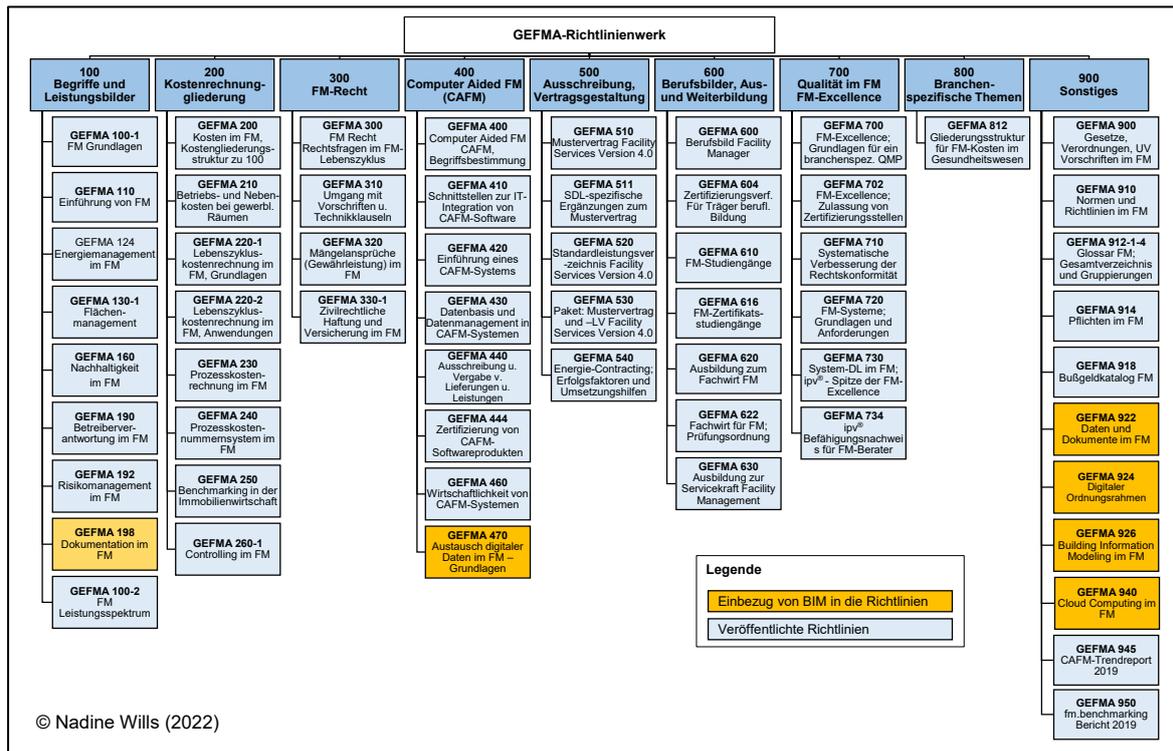


Abb. 2-2: GEFMA-Richtlinienwerk von 1996-2019

Neben den GEFMA-Richtlinien existieren Regelwerke, die eine Strukturierung und Systematisierung der Begrifflichkeiten im FM zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses aller Beteiligten standardisieren (Arndt 2018). In Tabelle 2-1 sind die wichtigsten Regelwerke aufgeführt, die jedoch nicht autark, sondern immer in Verbindung mit verweisenden Richtlinien, auch den Regelwerken zu BIM und FM (siehe Kapitel 2.2.3), zu betrachten sind.

Regelwerk	Erläuterung
DIN 32736: Gebäudemanagement – Begriffe und Leistungen	Definition der Begriffe des Gebäudemanagements
GEFMA 100-1: Facility Management Grundlagen	Richtlinie zur Definition und systematischen Einordnung der Begrifflichkeit FM
GEFMA 100-2: Facility Management Leistungsspektrum	Richtlinie zur Darstellung aller FM-Leistungen anhand eines Leistungsspektrums, bezogen auf die einzelnen LZP. Die Richtlinie dient dem Kunden zur Orientierung einer Zusammenstellung des erforderlichen FM-Leistungsspektrums und zur Definition der vertraglichen Vereinbarungen.
GEFMA 190: Betreiberverantwortung	Richtlinie zu Informationen und Zusammenhängen der Betreiberverantwortung im Rahmen des FM
GEFMA 198-1: Dokumentation im FM	Lebenszyklusübergreifende Handlungsanleitung für die Einführung einer ganzheitlichen Dokumentation, bezogen auf das FM
GEFMA 400: Computer Aided Facility Management (CAFM)	Definitionen und Erläuterungen der Begrifflichkeiten des CAFM sowie Handlungsempfehlungen zum Aufbau eines CAFM-Systems.
GEFMA 520Teil 2: Standardleistungsverzeichnis	Definitionen und Erläuterungen zu Service, Qualität und Wirtschaftlichkeit von Leistungsausschreibungen und Vergaben im FM.

Tabelle 2-1: Regelwerke des FM

nach (Arndt 2018)

2.1.3 Daten und Dokumente im FM

Leistungserbringung im FM erfolgt prozessorientiert. Zur Ausführung von Facility Prozessen und der damit verbundenen Erbringung von FS ist eine Datenbasis erforderlich. Daten im FM lassen sich nach GEFMA 400 in drei Arten kategorisieren:

- Bestandsdaten: Diese Daten bestehen aus alphanumerischen Daten, z. B. Tabellen, oder Verzeichnissen und grafischen Daten wie z. B. Plänen, Fotos oder Zeichnungen. Bestandsdaten beschreiben Gebäude aus bautechnischer Perspektive, mit ihren technischen Anlagen und Einrichtungen (GEFMA 400). Einweisungsprotokolle, Handbücher, Berichte oder Anleitungen sind Beispiele für Dokumente der Bestandsdaten. Bestandsdaten können bei der Planung und Errichtung von Gebäuden oder nachträglich systematisch erfasst und abgelegt werden (GEFMA 400). Die Implementierung von Daten in bestehende Systeme führt in der Praxis jedoch zu Inkonsistenzen, z. B. in Form von redundanter oder unzureichender Datenhaltung (GEFMA 400; Heß 2004).
- Prozessdaten: Daten, die in der Nutzungsphase entstehen, ihren Ursprung in den davorliegenden LZP haben und somit über alle LZP miteinander verknüpft sind, werden als Prozessdaten bezeichnet. Prozessdaten besitzen einen festen Bezug zu bautechnischen Anlagen und den damit verknüpften Bestandsdaten (GEFMA 400). Prozessdaten lassen sich wie in Tabelle 2-2 dargestellt differenzieren.

Datenart	Erläuterung	Beispiele
Auftragsdaten	Auftragsdaten bilden die Basis für die Planung, die Durchführung, die Verfolgung und die Abrechnung von Leistungen. Es erfolgt eine Historisierung der Daten, um Defizite aufzuzeigen und zu beheben (z. B. in der Instandhaltung). Auftragsdaten greifen auf Bestands- und sonstige Daten zurück, um Maßnahmen strukturiert abwickeln und auswerten zu können.	Auftraggeber, Intervall, Ausführungszeitpunkt, Auftragsempfänger
Zustandsdaten	Diese Daten bilden den gegenwärtigen Zustand von Gebäuden und gebautechnischen Anlagen ab. Zustandsdaten sind zeitlich veränderlich und daher dynamisch. Zustandsdaten sind wiederum differenziert in binäre Daten und analoge Daten.	Binäre Daten: Betriebszustände, z. B. bei einer Pumpe (AN/AUS); Störmeldungen Analoge Daten: Raumtemperaturen, Energieströme

Datenart	Erläuterung	Beispiele
Verbrauchsdaten	Daten, die Verbräuche von Versorgungsmedien zeitraumbezogen abbilden, werden als Verbrauchsdaten bezeichnet. Die Datenerfassung kann durch manuelle oder automatische Zählerablesung eines Gebäudeautomations- oder Energieerfassungssystems erfolgen.	Verbrauch von Kommunikationsmedien, z. B. Telekommunikation oder Internet, Energie- und Wasserverbrauch je Tag, Woche, Monat, Jahr

Tabelle 2-2: Kategorisierung von FM-Prozessdaten

nach (GEFMA 400)

- Sonstige Daten: Sonstige Daten bestehen aus Leistungskatalogen und kaufmännischen Daten. Leistungskataloge enthalten Daten über die zu erbringenden Leistungen. Kaufmännische Daten beinhalten Vertrags- und Kostenangaben. Sonstige Daten des Facility Services Reinigungs- und Pflegedienste sind z. B. die zu reinigende Fläche und das Reinigungsintervall (Leistungskatalog) sowie der FM-Dienstleister und die Preisgestaltung (kaufmännische Daten) (GEFMA 198-1).

2.1.4 Ausgangssituation der Leistungserbringung im FM

Leistungen können im FM leistungs-, ergebnis- oder outputorientiert erbracht werden. Bei der leistungs- oder verrichtungsorientierten Erbringung stehen der eigentliche Tätigkeitsprozess und die Qualität der Leistungserbringung im Vordergrund. Eine Leistung wird dabei auf Basis definierter Prozessvorgaben erbracht, wobei insbesondere Intervalle der Tätigkeitserbringung wie z. B. wöchentlich, täglich, zweimal täglich als Grundlage zur Qualitätsmessung genutzt werden. Die Leistungsbeschreibung mit Leistungs- und Funktionsanforderungen wird in den SLA verschriftlicht (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018).

Bei der ergebnis- bzw. bedarfsorientierten Leistungserbringung steht nicht der Prozess der Verrichtung, sondern das erbrachte Ergebnis, was zuvor zwischen den Vertragsparteien in Form einer Leistungsbeschreibung vereinbart wurde, im Fokus. Durch die Formulierung von Qualitätsstufen wird definiert, welche Qualität ein Ergebnis erreichen muss (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018; Gondring, Wagner 2018a).

Ferner existiert die outputorientierte Leistungserbringung. Dabei wird entweder das Ergebnis einer Leistung, die Belastung, der eine Leistung standhalten muss, oder der Output, der durch eine Leistungserbringung erzeugt werden soll, zwischen den Vertragsparteien vereinbart. In Tabelle 2-3 sind die Möglichkeiten der Leistungserbringung im FM am Beispiel einer Reinigungs- und Pflegeleistung exemplarisch beschrieben. Zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer ist vertraglich zu definieren, auf welche Art die Leistung zu erbringen ist (Abel 2018).

Leistungserbringungsart	Erläuterung	Beispiel
Leistungsorientiert, auch bezeichnet als verrichtungsorientiert	Definierte Vorgabe der zu erbringenden Leistung in Form eines Leistungsverzeichnisses	Reinigung der Bodenflächen täglich, Reinigung der Sanitäreinrichtungen zweimal täglich, Reinigen der Oberflächen von Staub wöchentlich.
Ergebnisorientiert, auch bezeichnet als bedarfsorientiert	Beschreibung des Ergebnisses, das eine Fläche oder ein Ausstattungsgegenstand nach Leistungserbringung besitzen soll	Raum A3 hat nach der Reinigung den Sauberkeitsgrad 1 zu besitzen; Flächen haben im Zeitraum von 08:00 bis 18:00 Uhr frei von Flecken, Tritt- und Griffspuren zu sein.
Outputorientiert	Beschreibung der Funktion, der zu erbringenden oder zu liefernden Leistung	Eine definierte Anzahl von Personen soll in einem Gebäude bedient werden mit dem Ziel der Generierung eines bestimmten Umsatzes. Aus dem Ziel resultiert eine Belastung, der die Reinigungsleistung ausgesetzt ist sowie Anforderungen an das Ergebnis einer Reinigung.

Tabelle 2-3: Arten der Leistungserbringung im FM am Beispiel von Reinigungsleistungen
nach (Abel 2018)

Jede der in Tabelle 2-3 dargestellten Möglichkeiten der Leistungserbringung bietet Vor- und Nachteile. Bei der verrichtungsorientierten Leistungserbringung wird der tatsächliche Bedarf einer Leistung außer Acht gelassen. Der Auftragnehmer hat dabei Planungssicherheit in Bezug auf den Zeitpunkt der Leistungserbringung und die auszuführende Tätigkeit, der Auftraggeber trägt dabei jedoch das Risiko, dass Leistungen erbracht und vergütet werden, wenn dies nicht erforderlich ist. Dies resultiert in vermeidbaren Kosten einer Leistungserbringung. Wenn eine Leistungserbringung überfällig ist, z. B., wenn eine Fläche außerhalb eines Reinigungsintervalls sehr häufig frequentiert wurde, kann dies zu Verschmutzung führen, was die Kundenzufriedenheit beeinträchtigt.

Bei der ergebnisorientierten Leistungserbringung steht das Ergebnis und nicht die Art der Leistungserbringung im Vordergrund. Dies gewährt dem Auftragnehmer Flexibilität bei der Erstellung von Dienstplänen. Der Auftraggeber erzielt dabei Budgetsicherheit durch definierte Festpreise (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018). Andererseits werden die Personalkapazitäten des Auftragnehmers eingeschränkt, da dieser zu gewährleisten hat, dass eine vereinbarte Leistung permanent gegeben sein muss.

Ein definierter Output, der durch eine Leistung erzeugt und daraus die erforderliche Leistungserbringung abgeleitet werden soll, stellt insbesondere für Dienstleister einen unverhältnismäßig großen Aufwand dar. In der Praxis wird bei Unzufriedenheit der outputorientierten Leistungserbringung seitens des Auftraggebers fehlende Qualität in der Weise argumentiert, als ob Leistungsprogramme und -verzeichnisse vorliegen würden (Abel 2018).

Die Art der Leistungserbringung in Verbindung mit dem FM-Vertrag führt in der Praxis, trotz transparenter Vertragsgestaltungen in Form von SLA, zu Konflikten zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Insbesondere der Aspekt der Bedarfsorientierung, der bei der ergebnisorientierten Leistungsbeauftragung in Verträgen enthalten ist, bedingt von Auftragnehmern das Erkennen von Bedarfen. Die in SLA enthaltenen Qualitätskriterien beschreiben zu erbringende Qualitäten. Der Auftragnehmer ist daraufhin verpflichtet, den sich ergebenden Bedarf einer Leistung kontinuierlich zu identifizieren und zu überwachen, um vertraglich definierte Ergebnisse zu erbringen. Der Auftraggeber hat konträr dazu die Erbringung einer Leistung durch Kontrollen zu dokumentieren. Folglich ist seitens des Auftragnehmers und Auftraggebers Personal erforderlich, das einen subjektiven Abgleich von Ist- zu Sollzuständen in Gebäuden vornimmt. Die dadurch resultierende Bindung von Personal auf beiden Vertragsseiten führt zu einer unterlassenen Leistungserbringung bei bestehenden Bedarfen in anderen Bereichen. Eine objektive Bedarfserkennung und Qualitätskontrolle ist durch manuelle und dadurch subjektiv geprägte Ausführung nicht gegeben.

Zur allgemeinen Beauftragung von Facility Services sind die in Tabelle 2-4 dargestellten Angaben mindestens erforderlich (GEFMA 520).

Angaben	Erläuterung	Beispiel
Objektsteckbrief	Angaben zur Identifizierung des Vertragsgegenstands	Standort, Gebäude- und Nutzungsart, Nutzungs- und Anwesenheitszeiten, Flächenangabe, funktionale Anforderungen
Dokumente zur Angebotserstellung	Eine nähere Beschreibung von Anlagen oder Gebäudeteilen als Anlage zum Leistungsverzeichnis	Fotos, Skizzen, Grundrisse, Übersichtspläne, Lagepläne
Betriebskonzept	Definition der Grundlagen des Gebäudebetriebs durch Projektinitiatoren und Nutzer	Nutzerprofil, Flächenbedarf, Prozesse und Betriebsabläufe, wesentliche Unternehmensrisiken, Aufstellung der für den Betrieb relevanten Produktionsfaktoren, Aufbau- und Ablauforganisation, Leistungsprofil

Angaben	Erläuterung	Beispiel
Betreiberkonzept	Aufbauend auf dem Betriebskonzept werden strategische und operative Entscheidungen und Angaben zum Gebäudebetrieb getroffen	Art der Leistungserbringung (externe DL oder Systemanbieter), Entwicklung und Realisierung von Nutzungskonzepten

Tabelle 2-4: Relevante Angaben zur Beauftragung und Ausführung von FS
nach (GEFMA 520)

Ergänzend zu o. g. allgemeinen Angaben einer Leistungserbringung sind in den einem FM-Vertrag beigefügten SLAs der Leistungsumfang und die Leistungsausschlüsse, das Vorgehen bei einer Leistungsänderung, die Pflichten und Verantwortungen des Auftragnehmers, Vergütungsmodalitäten, Angaben zur Qualitätsmessung und -bewertung, Gewährleistung, Haftung, Versicherung, Laufzeit und Kündigungsmodalitäten zu dokumentieren (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018, S. 66).

2.2 Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) ist, insbesondere im Hinblick auf die lebenszyklusorientierte Betrachtung von Gebäuden, auch für das FM relevant. Während der Nutzungsphase von Gebäuden entstehen ca. 44 % der Gebäudelebenszykluskosten (Litau 2015; Bogenstätter 2008). Vor diesem Hintergrund wird BIM als Möglichkeit zur Unterstützung des Gebäudebetriebs gesehen (Becerik-Gerber et al. 2012; Akbarnezhad et al. 2014). Im Folgenden werden zunächst Begriffe des BIM, die im Zusammenhang mit FM stehen, definiert. Es erfolgt eine Übersicht von Anwendungen des BIM im FM sowie eine Darstellung von Vorteilen und Restriktionen des Status quo. Die Ausführungen zu BIM erfolgen in Anlehnung an eine frühere Veröffentlichung von Wills, Fauth, Smarsly (2020), wobei es trotz Verwendung der Primärquellen in dieser Arbeit zu ähnlichem Wortlaut kommt.

2.2.1 Thematische Einordnung und Definitionen

Die Digitalisierung in der Bau- und Gebäudewirtschaft erfährt national und international hohe Aufmerksamkeit (Streit 2017; Müller 2017; BMVI 2019; Kral, Perschel 2018; Lavikka et al. 2018). Dem voran steht die Implementierung der BIM-Methode in das FM. Neben der Verbesserung des Gebäudeplanungsprozesses, insbesondere im Hinblick auf Kosten- und Terminsicherheit, soll durch BIM die Schnittstellenkoordination zwischen und die Kommunikation unter den Projektbeteiligten verbessert werden (Müller 2017). BIM ermöglicht die digitale Planung von Gebäuden, sodass eine inhaltliche Prüfung und Visualisierung der Planung durchgeführt,

Kollisionen erkannt, Kosten ermittelt und (Bau-)Abläufe simuliert werden können (van Treeck 2016). Die im Kontext dieser Arbeit relevanten Begriffe zu BIM werden im Folgenden erläutert.

- *Building Information Modeling (BIM)*: Die kooperative Methode der Erschaffung, Änderung und Verwaltung eines digitalen Bauwerkmodells durch Softwarewerkzeuge wird als Building Information Modeling bezeichnet (Borrmann et al. 2015b). Die BIM-Methode basiert auf der Kooperation der Projektbeteiligten (VDI 2552 Bl. 1). Die für den Lebenszyklus relevanten Daten und Informationen werden konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht (BMVI 2015).
- *BIM-Anwendungen*: Konkretisierungen von BIM-Zielen werden als BIM-Anwendungen, BIM-Uses oder BIM-Cases bezeichnet. Es erfolgt die Durchführung eines spezifischen Prozesses oder Arbeitsschritts (Case, Use) unter Anwendung der BIM-Methode (VDI 2552 Bl. 1). BIM-Anwendungen werden in verschiedenen Bereichen der Gebäudeplanung betrachtet, z. B. zu Simulationszwecken. Beispiele für BIM-Anwendungsfälle sind die Baudokumentation (3D), die Bauablaufplanung (4D) oder die Kostenüberwachung (5D) (BMVI 2015).
- *Bauwerksinformationsmodell (BIM-Modell)*: Ein Bauwerksinformationsmodell ist ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks, das neben dreidimensionalen (3D-)Geometrien auch nicht geometrische Informationen, z. B. technische Eigenschaften, Kosten oder Typeninformationen beinhaltet (Borrmann et al. 2015b). Nicht geometrische Informationen erweitern dreidimensionale 3D-Gebäudemodelle zu 4D-Gebäudemodellen (durch das Hinterlegen von Terminen) und zu 5D-Gebäudemodellen (durch das Hinterlegen von Kosten) (Potpara et al. 2017). Im Rahmen dieser Arbeit wird ein BIM-Modell als ein digitales, mit Informationen angereichertes Gebäudemodell verstanden. Da in der Praxis nicht jede CAFM-Software über 3D-Visualisierungsmöglichkeiten verfügt, wird im Kontext dieser Arbeit als Modell ein Datenmodell bezeichnet.
- *Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA)*: Der Auftraggeber eines Projekts formuliert Anforderungen an das Projekt in Form von BIM-Vorgaben. Diese Anforderungen werden als Auftraggeber-Informationen-Anforderungen bezeichnet und enthalten Angaben darüber, welche Informationen während und nach der Projektabwicklung an den Auftraggeber zu übergeben sind (Baldwin 2019; VDI 2552 Bl. 1). Auch die für den Gebäudebetrieb relevanten Daten und Informationen werden in den AIA definiert, um sie nach Inbetriebnahme dem Eigentümer oder Betreiber zur Verfügung zu stellen (GEFMA 926). AIA sind im Kontext dieser Arbeit auch für das FM relevant.

- *BIM-Abwicklungsplan*: In einem durch die Projektbeteiligten aufgesetzten Dokument wird definiert, in welcher Weise die Ziele, organisatorischen Strukturen und Verantwortlichkeiten der BIM-Leistungen erbracht werden (Baldwin 2019). Der BIM-Abwicklungsplan ist Vertragsbestandteil zwischen Bauherr und Projektbeteiligten (VDI 2552 Bl. 1).
- *Information Delivery Manual (IDM)*: Um Informationen in der richtigen Informationsdichte verlustfrei zwischen Projektbeteiligten auszutauschen, entwickelte die buildingSMART die Methode zur Prozessbeschreibung von Austauschforderungen in einem Projekt. Die Definition der Modellaustauschanforderungen erfolgt in einem sog. Handbuch der Informationsbereitstellung, in dem der Datenaustauschprozess grafisch beschrieben ist (Beetz, Borrmann, Weise 2015; VDI 2552 Bl. 1; Baldwin 2019; buildingSMART International Ltd. 2021).
- *Common Data Environment (CDE)*: Alle Daten innerhalb eines Gebäudeprojekts werden in einer gemeinsamen Datenumgebung von den Projektbeteiligten bereitgestellt und bezogen. Eine gemeinsame Datenumgebung dient als zentrale, zuverlässige und maßgebende Informationsquelle, in der sämtliche Kommunikations- und Verwaltungsvorgänge von der Planungs- bis in die Betriebsphase eines Gebäudes verknüpft werden (VDI 2552 Bl. 1; Baldwin 2019)

Die BIM-Methode kann nicht nur die Optimierung von Planung und Bauausführung unterstützen, sondern dient auch der Projektsteuerung sowie dem Betrieb von Gebäuden (Westphal, Herrmann 2015). Die unterschiedlichen Fachplaner einer Gebäudeplanung können die für ihr Gewerk erforderlichen Fachmodelle erstellen und diese über einheitliche Schnittstellen zusammenführen (Schrammel, Wilhelm 2016). Die BIM-Methode dient somit der ganzheitlichen Gebäudeplanung durch alle Beteiligten (Smarsly 2019).

2.2.2 BIM im FM

BIM wird primär in der Planungs- und Errichtungsphase von Gebäuden eingesetzt (Succar 2009), wohingegen die Anwendung von BIM im FM trotz bekannter Vorteile in der Praxis wenig genutzt wird (Pärn, Edwards 2017; Becerik-Gerber et al. 2012; Bender et al. 2018; Bartels 2020). Um Gebäude nicht nur mit BIM zu planen und zu errichten, sondern auch in der Betriebsphase zu nutzen, sind Anforderungen des FM bereits in der Konzeptions- und Planungsphase von Gebäuden zu berücksichtigen. Bereits zu Projektbeginn, in der Phase der Projektentwicklung, ist zu definieren, welche Daten und Informationen das FM in der Betriebsphase benötigt (GEFMA 926).

Die für den Betrieb erforderlichen Daten und Informationen werden in die AIA integriert und während der Errichtungsphase in den BIM-Abwicklungsplan (BAP) übernommen (GEFMA 926). Während der Planungs- und Errichtungsphase wird das mit BIM geplante Projekt als

Projekt-Informations-Modell (PIM) bezeichnet, welches in der Betriebsphase in ein Asset-Informations-Modell (AIM) übergeht. Im PIM wird neben den im Gebäudebetrieb genutzten Datensystemen und Softwareprodukten auch die zu übergebende Dokumentation definiert. Das sog. FM-Handover enthält Angaben über die dem FM zu übergebenden Geometrien (Grafiken), Metadaten (alphanumerische Daten) und Dokumente (Dateien) (DIN EN ISO 19650-1). Einige Ansätze besagen, dass jeder Anlage in einem Gebäude ein eigenes Modell zugeordnet sein sollte. Darin sollen z. B. Wartungs- und Instandhaltungsintervalle sowie Angaben zum Hersteller und der Beginn einer Gewährleistungsfrist hinterlegt sein (Watson 2011). Die Formulierung der tatsächlichen Anforderungen des FM an diese Informationen eines Modells sind in den AIA detailliert zu definieren, um Interessenkonflikte hinsichtlich der tatsächlichen Ansprüche und Anforderungen an die Daten und Informationen zu vermeiden (Volk, Stengel, Schultmann 2014; Kassem et al. 2015; Becerik-Gerber et al. 2012).

BIM ermöglicht die Speicherung, Nutzung und Einbindung von Daten und Informationen für die Gebäudenutzungsphase. Bezogen auf den gesamten Gebäudelebenszyklus kann die Implementierung von BIM in das FM theoretisch zu einer Wertsteigerung des Gebäudes führen. Begründen lässt sich dies durch koordinierte Prozesse der Informationsübergabe zwischen Errichtungs- und Nutzungsphase eines Gebäudes, Korrektheit und Verfügbarkeit von FM-Daten sowie eine Effizienzsteigerung bei der Ausführung von Arbeitsaufträgen (Pärn, Edwards, Draper 2016). Daraus resultiert, dass eine Einbeziehung des FM während der BIM-basierten Planungs- und Errichtungsphase eines Gebäudes bei allen Themen des zukünftigen Gebäudebetriebs erforderlich ist (Kassem et al. 2015). Die Zusammenführung verschiedener Informationen aus unterschiedlichen Quellen, die für das FM relevant sind, erfordert eine koordinierte Zusammenarbeit aller Beteiligten (GEFMA 926).

Für die Gebäudebewirtschaftung relevante Daten aus der Planungs- und Errichtungsphase können mit BIM-Modellen verknüpft werden (May et al. 2018). Die Anwendung von BIM kann im FM zur Verfolgung von Zielen und zur Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben der Gebäudebewirtschaftung genutzt werden. Beispiele dafür sind:

- Unterstützung des Flächenmanagements (Belegungsplanung),
- Mietmanagement (Übertragung der Mieterdaten bzw. Nutzerdaten in das BIM-Modell),
- Wartung und Instandsetzung, z. B. grafisch unterstützte Indoor-Navigation durch das Gebäude und durch Gebäudeanlagen (May et al. 2018; Hu et al. 2018),
- Nutzung der Planungs- und Errichtungsdaten für die Ausschreibung von Reinigungsflächen, Planung von Umbau- und Neubaumaßnahmen und Simulationen zur energetischen Optimierung (May et al. 2018),
- Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen gem. GEFMA Richtlinie 160 „Nachhaltigkeit im Facility Management“ (Wills, Ponnewitz, Smarsly 2018),

- Arbeitsschutz für Mitarbeiter des FM, z. B. durch Übermittlung sicherheitsrelevanter Informationen an das Personal (Wetzel, Walid 2018),
- Gewährleistung des Werterhalts von Gebäuden durch Entscheidungen zu Anlageneffizienz und Bestandssubstanz (Liu, Issa 2014).

Gründe für eine geringe Nutzung sind fehlende Angaben über Daten und Informationen, die für die Leistungserbringung im FM erforderlich sind (Giel, Issa 2016; Bartels 2020). Daraus resultiert, dass dem FM in der Praxis eine Vielzahl von Daten und Informationen zur Verfügung gestellt wird, die für die eigentliche Leistungserbringung irrelevant sind. Daten und Informationen, die nicht benötigt und genutzt werden, führen zu einem Mehraufwand im FM hinsichtlich der Verwaltung und Strukturierung (Dias, Ergon 2020). Ferner sind inkonsistente Namenskonventionen, zu individuelle Anforderungen des FM, unzureichende Datenkategorisierung in BIM- und CAFM-Systemen, mangelhafte Informationssynchronisation und eine fehlende Methodik zur Erfassung bestehender Einrichtungen und Anlagen Gründe für die Nichtnutzung von BIM im FM (Teichholz 2013).

Die Inkonsistenz zwischen dem Informationsangebot und der Informationsnachfrage repräsentiert eines der Haupthindernisse bei der Integration von BIM in FM. Ungeachtet der Tatsache, dass BIM eine größere Datenintegration von BIM-Informationen für das FM ermöglicht, werden diese Informationen nicht zwingend in FM-konformen, semantischen Formaten dargestellt (Shen et al. 2010; GEFMA 926). Der bekannteste Grund für Rückständigkeit im FM ist der Mangel an greifbaren Vorteilen, fehlenden Standardspezifikationen, unzureichenden BIM-Fähigkeiten, Wissensdefiziten und Widerstand gegen Veränderungen in Unternehmen (Kassem et al. 2015). Um dies zu vermeiden, ist die Beteiligung des FM bereits in der Planungs- und Errichtungsphase erforderlich (GEFMA 926). Durch die Beteiligung des FM bereits in der Planungs- und Errichtungsphase kann die Interoperabilität von Informationen und somit die Gebäudebewirtschaftung effizienter gestaltet werden (Liu, Issa 2014; Dixit et al. 2019)

Der erforderliche Einbezug des FM in einer frühen Gebäudeplanungsphase wird in der Praxis kaum realisiert, was jedoch nicht immer auf fehlende Akzeptanz der Projektbeteiligten zurückzuführen ist. Die Konzepte für die Erbringung von Leistungen sollen nach Empfehlung der GEFMA in der LZP 3 eines Gebäudes, was der Leistungsphase 4 bis 8 der HOAI entspricht, erstellt und in LZP 6 beauftragt werden (GEFMA 198-1). Aus der Praxis bekannte Anforderungen der Dienstleister, in der Regel beruhend auf Erfahrungswerten, können in den Gebäudeplanungsprozess jedoch nicht integriert werden, da die Erarbeitung von Konzepten, Beauftragung von Dienstleistern und Übergabe der zur Leistungserbringung relevanten Dokumente erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt.

Aktuelle Forschungsarbeiten befassen sich mit sog. BIM-Anwendungsfällen (Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2018; Borrmann et al. 2019; Bergische Universität Wuppertal

2021). So erarbeitet z. B. die Bergische Universität Wuppertal BIM-Anwendungen für Teilbereiche des FM wie z. B. Inspektionsmanagement, Außenanlagepflege oder Reinigungsmanagement (Helmus et al. 2020b). In den Anwendungen wird das BIM-Ziel, der Mehrwert sowie eine ausführliche Beschreibung der BIM-Anwendung inklusive eines Prozessdiagramms dargestellt. Ferner werden Informationsaustauschanforderungen in Form von Merkmalen, die die Informationen besitzen sollen und der Zeitpunkt der Informationsbereitstellung aufgeführt (Helmus et al. 2020a). Auch die Gesellschaft für immobilienwirtschaftliche Forschung e.V. (gif) erarbeitet im Rahmen der „Projektgruppe Building Information Modelling (BIM)“ BIM-Anwendungsfälle für Eigentümer, Investoren und Bauherren zur Ergänzung der bisher bestehenden „Richtlinie zum Immobilien-Daten-Austausch (gif-IDA)“. Die dafür aktuell erarbeiteten Anwendungsfälle orientieren sich an den Einsatzgebieten der gif-IDA-Anwender und sind weniger bau- und konstruktionsorientiert als ökonomisch ausgerichtet.¹ Bestehende Anwendungsfälle dokumentieren detailliert bereitzustellende Informationen für Leistungen des FM. Die dabei entwickelten Anwendungsfälle beziehen sich jedoch auf verrichtungsorientierte Leistungserbringung, bei der die Ermittlung und Betrachtung eines Bedarfs nicht berücksichtigt ist.

2.2.3 Richtlinien und Regelwerke für BIM im FM

Unterschiedliche Standardisierungsorgane wie die CEN, ISO, DIN oder der VDI sowie Branchenverbände (z. B. CAFM-Ring, RealFM) erarbeiten Standardisierungen für den Einsatz von BIM im FM. Das Whitepaper GEFMA 926 befasst sich mit BIM im FM und legt die Voraussetzungen für deren Anwendung dar. In Tabelle 2-5 sind die für diese Arbeit relevanten Richtlinien und Standards für BIM im FM aufgeführt. Diese Richtlinien sind nicht einzeln, sondern integral mit den Richtlinien und Regelwerken des FM zu betrachten.

Richtlinie	Inhalt	Relevanz
VDI 2552 Bl. 2: Building Information Modeling Begriffe	Definition und Erläuterung der Begriffe zur BIM-Methodik	Erläuterung von Begriffen der BIM-Methodik in Zusammenhang mit FM
DIN EN ISO 19650-1: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschl. BIM-Informationsmanagement mit BIM- Teil 1: Begriffe und Grundsätze	Definition und Erläuterung der Begriffe eines BIM-Modells	Grundsätze der Bereitstellung, des Umfangs sowie der Anforderungen an Informationen, die dem FM in BIM-Modellen zur Verfügung stehen

¹ Die Verfasserin der Arbeit ist Mitglied der Projektgruppe Building Information Modelling der gif und an der Erarbeitung der BIM-Anwendungsfälle beteiligt.

Richtlinie	Inhalt	Relevanz
DIN 19650-3: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 3: Betriebsphase der Assets	Definition und Erläuterungen des Managements von Informationen für die Betriebsphase	Grundsätze des Managements von Informationsanforderungen des FM in Bezug auf die Bereitstellung und Verfügbarkeit von erforderlichen Informationen.
GEFMA 470: Austausch digitaler Daten im FM	Übersicht der im FM relevanten Informationssysteme, deren Aufbau und Struktur	Grundlage für die Strukturierung von Daten der Planungs- und Errichtungsphase in die Betriebsphase, insbesondere im Hinblick auf Hierarchie der Informationen bei der Übergabe.
GEFMA 924: Datenmodell, Katalog und Ordnungsrahmen für das FM	Empfehlung zur Erstellung eines Datenmodells und digitalen Ordnungsrahmen für das FM	Lebenszyklusübergreifende Modellierung der für das FM erforderlichen Daten und Dokumente für Projekte, die mit der BIM-Methodik geplant werden.
GEFMA 926: Building Information Modeling im Facility Management	Whitepaper zur Nutzung von BIM im FM	Vorgehensweise eines BIM-Projekts in Bezug auf die Standards zum BIM-Datenaustausch und kritische Betrachtung der Anwendung von BIM im FM.

Tabelle 2-5: Richtlinien und Regelwerke zu BIM im FM

2.3 Sensortechnologien und Internet of Things (IoT)

Für das Verständnis von Sensortechnologien und dem Internet of Things (IoT) werden Begriffe aus dem Bereich der Sensorik benötigt. Diese Begriffe werden zunächst definiert, um ein einheitliches Verständnis im Kontext dieser Arbeit sicherzustellen. Im Anschluss daran erfolgt ein Überblick des Status quo hinsichtlich des Einsatzes von Sensortechnologien und IoT im FM. Dabei wird keine Marktanalyse verfügbarer Sensortechnologien für das FM durchgeführt.

2.3.1 Technische Grundlagen und thematische Einordnung

Als Sensorik allgemein wird die Technik der Umwandlung nichtelektronischer Größen in eine elektronische Größe bezeichnet (Weber 1996). Eine Übersicht relevanter Sensortypen und Messgrößen des FM befindet sich in Anhang A3. Um die Anwendung von Sensoren im FM zu verstehen, sind weitere definitorische Erläuterungen nötig. Die dabei vorgestellten Begriffe sind auch für die Entwicklung eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung erforderlich.

- Sensoren: Unter Sensoren werden informationserfassende technische Elemente verstanden, die ein elektronisches Ausgangssignal liefern. Sensoren nehmen Informationen aus der Umgebung auf und verarbeiten diese Informationen in elektronischer Form

weiter (Hauptmann, Lucklum 2003). Im Bereich des FM werden Sensoren z. B. zur Ermittlung von Umweltfaktoren, Zuständen oder Sicherheitsbereichen genutzt (Jaspers et al. 2018). In Sensor-Elementen werden die zu messenden, nicht elektronischen Eingangsgrößen durch naturwissenschaftliche Gesetze in elektronische Ausgangssignale umgewandelt. Die Auswerte-Elektronik ist ausgestattet mit Schaltungselektronik oder Softwareprogrammen, die die elektronischen Ausgangssignale bearbeiten, sodass Sensor-Ausgangssignale entstehen (Heinrich, Linke, Glöckler 2017). In dieser Arbeit werden Sensoren als ein System oder eine Komponente definiert, die physikalische Größen, deren Änderung oder chemische Effekte in ein elektronisches Signal umwandeln. Die umgewandelten elektronischen Signale können mittels IT-Systemen weiterverarbeitet werden.

- Internet of Things (IoT): IoT wird definiert als Infrastruktur aus miteinander verbundenen Einheiten, Menschen, Systemen und Informationsquellen in Kombination mit Diensten, die mit Informationen aus der physischen Welt und der virtuellen Welt arbeiten und reagieren (ISO/IEC 20924). Vereinfacht ausgedrückt ist IoT ein Netzwerk verbundener Geräte, z. B. lokal stationierte, mobile oder tragbare Sensoren, die über Kommunikationsfunktionen verfügen. Sensoren werden im Kontext dieser Arbeit auch als IoT-Geräte definiert.
- Protokoll: Zur Kommunikation von Sensoren mit Empfängern der Daten, die die erfassten Daten speichern, z. B. Datenbanken, werden sog. Protokolle genutzt. Es existieren unterschiedliche Protokolle. Das am häufigsten genutzte Protokoll im FM noch vor Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) und Constrained Application Protocol (CoAP) stellt das genormte Kommunikationsprotokoll Building Automation and Control Network (BACnet) für die Gebäudeautomation dar. In den Protokollbeschreibungen legt BACnet fest, welche Nachrichten zwischen unterschiedlichen Geräten und Systemen versendet werden (Hanseemann, Hübner 2021; Kranz 2013).
- Messwert: Ein Messwert ist das Messergebnis einer Messung (Lerch 2010). Ein Messwert gehört zu einer Messgröße, d. h. einer physikalischen Größe, und kann einer Ausgabe eines Messgeräts, z. B. eines Sensors, eindeutig zugeordnet sein. Ein Messwert besteht aus einem wahren Wert, einer zufälligen Messabweichung sowie einer systematischen Messabweichung (DIN 1319-1). Beispiele typischer Messabweichungen sind: Temperaturschwankungen, Spannungsschwankungen oder Prozesskräfte (Heinrich, Linke, Glöckler 2017).
- Messgröße: Die physikalische Größe, die gemessen wird, heißt Messgröße (DIN 1319-1). Beispiele für Messgrößen sind: Temperatur, Durchfluss, Druck oder Beschleunigung.

- **Netzwerk:** Als Netzwerk wird die Kopplung von mehreren autonomen Komponenten zur Übertragung von Nachrichten verstanden. Komponenten sind dabei z. B. Geräte wie Großrechner, Software, Server, PCs, Mobiltelefone, Sensoren, IoT-Geräte oder Aktoren (Kappes 2013; Jedlitzke et al. 2018). Die Komponenten sind dabei u. U. räumlich getrennt (Jedlitzke et al. 2018; Lassmann 2006). Sensornetzwerke bestehen aus mehreren Sensoren oder Sensorknoten und übermitteln die Daten drahtlos oder drahtgebunden über ein Netzwerk an den Empfänger (Schlundt et al. 2018). In Abb. 2-3 ist der Prozess der funkbasierten Datenübertragung und Bereitstellung der Daten für Anwendungen und Nutzer abgebildet.

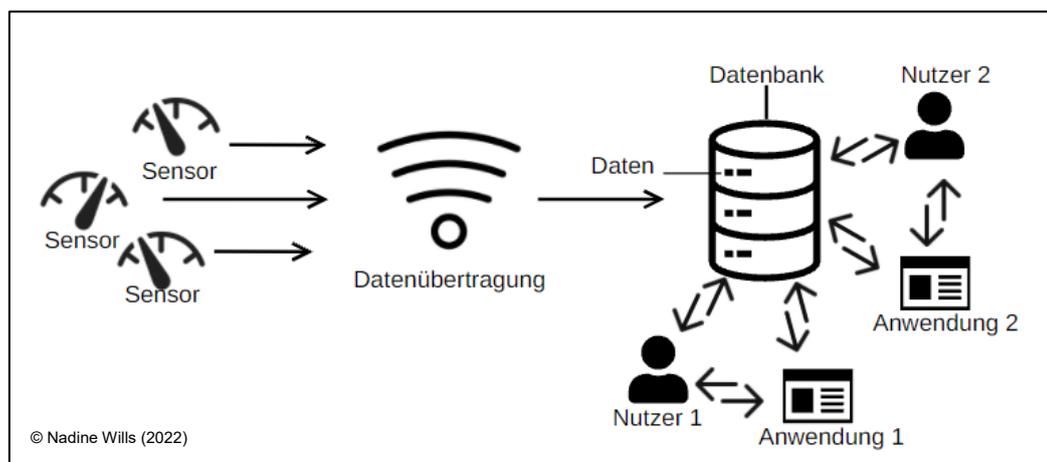


Abb. 2-3: Prozess der Sensordatenübertragung und Anwendung

Sensordaten werden drahtgebunden oder drahtlos an Datenbanken oder Cloud-Dienste übertragen. Anwendungen nutzen die Daten der Datenbank, Nutzer können ebenfalls auf diese Daten oder Anwendungen zugreifen.

- **Datenübertragung:** Die Übertragung der Daten von Komponenten kann drahtgebunden oder über Funktechnologien (Wireless LAN) erfolgen. Es existiert eine Vielzahl von Funksystemen, die sich insbesondere in ihrer Reichweite unterscheiden. Für die Datenübertragung im Gebäudebetrieb, insbesondere der Gebäudeautomation, sind WLAN, Bluetooth oder ZigBee mit einer Reichweite von bis zu 100 Meter die am häufigsten genutzten Funk-Datenübertragungsverfahren (Hansemann, Hübner 2021; Jaspers et al. 2018). NarrowBand-Internet of Things (NB-IoT) und Long Term Evolution for Machines (LTE-M) sind Standards zur Funkdatenübertragung von IoT-Geräten (Beale, Uchiyama, Clifton 2021).

Die Entwicklung und Erforschung von Sensoren in Kombination mit der fortschreitenden Miniaturisierung sorgen dafür, dass Sensor-Element und Auswerte-Elektronik gemeinsam in einem Sensor verbaut sind. Diese Sensoren werden als „intelligente“ Sensoren oder „smart sensors“ bezeichnet (Hering, Schönfelder 2018).

2.3.2 Sensortechnologie und IoT im FM

Im FM stellen Sensortechnologien und das IoT einen wesentlichen Trend zur Weiterentwicklung des digitalen Gebäudebetriebs dar: Gebäudenutzer, Anlagen und Bauteile sowie FM-Dienstleistungen können durch Sensortechnologien (physisch) miteinander verbunden werden, um über digitale Schnittstellen miteinander zu kommunizieren. Ferner ermöglicht das IoT den Beteiligten des FM, Wissensdatenbanken auf Basis von Sensordaten zu erstellen und diese Daten bei Bedarf über intelligente Systeme, z. B. Informationsplattformen, miteinander zu verknüpfen und abzurufen (Atta, Talamo 2020; Jaspers et al. 2018). IoT und Sensortechnologien stellen ein Mittel dar, um aktuelles Verhalten von Gegenständen und Menschen zu beschreiben (Vornholz 2019, S. 55). Im Kontext des FM beschreibt IoT z. B. aktuelles Verhalten von Gebäudeteilsystemen, das Verhalten von Gebäudenutzern oder Benutzererfahrung z. B. die an Terminals abgefragte Nutzerzufriedenheit der Sauberkeit von Sanitäreinrichtungen. Ferner wird durch IoT in Gebäuden das Klima, der Energie- und Ressourcenverbrauch, der Gebäudezustand (aus bautechnischer Sicht) oder die Flächennachfrage erfasst (Jaspers et al. 2018). Das IoT ermöglicht die Definition von FM-Strategien, basierend auf generierten Daten, die für Vorhersagen und Kontrollen genutzt werden. Die IoT-Anwendung für das Wartungsmanagement ermöglicht beispielsweise die Entwicklung neuer Strategien, wie zustandsbasierte und vorausschauende Wartung, die nützlich sind, um Kosten zu reduzieren und Ressourcenverschwendung oder Ausfallzeiten zu begrenzen. IoT und Sensortechnologien ermöglichen die Schaffung eines vernetzten Systems aus Menschen, Geräten und Systemen, um generierte Daten zentral zu verwalten und die Informationsgrundlagen, die für das FM erforderlich sind, bereichs- und tätigkeitsübergreifend nutzbar zu machen (Atta, Talamo 2020).

Nicht selten ist sensortechnologie-basiertes FM ein „Neben“-Produkt, das bei der Forschung zu angrenzenden Teilbereichen betrachtet wird. Beispielsweise bei der Untersuchung und Entwicklung von Möglichkeiten, Informationslandschaften intelligenter nachhaltiger Städte mit großen Datenanwendungen zu erweitern, um ein erforderliches Maß an ökologischer Nachhaltigkeit zu erreichen (Bibri 2018).

Softwaresysteme, die zeitlich veränderliche (interne) Gebäudeumgebungen überwachen, interpretieren und damit verbundenes Wissen (in Form von Informationen) generieren, können bei FM-Entscheidungsfindungen helfen (Cigolini et al. 2008; Dibley et al. 2011).

Der Einsatz von Sensortechnologien und IoT führt zu Verbesserungen im FM, z. B. im Bereich Flächenmanagement oder Wartungs- und Instandhaltungsplanung (Parn et al. 2019; Gomes-Jauregui et al. 2019). Klassische Anwendungen von Sensortechnologien und IoT im FM sind:

- Energiemonitoring und Raumklima: Die Ermittlung von Energieverbräuchen oder von Raumklima erfolgt in der Praxis in der Regel von Sensordaten der Gebäudeleittechnik-Systeme (GLT-Systeme). Durch die Verknüpfung der Sensordaten des GLT-Systems mit dem CAFM-System lassen sich die Daten effektiv nutzen und weiterverarbeiten,

ohne neue Sensoren integrieren zu müssen. Die Nutzung von Sensordaten zur Objekterfassung, z. B. von Bewegungsmeldern oder Infrarot-Videokameras, zur Ermittlung von An- und Abwesenheiten sowie dem Verhalten der Gebäudenutzer wird im Rahmen des Energiemanagements verwendet, um Energieverbräuche zu senken (Sharmin, Gül, Al-Hussein 2017; Dibley et al. 2013; Jaspers et al. 2018; Schuster et al. 2018; Rafsanjani, Ghahramani 2020). Zur Betrachtung des Wohlbefindens von Gebäudenutzern, das stark mit der Innenraumlufthqualität zusammenhängt, werden Sensoren zur Messung von Temperatur, Licht, Geräuschen oder Luftfeuchtigkeit genutzt (Marzouk, Abdelaty 2014a; Zaballos et al. 2020; Zhong et al. 2018; Marzouk, Abdelaty 2014b; Lin, Cheung 2020).

- **Havarie-Management:** Notfallmanagement in Gebäuden ist erforderlich, z. B. bei terroristischen Anschlägen, Feuer, Erdbeben oder Überschwemmungen, um die Sicherheit von Gebäudenutzern während einer Havarie zu gewährleisten. Durch den Einsatz von Sensoren zur Messung von Beschleunigungen und Erfassung von Objekten können Havariesituationen durch definierte Parameter erkannt und Szenarien zur Evakuierung entwickelt werden (Dibley et al. 2012; Parn et al. 2019; Jeon et al. 2018). Der Einsatz netzunabhängiger Sensoren gewährleistet eine verlustfreie Erfassung von Sensordaten und deren Auswertung, z. B. bei Stromausfällen (Sun et al. 2021; Cigada et al. 2010).
- **Flächenmanagement:** Die Erfassung von genutzten Flächen, z. B. durch die Verknüpfung erfasster Benutzerdaten im Rahmen des Belegungs- und Reservierungsmanagements sowie die Verknüpfung der Daten mit der Gebäudetechnik ermöglicht die Anpassung von Beleuchtung, Heizung oder Kühlung an die Belegungsrate (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020a).
- **Reinigungsmanagement:** Der Einsatz von Sensoren zur Erfassung von Witterungsbedingungen, Objekten oder Raumluftqualitäten kann dafür genutzt werden, um Reinigungsmanagement effizienter zu gestalten. Reinigungsdauern können z. B. durch Erfassung von Sensordaten an Türen ermittelt oder nutzungsabhängige Reinigungen durch die Ermittlung von Raumbelegungen ermittelt werden (Jaspers et al. 2018; Schuster et al. 2018). Durch Sensoren, die in Lichtschaltern und Türklinken integriert sind, kann die Anzahl der Frequentierungen der Bauteile ermittelt und die Auslösung eines Reinigungsprozesses initiiert werden (Ballard 2021). Bewegliche Objekte in Gebäuden, z. B. Gepäckwagen an Flughäfen oder Betten in Krankenhäusern, können mit Sensoren ausgestattet werden, die die Lokalisierung und Nutzungsintensität der Objekte ermöglichen. In Abhängigkeit der Nutzungshäufigkeit können die Objekte durch Reinigungspersonal lokalisiert und gereinigt werden (Hanhart 2008).

- Instandhaltung: Sensoren, die in technischen Anlagen integriert oder an technischen Anlagen angebracht sind, senden eigenständig Störungsmeldungen und lösen, in Abhängigkeit der dafür definierten Prozesse, erforderliche Maßnahmen aus. Weiterhin können durch Abweichungen der Sensormesswerte von Normwerten Defekte an Anlagen vorausschauend erkannt werden. Ein Beispiel dafür ist das Erkennen einer defekten Klimaanlage durch abweichende Kohlenstoffdioxidwerte (Jaspers et al. 2018; Schuster et al. 2018; Parn et al. 2019; Molnar 2020).

Die Nutzung der Daten unterschiedlicher Sensoren im Sinne des IoT-Gedankens bietet einerseits die Möglichkeit einer effizienteren Gebäudenutzung, andererseits erweist sie sich jedoch als Herausforderung im Hinblick auf die Strukturierung und Analyse der Daten. Die Nutzung von Daten im FM erweist sich nur dann als praktikabel, wenn in der Planungsphase eine genaue Analyse der im Betrieb erforderlichen Sensoren durchgeführt wird. Ein Defizit des Sensoreinsatzes in Gebäuden sind fehlende Methoden zur Nutzung der generierten Daten (Xu et al. 2019). In der Praxis werden Gebäude mit Sensoren „überfrachtet“, was zu einer enormen, z. T. Betriebssysteme-verlangsamenden, Datenmenge führt. Ohne Strategien zur gezielten Nutzung der generierten Daten erweist sich der Einsatz von Sensoren als nachteilig: Einerseits entstehen Energiekosten beim Betrieb von IoT-Geräten, andererseits entstehen „Datenfriedhöfe“, da die in der Kürze der Zeit generierte Anzahl von Daten nicht strukturiert genutzt, sondern nur gesammelt werden (Lee, Lee 2020).

Zum Aufzeigen der Nutzungsmöglichkeiten der in Gebäuden befindlichen Technologien haben Hossenfelder, Zscheile, Köhler (2019) eine Übersicht erstellt. Dabei wird deutlich, dass eine Vielzahl existierender Sensortypen und ihrer Messgrößen theoretisch für Leistungen aus allen Aufgabengebieten des operativen FM genutzt werden können. Insbesondere Daten, die durch Sensoren der Gebäudetechnik generiert werden, z. B. Temperatur, Durchfluss oder Luftqualität, können zusätzlich für eine Vielzahl von anderen FM-Prozessen genutzt werden. Im FM werden kontinuierlich verlässliche Daten und Informationen, bezogen auf jede der neun LZP, benötigt, um einen störungsfreien Gebäudebetrieb gewährleisten zu können. Diese Daten und Informationen beziehen sich auf Planungs-, Anlagen-, Instandhaltungs- und Betriebsinformationen. Eine generelle Herausforderung bei FM-Informationen ist, dass diese inhärent dynamisch sind, sodass die Anforderungen an das FM schwierig zu bedienen sind. Um das Problem der dynamischen Änderung von Informationen zu reduzieren, ist eine kontinuierliche Daten- und Informationsauswertung innerhalb von Abläufen und Prozessen zur Identifikation von Schwachstellen sowie zur Einleitung von Änderungen in Prozessabläufen erforderlich. Auch im FM ist es möglich, dass zum Zeitpunkt eines Informationsabrufs die erhaltenen Informationen bereits veraltet sein können (Braun, Pütter 2007).

2.3.3 Sensordatenanalyse und Auswertung im FM

Die Sammlung und Nutzung von Unternehmensprozess- und Sensordaten ermöglicht eine Effizienzsteigerung der Gebäudenutzung (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020a). Auf Grundlage ermittelter Daten können Auswertungen, z. B. in Form von Kennzahlenanalysen vorgenommen werden (Hofmann, Jaspers, May 2018). Der Begriff „Data-driven FM“, also das datengetriebene FM, steht für einen intelligenten Betrieb von Gebäuden und FM-Prozessen, aufbauend auf den insbesondere durch Sensoren ermittelten, zur Verfügung stehenden Daten, die analysiert werden (Hofmann, Jaspers, May 2018; Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020a). Es wird zwischen Echtzeitdatenanalyse, Monitoring und Evaluierung differenziert. Die Analyse von aktuellen Zuständen und Prozessen wird als Echtzeitanalyse definiert, wobei die neu generierten Daten bereits unmittelbar nach Erhebung wieder der Vergangenheit angehören. In der Praxis werden für Echtzeitanalysen Daten verwendet, deren Generierung wenige Minuten bis Stunden zurückliegen. Beispiele für Echtzeitanalysen sind Besprechungsraumbelegungen, die Bereitstellung von Umweltdaten, z. B. zur Ermittlung der Raumluftqualität, und das Anlagenmanagement. Werte, die außerhalb eines Normbereichs liegen, führen dabei zu Inspektionsmaßnahmen. Daten für Monitoringzwecke, d. h. zur Überwachung, werden in der Regel über Wochen und Monate genutzt, wie z. B. im Bereich der Qualitätssicherung, Überwachung von Reaktionszeiten, Ermittlung von Reparaturdauern oder Fehlerintervallen. Die Nutzung von Daten über einen Zeitraum von Jahren erfolgt bei der Evaluierung, z. B. zur operativen Steuerung von FM-Prozessen mit Kennzahlen (Hofmann, Jaspers, May 2018).

2.4 Integrale Betrachtung von FM, BIM und Sensortechnologien

Die Nutzung von BIM und Sensortechnologie im FM als integraler Ansatz ist weit weniger erforscht als die separate Betrachtung von BIM im FM sowie Sensortechnologie im FM (Manino, Dejaco, Re Cecconi 2021). Beide Disziplinen können jedoch genutzt werden, um z. B. verarbeitete Sensordaten visuell in BIM-Modellen abzubilden und auf diese Weise Analysen und Simulationen für das FM in den Modellen durchzuführen. Ein Beispiel dafür ist die Überwachung und Steuerung von technischen Anlagen über alle LZP hinweg. Hierbei werden vormodellierte Bauteilgruppen der in Gebäuden befindlichen Anlagen in digitale Gebäudemodelle integriert (Chen et al. 2014). Im Bereich der Optimierung von Energieverbräuchen in Gebäuden setzen einige Forschungsansätze auf den integralen Einsatz von BIM und Sensortechnologien im FM: Kazado, Kavgic, Eskicioglu (2019) forschen zur Integration von BIM und Sensortechnologie für das FM, z. B. Energieverbräuche in Gebäuden durch Auswertungen von Nutzerdaten zu reduzieren. Dazu werden Nutzerdaten, wie z. B. Bewegungsdaten von Gebäudenutzern, durch Sensoren erfasst und in BIM-Modellen visualisiert. Die Bewegungsdaten liefern Erkenntnisse darüber, welche Gebäudebereiche stark, schwach oder überhaupt nicht

frequentierte werden, um in diesen Bereichen energetische Maßnahmen zu ergreifen. Das Energiemanagement ist jedoch nur ein Teilbereich des FM.

Der Einsatz von Sensoren und BIM im FM zur Überwachung thermischer Leistungsparameter in Gebäuden kann z. B. genutzt werden, um Serverlastverteilungen in Rechenzentren während der Laufzeit zu überwachen. Durch das Sammeln, die Kontextualisierung und die Visualisierung von Sensordaten in Gebäudeinformationsmodellen, die die geometrischen und funktionalen Merkmale von Rechenzentren erfassen, kann die Auswirkung thermischer Leistung der Server-Arbeitsumgebung in Echtzeit vorhergesagt werden. Durch die Visualisierung kann das FM thermische Heizzonen zeitnah lokalisieren und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz initiieren (Wu et al. 2015).

Bei der integralen Betrachtung von BIM und Sensortechnologien im FM lassen sich jedoch folgende Probleme identifizieren:

- Die für das FM erforderlichen Daten und Informationen, generiert aus BIM-Modellen, enthalten nicht alle Angaben, die zur Leistungserbringung im FM benötigt werden (Kassem et al. 2015).
- Der Fokus des Einsatzes von Sensortechnologien und BIM im FM liegt auf den Bereichen Energiemanagement und Instandhaltungsmanagement (Al Dakheel et al. 2020; Lu et al. 2020; Edirisinghe, Woo 2020; Atta, Talamo 2020; Wong, Ge, He 2018). Das Forschungsfeld des integralen Ansatzes von BIM und Sensortechnologien im FM betrachtet zwar einzelne Teilbereiche des FM, jedoch nicht das FM mit den dienstleistungsorientierten Aktivitäten des IFM. Vollumfängliche Forschungs- und Integrationsansätze zur Nutzung von BIM und Sensortechnologien im FM mit all den dazugehörigen Aufgabenbereichen, insbesondere im operativen FM, sind nur in Ansätzen vorhanden.
- Integrale Ansätze sind geprägt durch die Nutzung proprietärer Systeme, d. h. durch Systeme, die nicht für andere Systeme offen sind (Pärn, Edwards 2017; Zhang, Seet, Lie 2015).

Die integrale Betrachtung von BIM und Sensortechnologien spielt vor dem Hintergrund des digitalen Gebäudezwilling, d. h. der virtuellen Repräsentation eines Gebäudes, das sein aktuelles und vergangenes Verhalten darstellt, eine Rolle. Geometrische Informationen zur Gebäudekonstruktion und die darin enthaltenen technischen Systeme können Erkenntnisse darüber liefern, ob Werte, z. B. die Raumluftqualität betreffend, in Räumen von Normvorgaben abweichen und ob diese Abweichungen auf gemeinsam genutzte technische Systeme zurückzuführen sind (Jaspers et al. 2018).

2.5 Grundlagen des Datenaustauschs für BIM im FM

Die Nutzung von BIM und Sensortechnologien für das FM bieten Vorteile, wie in den zuvor genannten Kapiteln beschrieben. Im Rahmen einer gemeinsamen Datenumgebung sind jedoch Datenaustauschformate zwischen den Beteiligten eines Gebäudeplanungsprozesses zu definieren (GEFMA 926). Neben proprietären Datenaustauschformaten existieren national und international verschiedene Datenaustauschformate, die bereits zu Teilen standardisiert und damit als allgemein gültig anerkannt sind. Ein Datenaustausch findet nicht einmalig statt, sondern ist ein repetitiver Prozess, der in der Konzeptionsphase beginnt und bis zur Inbetriebnahme eines Gebäudes andauert. Bezogen auf den digitalen Gebäudezwilling findet ein Daten- und Informationsaustausch auch während der Nutzungsphase statt. Der Datenaustausch findet nicht einseitig statt, sondern basiert auf der Kommunikation der Projektbeteiligten. Um BIM effektiv in der Gebäudenutzungsphase einzusetzen, ist neben der Kooperation von Projektbeteiligten auch eine fehlerfreie Kommunikation der verwendeten IT-Systeme erforderlich. In BIM existieren zwei Möglichkeiten der IT-Kommunikation: ClosedBIM und OpenBIM (GEFMA 926). Bei ClosedBIM nutzen alle Projektbeteiligten ein Softwareprodukt eines Herstellers. Der Vorteil der Nutzung von proprietären Formaten liegt in dem effektiven modell- und informationsbasierten Datenaustausch aller Projektbeteiligten. Nachteile ergeben sich jedoch durch die Bindung an ein einzelnes System: Projektbeteiligte, die andere Softwareprodukte nutzen, können nicht interagieren (GEFMA 926). Bei OpenBIM können Softwareprodukte unterschiedlicher Hersteller, also nicht-proprietär, genutzt werden. Der Modell- und informationsbasierte Datenaustausch erfolgt bei OpenBIM durch neutrale, sog. offene, Datenaustauschformate (GEFMA 926). Die Differenzierung zwischen ClosedBIM und OpenBIM kann noch detaillierter formuliert werden, wie in Abb. 2-4 dargestellt.

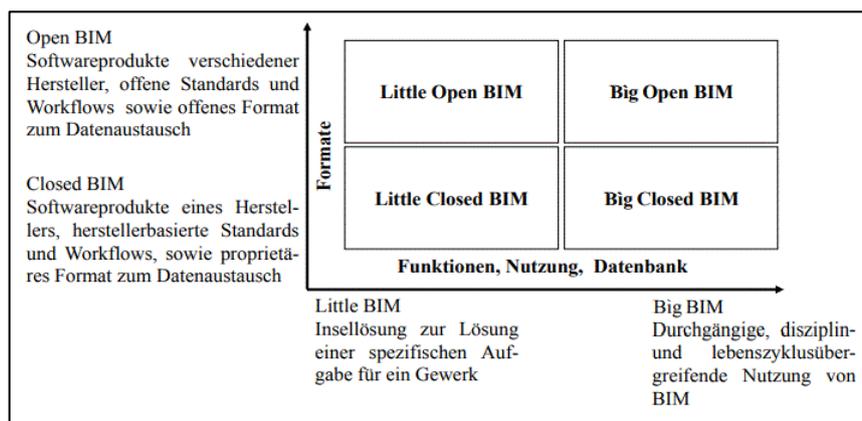


Abb. 2-4: Breite des BIM-Einsatzes mit möglichen BIM-Konstellationen

(Bartels 2020, S. 13)

Zu den wesentlichen offenen Datenaustauschformaten gehören die Industry Foundation Classes (IFC), CAFM-Connect, der Construction Operation Building information exchange (CO-

Bie), Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB) DA XML sowie das BIM collaboration Format (BCF). Die IFC stellen ein objektorientiertes Datenmodell für Gebäude und deren technische Ausstattung bereit, das u. a. Bauteile, Komponenten und Räume als Objekte geometrisch repräsentiert und deren Beziehungen untereinander sowie ihre Eigenschaften abbildet (van Treeck 2016). Die Ermittlung von Bedarfen zur Leistungserbringung auf Grundlage von Sensordaten, die Nutzung und Weiterverarbeitung der generierten Daten ohne proprietäre Zwischensysteme sollte demnach auch in offenen Austauschformaten möglich sein. CAFM-Connect ist eine Initiative von Verbänden und Institutionen (z. B. GEFMA, buildingSMART, planen bauen 4.0), mit dem Ziel, Standardisierung von digitalem Datenmanagement im Bereich Planen, Errichten und Betreiben voranzutreiben (Aengenvort, Dickmann 2014). Das Datenformat CAFM-Connect stellt einen offenen, digitalen Bauteilkatalog dar und bildet eine einheitliche Schnittstelle (für Im- und Export) zum Austausch alphanumerischer CAFM-Daten (Bender et al. 2018). COBie ist eine Spezifikation, die explizit die Übergabe von Gebäude- und Anlagendaten an den Betreiber definiert, jedoch ohne die Berücksichtigung geometrischer Informationen. Der Fokus von COBie konzentriert sich auf die Beschreibung von Räumen in Gebäuden sowie den technischen Gebäudeausrüstungen, um den Betrieb und die Wartung der Geräte zu unterstützen (Beetz, Borrmann, Weise 2015). Der auf IFC basierende und im Jahr 2006 durch das „National Institute of Building Sciences (NIBS) Facility Maintenance and Operations Committee“ entwickelte Standard COBie wurde im Jahr 2011 als Standard durch das NBIS veröffentlicht und im Jahr 2014 in einen britischen Standard überführt (Bender et al. 2018). In COBie werden Planungs- und Ausführungsdaten von Gebäuden und technischen Anlagen bereitgestellt, Daten zur Leistungserbringung im FM sind jedoch nicht enthalten (Bartels 2020; Bender et al. 2018). GAEB DA XML ist eine Austauschform, mit der Informationen zu Ausschreibung und Abrechnungen digital ausgetauscht werden können. Es existieren unterschiedliche Versionen des GAEB, wobei GAEB DA XML 3.2 die aktuellste darstellt (MWM Software & Beratung GmbH 2017). BCF stellt einen offenen buildingSMART Standard dar, der für den Austausch von Planungsänderungen zwischen unterschiedlicher BIM-Softwareprodukte genutzt wird (Pilling, Gerrits 2021, S. 210).

Die Anwendbarkeit der genannten offenen Datenaustauschformate für eine bedarfsorientierte Leistungserbringung im FM wurde von Wills, Bartels (2021) untersucht und ist nur in Ansätzen möglich. Die Heterogenität von Gebäuden und verschiedenen Leistungsarten in der Gebäudenutzungsphase, insbesondere die bedarfsorientierte Leistungserbringung, die eine Nutzung von Sensordaten erfordert, ermöglicht keinen vollumfänglichen Austausch FM-relevanter Daten von der Planungs- in die Nutzungsphase (Wills, Bartels 2021).

2.6 Zusammenfassende Betrachtung des aktuellen Stands

Die Ausführungen zum aktuellen Stand der Leistungserbringung in der Gebäudenutzungsphase verdeutlichen, dass das multidisziplinäre Tätigkeitsspektrum des FM in Kombination mit der Heterogenität von Gebäuden und Nutzungsarten einen komplexen Prozess darstellt. Typengemischte Verträge werden durch SLA ergänzt, um Transparenz für Auftragnehmer und Auftraggeber des FM zu gewährleisten. Die vertraglich vereinbarte Art der Leistungserbringung bietet den Vertragsparteien gleichermaßen Vor- und Nachteile. Unter nachhaltiger Betrachtung bietet die verrichtungsorientierte Leistungserbringung eine zuverlässige Planungssicherheit für beide Vertragsparteien, resultiert jedoch aufgrund fehlender Bedarfsorientierung in vermeidbaren Kosten für den Auftraggeber. Die ergebnisorientierte Leistungserbringung, bei der eine Fokussierung auf den eigentlichen Bedarf einer Tätigkeitsausführung erfolgt, stellt den Auftragnehmer vor die Problematik der Bedarfsidentifizierung. Um die vertraglich vereinbarten Ergebnisse liefern zu können und im Rahmen der Qualitätssicherung keine negativen Sanktionen zu erfahren, ist der Bedarf zur Leistungserbringung zu identifizieren. Da diese Bedarfserkennung manuell nicht vollumfänglich zu gewährleisten ist, existieren auf dem Markt bereits sensorgestützte Softwareanwendungen, die insbesondere im Bereich der Reinigungs- und Pflegedienste sowie der vorausschauenden Wartung und Instandhaltung von gebäudetechnischen Anlagen für Entlastung des Auftragnehmers sorgen. Dies stellt jedoch nur singuläre Insellösungen dar. Während die sensorgestützte vorausschauende Wartung und Instandhaltung von Anlagen bereits mit wissenschaftlichen Erkenntnissen gefestigt ist, sind wissenschaftliche und fundierte Ausarbeitungen zur sensorbasierten und ergebnisorientierten Leistungserbringung im Bereich des infrastrukturellen FM nicht bekannt. Vor dem Hintergrund, dass das IFM, wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit beschrieben, der größte Kostentreiber in der Bewirtschaftungsphase eines Gebäudes darstellt, ergibt sich ein Lösungsdruck im Bereich der sensorbasierten Bedarfsermittlung im Dienstleistungsbereich des IFM.

Im Sinne der lebenszyklusübergreifenden BIM-Methode können Daten, die für die Leistungserbringung im FM relevant sind, bereits in der Gebäudeplanungsphase generiert werden. Die Vergabe von FM-Leistungen erfolgt jedoch zu einem späteren Zeitpunkt, als FM-Anforderungen an den BIM-Planungsprozess zur Integration in die AIA bereitzustellen sind. Trotz Regelwerken und Empfehlungen zur Berücksichtigung von Anforderungen des FM in der Planungsphase bestehen diesbezüglich Defizite in der praktischen Umsetzung. Daraus folgt, dass Informationen in nicht adäquater Weise zur Verfügung stehen und durch Akteure des FM aufzuarbeiten sind.

Die angesprochenen Problematiken verdeutlichen, dass FM-Anforderungen zur Leistungserbringung zu Beginn einer Planungsphase berücksichtigt werden sollten, um bedarfsorientierte Leistungserbringung objektiv und transparent zu ermöglichen.

Die wissenschaftliche Betrachtung bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM auf Basis von Sensortechnologien und BIM, die keine softwareproduktspezifische Insellösung darstellt, soll in dieser Arbeit durch die Entwicklung eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung adressiert werden. Dieses Modell beruht auf der Erfassung von Zuständen, Datenauswertungen und dem Auslösen von Aufträgen. Zustände werden dabei durch Sensortechnologien erfasst und durch Algorithmen zur Bedarfsermittlung genutzt. Um Leistungserbringung im FM zu ermöglichen, werden daher im folgenden Kapitel zunächst die dafür relevanten Informationen definiert und zu einem Informationsmodell zusammengestellt.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

Nachfolgend werden zunächst Erläuterungen zu den Begrifflichkeiten „Daten“ und „Informationen“ gegeben sowie die Grundlagen der Datenmodellierung erläutert. Informationen sollen die Basis des in dieser Arbeit entwickelten Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM bilden. Die Definition und Strukturierung dieser Informationen ist erforderlich, um sie zur Bedarfsermittlung und Leistungserbringung nutzen zu können. Nach der Beschreibung des methodischen Vorgehens zur Ermittlung der relevanten Informationen werden diese strukturiert und zu einem Informationsmodell organisiert. In dieser Arbeit wird der Facility Service Reinigungs- und Pflegedienste der Unterhaltsreinigung von Innenräumen betrachtet. Explizit ausgenommen davon sind die Glasreinigung sowie die Reinigung von Facilities, die sich nicht in Gebäudeinnenräumen befinden. Das entwickelte Modell ist jedoch auf weitere Prozesse des IFM übertragbar.

3.1 Grundlagen relationaler Datenbankstrukturen

Zum besseren Verständnis von Daten und Informationen werden die Begriffe zunächst inhaltlich voneinander abgegrenzt: Als Daten werden Zeichen bezeichnet, die noch nicht interpretiert sind. Beliebige Zeichen bzw. Zeichenfolgen wie 2, 7, 25, 13 werden erst dann zu Daten, wenn ein Bezug hergestellt wird. Informationen sind Daten, denen eine Bedeutung beigegeben wird (North 2016). Werden Informationen miteinander in Beziehung gesetzt, ergibt sich daraus Wissen (Fuchs-Kittowski 2000). Bezogen auf den Kontext dieser Arbeit sind Daten reine Messwerte von Sensoren. Die Daten werden dann zu Informationen, wenn sie mit weiteren Daten oder Aufgaben in Beziehung gesetzt werden. Anhand der Wissenspyramide kann der Zusammenhang zwischen Daten, Informationen und Wissen verdeutlicht werden. In Abb. 3-1 sei als Beispiel die Reinigung einer Bodenfläche, die nach 1.000 Frequentierungen zu erfolgen hat, anhand der Wissenspyramide dargestellt.

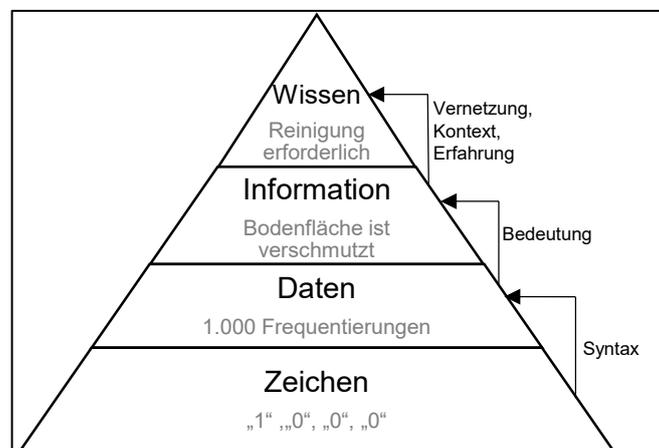


Abb. 3-1: Wissenspyramide
nach (Fuchs-Kittowski 2000, S. 21)

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

Der Sensormesswert 1.000 (Daten) wird zweckorientiert verwendet, um Verschmutzungen zu ermitteln. Die Vernetzung der Information „Verschmutzung“ mit weiteren Informationen liefert die Erkenntnis (Wissen), dass eine Reinigung erforderlich ist. Die Entscheidungsfindung bedarfsorientierter Leistungserbringung erfordert in Beziehung stehende Informationen.

Um Bedarfe auf Basis von Informationen zu ermitteln, erfolgt die Informationsstrukturierung in Anlehnung an die Modellierung einer relationalen DB. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, werden DB im FM zur Informationssammlung und -strukturierung genutzt (Jedlitzke et al. 2018). DB im Allgemeinen dienen der zielgerichteten Verwaltung von Informationen und Daten (Staud 2005). „Eine Datenbank ist eine selbstständige und auf Dauer ausgelegte Datenorganisation, welche einen Datenbestand sicher und flexibel verwalten kann“ (Steiner 2017, S. 5). Des Weiteren unterstützen DB bei der Abwicklung von Prozessen jeglicher Art. Die in DB vorhandenen Informationen sind nicht redundant und können abgefragt sowie ausgewertet werden (Staud 2005; Steiner 2017). Bei der Erstellung relationaler DB werden Informationen in Schemata strukturiert und diese zueinander in Beziehung gesetzt. Die Entwicklung solcher Schemata erfolgt in Entity-Relationship-Modellen (ER-Modellen).

Um das Grundkonzept einer ER-Modellierung zu verstehen, sind die Begriffe „Entität“, „Attribut“ und „Relation“ zu erläutern. Eine Entität ist ein eindeutig identifizierbares und durch Merkmale definiertes Objekt wie z. B. Dinge, Personen, Produkte oder Aufgaben (Chen 1976, S. 10). Entitäten werden durch Attribute definiert (Lassmann 2006; Steiner 2017). Die Entitätsmenge ist ein Entitätstyp (Staud 2005; Steiner 2017). Einzelne Entitätstypen können zueinander in Beziehung gesetzt werden, was über Relationen erfolgt (Chen 1976). Entitäten und ihre Beziehungen zueinander können in ER-Modellen beschrieben werden. Übertragen auf eine Tabelle stellt eine Entität eine Tabellenzeile dar. Attribute sind die Zellen des Tabellenblatts und der Entitätstyp ist die Gesamtheit der Entitäten, d. h. alle Informationen in einem Tabellenblatt. Verständlicher wird dies anhand eines Beispiels: Wird eine Entität Raum betrachtet, so sind die einen Raum beschreibenden Eigenschaften wie die Raumnummer oder der Raumname die Attribute. Eine Übersicht aller Räume mit ihren Eigenschaften ist dann ein Entitätstyp. ER-Modelle werden grafisch in Form von sog. ER-Diagrammen dargestellt. Für die Darstellung existieren unterschiedliche Notationsformen wie die Chen-Notation oder die Verwendung der Unified Modeling Language (UML) (Staud 2005). Jede der Notationsformen weist Vor- und Nachteile auf. Das in dieser Arbeit entwickelte Informationsmodell wird in Anlehnung an die UML-Notation visualisiert. In Abb. 3-2 sind die wesentlichen UML-Notationen für den Kontext dieser Arbeit erläutert.

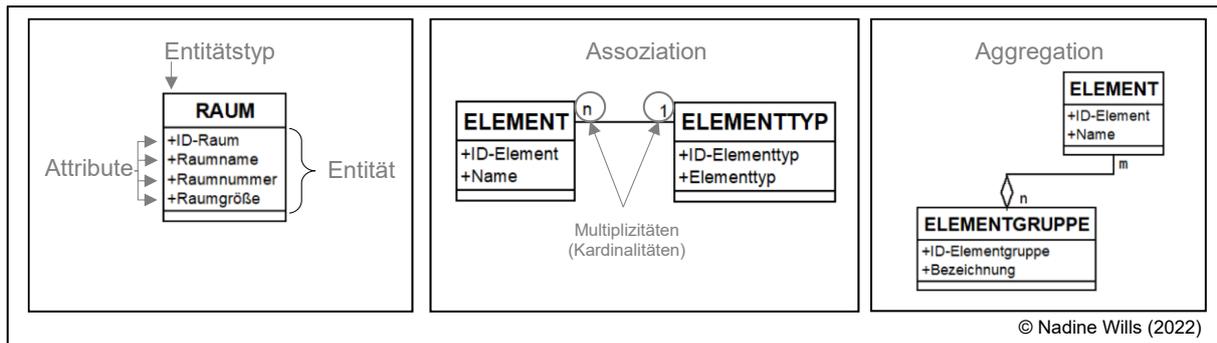


Abb. 3-2: Erläuterung der UML-Notationsform

Es existieren verschiedene Arten von Relationen zwischen Entitäten. Die Assoziation stellt eine einfache Verbindung zwischen zwei Entitäten dar, die unabhängig voneinander existieren. Die Aggregation ist eine spezielle Form der Assoziation, die die Zugehörigkeit einer Entität zu einer anderen darstellt (Höpping 2019). Aggregationen werden durch Pfeile mit nicht ausgefüllten Rauten dargestellt. Die Raute steht auf der Seite des Aggregats, also des Ganzen (SparxSystems Software GmbH 2021). Bezogen auf Abb. 3-2 bedeutet dies, dass Elementgruppen Elemente haben, im Sinne von besitzen. Die Multiplizitäten, auch als Kardinalitäten bezeichnet, definieren, wie viele Objekte einer Entität mit Objekten einer anderen Entität in Beziehung stehen dürfen. Bei einer 1:n-Beziehung, gelesen als „eins zu n-Beziehung“ kann eine Entität mit n, also einer oder mehreren Entitäten in Relation stehen. Bei einer m:n-Beziehung können m Entitäten eines Entitätstyps mit n Entitäten eines weiteren Entitätstyps in Beziehung stehen (Rupp, Queins 2012, S. 108). Es existieren weitere Formen der Assoziation, die für diese Arbeit jedoch nicht von Bedeutung sind.

3.2 Methodisches Vorgehen der Informationsmodellierung

In einem ersten Schritt sind Informationen, die für eine Leistungserbringung erforderlich sind, zu definieren. Die Definition von für die FM-Leistungserbringung relevanten Informationen erfolgt anhand einer quantitativen Analyse. Die zusammengetragenen Informationen werden im Anschluss kategorisiert. Es erfolgt zunächst eine Kategorisierung in statische und dynamische Informationen, bevor eine inhaltliche Kategorisierung erfolgt. Darauf aufbauend werden die Informationen in statische Prozess-, Gebäude- und Sensorinformationen strukturiert. Im Rahmen der Strukturierung werden jeweils Informationsquellen benannt und analog dem Vorgehen zum Aufbau einer Datenbankstruktur miteinander in Relation gesetzt. Abschließend werden die erstellten Informationsstrukturen zu einem Informationsmodell zusammengefügt. Das Vorgehen dazu ist in Abb. 3-3 dargestellt.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

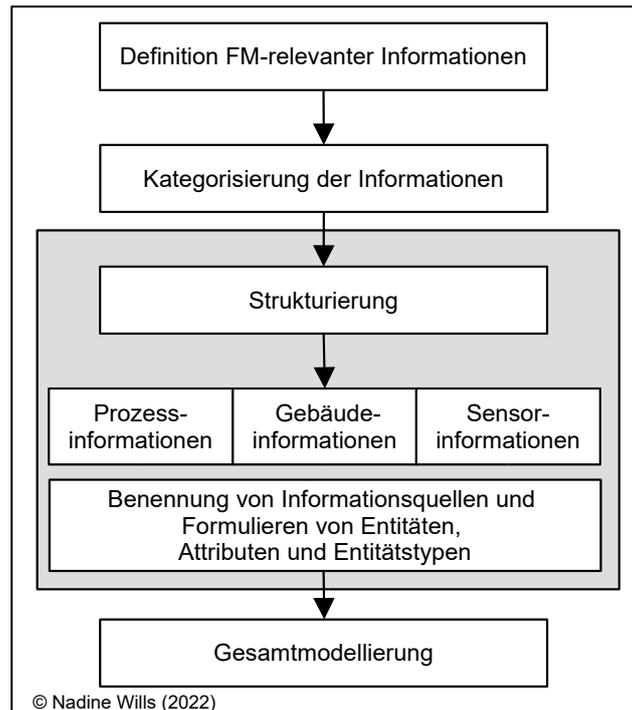


Abb. 3-3: Methodisches Vorgehen zur Entwicklung einer Informationsstruktur

Der erste Schritt zur Definition relevanter Informationen besteht in einer Untersuchung von Richtlinien, Normen und Standards. Dazu zählen insbesondere Normen der DIN, Richtlinien der GEFMA sowie Regeln und Informationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Ferner werden 40 Leistungsverzeichnisse der Unterhaltsreinigung öffentlicher und privater Auftraggeber untersucht. Die betrachteten Gebäudearten sind: Feuerwehren, Dorfgemeinschaftsräume, Bürogebäude, Schulen, Turn- und Sporthallen, Haft- und Untersuchungsräume, Niederlassungsgebäude von Busbetriebshöfen, Flughäfen, Friedhofshallen, Bauhöfe und Mehrzweckhallen². Bei der Analyse der Unterlagen werden Informationen, die für die Ausführung von Tätigkeiten der Leistung Unterhaltsreinigung erforderlich sind, identifiziert. Zur Sicherstellung, dass die identifizierten Informationen für unterschiedliche Gebäude- und Nutzungsarten allgemeingültig sind, werden Leistungsverzeichnisse zur Unterhaltsreinigung gem. Gebäude- und Raumnutzungsarten nach DIN 32835-2 untersucht. Die untersuchten Richtlinien und Standards sind in Tabelle 3-1 dargestellt.

Instanz	Richtlinien und Standards (allgemeine Leistungserbringung im FM)
DIN	<i>DIN 32736</i> : Gebäudemanagement. Begriffe und Leistungen
	<i>DIN 32736-BI.1</i> : Gebäudemanagement. Gegenüberstellung von Leistungen
	<i>DIN 32835-1</i> : Technische Produktdokumentation – Dokumentation für das Facility Management: Teil 1: Begriffe und Methodik
	<i>DIN 32835-2</i> : Technische Produktdokumentation – Dokumentation für das Facility Management: Teil 2: Nutzungsdokumentation
	<i>DIN EN 15221-5</i> : Facility Management-Teil 5: Leitfaden für Facility Management Prozesse
	<i>DIN EN 13549</i> : Reinigungsdienstleistungen – Grundanforderungen und Empfehlungen für Qualitätssysteme

² Eine Auflistung der untersuchten Leistungsverzeichnisse findet sich in Anhang A4.

Instanz	Richtlinien und Standards (allgemeine Leistungserbringung im FM)
GEFMA	GEFMA 100-1: Facility Management: Grundlagen
	GEFMA 100-2: Facility Management: Leistungsspektrum
	GEFMA 198-1: Dokumentation im Facility Management
	GEFMA 198-2: Dokumentation im Facility Management - Einzeldokumente (Dokumentenliste)
	GEFMA 922-01: Übersicht zu Daten und Dokumenten im Lebenszyklus einer Immobilie
	GEFMA 470: Austausch digitaler Daten im FM
	GEFMA 924: Datenmodell, Kataloge und Ordnungsrahmen für das FM
	GUV-I 659: GUV-Informationen – Gebäudereinigungsarbeiten
	DGUV-Regel 101-605: Branche Gebäudereinigung
	DGUV-Regel 101-018: Umgang mit Reinigungs- und Pflegemitteln

Tabelle 3-1: Recherchequellen zur Informationsdefinition von FM-Leistungserbringungen

3.3 Bestandteile des Informationsmodells

Die im Rahmen der Untersuchung gesichteten Unterlagen ergeben, dass Leistungserbringung im FM an Elementen, Flächen und Facilities, die in Gebäuden vielfach vorhanden sind und sich wiederum durch eine Vielzahl von Eigenschaften definieren, erfolgt. In dieser Arbeit wird der Ansatz verfolgt, jeweils nur die Informationen und Elemente zu betrachten, die die eigentliche Tätigkeit betreffend. Das Ziel dieses Ansatzes ist es, eine ausreichende Informationsdichte zur FM-Leistungserbringung von der Planungs- und Errichtungs- in die Betriebsphase zu transferieren.

3.3.1 Relevante Informationen für FM-Leistungserbringung

Aus der Sichtung der Unterlagen lassen sich die in Tabelle 3-2 zusammengefasst dargestellten Informationen ableiten, die zu einer Leistungserbringung erforderlich sind.

Informationsbezeichnung	Informationsbeschreibung	Beispiele
Reinigungsintervall und -zyklus	Intervall, in dem eine Fläche oder ein (Ausstattungs-)Element zu reinigen ist	Täglich, wöchentlich, alle zwei Tage
Oberflächenmaterial	Das Material der Fläche (Boden, Wand, Decke) oder des Ausstattungselements	Keramik, Kunststoff, Holz
Elemente	Ausstattungs-elemente eines Gebäudes, die zu reinigen sind	Heizkörper, Handläufe, Stühle, Flächen, Wände
Flächenzugehörigkeit	Die Lage der zu reinigenden Fläche oder des (Ausstattungs-)Elements	Waschtischarmaturen in Raumgruppe 24 (1.OG)
Reinigungsbereich	Definition des Reinigungsbereichs	Obenarbeit, Untenreinigung, Sanitär- und Nassbereiche
Anzahl	Anzahl der zu reinigenden Elemente	15 Waschtischarmaturen
Flächenangaben	Flächeninhalt der zu reinigenden Elemente und Fläche	425 qm Bodenfläche
Dienstleister	Der den FS erbringende Dienstleister oder Systemanbieter	Mustermann AG

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

Informationsbezeichnung	Informationsbeschreibung	Beispiele
Pflegehinweise	Hinweise, die zur Reinigung einer Fläche oder eines Ausstattungsgegenstands zusätzlich gegeben werden müssen	Chemische Reinigung der Teppichböden
Ausführungsart/Tätigkeit	Beschreibung der Art und Weise der auszuführenden Tätigkeit	Nass reinigen, trocken reinigen, saugen, polieren
Reinigungszeit/Verfügbarkeit eines Raums bzw. Elements	Angaben, wann eine Reinigung erfolgen kann bzw. eine Reinigung nicht möglich ist	Reinigung zwischen 18:00 - 20:00 Uhr. Keine Reinigung, wenn Räume belegt sind

Tabelle 3-2: Informationen zur Leistungserbringung von Reinigungs- und Pflegediensten

In Abhängigkeit der Gebäude- und Nutzungsart sowie des individuellen Reinigungsanspruchs des Auftraggebers können sich weitere Informationen ergeben. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und kann durch ergänzende Informationen wie z. B. Hygienelevel, erweitert werden.

Die Analyse der Leistungsverzeichnisse ergibt, dass Begriffe wie „Bedarf“ oder „bei Bedarf“ existieren, deren Definition jedoch fehlt. Auftragnehmer von Reinigungsleistungen haben Elemente z. B. „bei Bedarf“ zu reinigen. Dem Auftragnehmer obliegt es an dieser Stelle, einen Bedarf einzuschätzen. Bei verrichtungs- oder ergebnisorientierten Beauftragungen, basierend auf vertraglich vereinbarter Festvergütung, ist eine zusätzliche Vergütung durch den Auftraggeber nur dann möglich, wenn die Ausführung der Tätigkeiten durch den Auftragnehmer angekündigt ist. Ist ein Bedarf seitens des Auftragnehmers identifiziert, der u. U. nur durch Mehrarbeit ausgeführt werden kann, so ist die Zustimmung des Auftraggebers dazu einzuholen. Der Auftragnehmer wird demnach dazu tendieren, nur das Minimum an Tätigkeiten auszuführen, was wiederum im Widerspruch zur Anforderung „bei Bedarf“ steht. Die beispielhaften Leistungsverzeichnisse und -beschreibungen des Gymnasiums Oberaching weisen im Rahmen der Qualitätssicherung eine Aussage zu bedarfsorientierter Leistungserbringung auf: „Bedarfsorientierung, das heißt, die Intensität der einzelnen auszuführenden Leistungen hat sich am Bedarf zu orientieren“ (Zweckverband Staatliches Gymnasium Oberaching 20.07.2021, S. 13). Der Bedarf soll dabei vom Auftragnehmer bestimmt werden und ist von personenabhängigen, infrastrukturellen und elementaren Faktoren abhängig.

Ergänzend zu den beschriebenen Untersuchungsgegenständen wurden zur Vervollständigung relevanter Informationen zur Leistungserbringung Studien und „best practice“-Ansätze mit Schwerpunkt der Identifizierung FM-relevanter Informationen betrachtet. Die Recherche ergibt eine starke Fokussierung auf Facilities, weniger auf FM-Prozesse und Leistungserbringung. Demnach sind FM-relevante Informationen: allgemeine Informationen zur Facility, z. B. Art der Facility, Konstruktionsdokumentationen oder die Maße, Informationen zum Energiemanagement, die erwarteten Lebensdauern oder Nachhaltigkeitsleistungen von Anlagen und Bauteilen, Informationen zur Instandhaltung sowie Informationen zum Flächenmanagement,

z. B. Raum- und Geschosnamen und Informationen zu Anlagenbezeichnung, -kategorie oder -standort (Lin et al. 2016; Hunt 2016; Cavka, Staub-French, Poirier 2017; Matarneh et al. 2019; Mayo, Issa 2016; Thabet, Lucas 2017; Yang, Ergan 2017; Farghaly et al. 2018). Die starke Fokussierung auf Informationen technischer Anlagen und Facilities im Allgemeinen verdeutlicht die Bedeutung von Elementen, an denen Leistungen erbracht werden. In den Untersuchungsergebnissen ist eindeutig erkennbar, dass die auszuführenden Tätigkeiten einer Leistungserbringung im Vordergrund stehen. Aus den betrachteten Quellen lassen sich die in Tabelle 3-3 dargestellten Tätigkeiten einer Unterhaltsreinigung identifizieren.³

Reinigungsbereich	Reinigungstätigkeit (Beispiele)
Obenarbeit	Abfallbehälter entleeren, Nass- oder Trockenreinigung von Einbauten (z. B. Schränke, Schalter) und Ausstattungselementen (z. B. Mobiliar, Türen)
Sanitär- und Nassbereiche	Nassreinigung- oder Trockenreinigung von Facilities im Sanitär- und Nassbereich, z. B. Armaturen, WC-Becken inklusive Sitz und Deckel
Untenreinigung	Nassreinigung der Böden in Abhängigkeit des Bodenbelags, saugen, Fleckentfernung, polieren, cleanern, pflegen
Sonderbereiche und Sonderausstattung	Nass- oder Trockenreinigung von Sonderausstattungen, z. B. Spendersystemen, Bestückung von Spendersystemen

Tabelle 3-3: Reinigungstätigkeiten der Unterhaltsreinigung von Innenräumen

Tätigkeiten werden jedoch nicht alleinstehend, sondern immer in Verbindung mit dem davon betroffenen Element oder der Fläche betrachtet. Dies ist bei der Sichtung von Leistungsverzeichnissen deutlich, in denen es z. B. heißt: „Treppengeländer und Handlauf feucht reinigen und desinfizieren“ (Landestalsperrenverwaltung Freistaat Sachsen 2021, S. 9). Der Umfang der von den Reinigungstätigkeiten betroffenen Bereiche variiert in Abhängigkeit des Gebäudes und der Nutzungsart. So zählen in einem Flughafengebäude im Bereich der Obenarbeiten auch Informationsschalter, Monitore, Anzeigetafeln, Counter oder Verkofferungen zu Ausstattungselementen. In Turn- und Sporthallen zählen auch im Gebäude befindliche und fest montierte Sportgeräte, wie z. B. Sprossenwände, zu Ausstattungselementen. Die Sichtung von Leistungsverzeichnissen ergibt, dass Tätigkeiten in Abhängigkeit des Materials eines Elements bzw. je nach Beschaffenheit erbracht werden sollen. Die Beschaffenheit und das Material sind in den Unterlagen jedoch nicht aufgeführt. Der Auftragnehmer bzw. die Reinigungsfachkraft hat sich somit zunächst selbstständig einen Überblick über die Materialien zu verschaffen.

Im Sinne lebenszyklusübergreifender Gebäudeplanung sind auch der Entstehungszeitpunkt einer Information, der Informationslieferant (I-Lief.) und der Informationsempfänger (I-Empf.)

³ Im Bereich der Reinigungs- und Pflegedienste werden Tätigkeiten zusätzlich in Reinigungsbereiche unterteilt. Aus Gründen der Vollständigkeit sind diese Bereiche in der Auflistung mit aufgeführt.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

relevant. Informationen, die zur Ausführung von Tätigkeiten erforderlich sind und erst in der Nutzungsphase, d. h. GEFMA-LZP 6, benötigt werden, entstehen bereits in der Planungs- und Errichtungsphase. Eine Vielzahl dieser Informationen wird durch unterschiedliche Akteure weitergereicht und bearbeitet, bis diese beim eigentlichen Informationsnutzer eintreffen. In Tabelle 3-4 sind die Zeitpunkte der Informationsentstehung sowie deren Lieferant und Nutzer dargestellt. In der Tabelle 3-4 ist zu erkennen, dass ein Großteil der Informationen durch den Architekten (A) erstellt und über den Eigentümer (E) an den Betreiber (B) bis zum eigentlichen Informationsnutzer, dem Dienstleister (DL), weitergeleitet wird. Informationen können auch durch Produkthersteller bzw. Handwerker (H) geliefert werden.

Informationsbezeichnung	I-Lief.		I-Empf.	I-Lief.		I-Empf.
GEFMA-LZP	LZP 2 (Planung)		LZP 3 (Errichtung)		LZP 6 (Nutzung)	
Reinigungsintervall ,-zyklus			E	B	B	DL
Oberflächenmaterial	H	A	E	B	B	DL
Elemente	A		E	B	B	DL
Flächenzugehörigkeit	A		E	B	B	DL
Reinigungsbereich			E	B	B	DL
Anzahl	A		E	B	B	DL
Flächenangaben	A		E	B	B	DL
Dienstleistervertrag			E	B	B	DL
Pflegehinweise	H	A	E	B	B	DL
Ausführungsart/Tätigkeit			(E)	(B)	B	DL
Reinigungszeit			(E)	(B)	B	DL
Zugänglichkeit			(E)	(B)	B	DL

Tabelle 3-4: Übersicht von Informationslieferant, -empfänger und -nutzer

Die Informationen werden letztendlich in anderen Lebenszyklusphasen genutzt, als sie generiert werden: Während in der Planungsphase gebäude- und bauteilspezifische Informationen entstehen, die eine Relevanz für den späteren Ort der Tätigkeitsausführung haben, entstehen Informationen, die den Prozess der Tätigkeitsausführungen betreffen, in der Errichtungs- und Inbetriebnahmephase.

3.3.2 Kategorisierung FM-relevanter Informationen

Um die zuvor definierten Informationen zur Bedarfsermittlung einer Leistungserbringung nutzen zu können, sind diese zu kategorisieren. Die Kategorisierung erfolgt in zwei Schritten, die jedoch nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können:

1. Kategorisierung in statisch und dynamisch,
2. Kategorisierung nach inhaltlichem Kontext.

Zunächst erfolgt die Kategorisierung der Informationen nach statischen und dynamischen Gesichtspunkten. Laut Duden (2020) wird der Begriff „statisch“ als „keine Bewegung, Entwicklung aufweisend“ definiert. Das Antonym zu statisch ist „dynamisch“ und wird als „eine Bewegung,

Entwicklung aufweisend“ definiert (Duden, 2020a). Im Kontext dieser Arbeit werden Informationen als statisch deklariert, wenn sie sich während der Gebäudenutzung ohne geplante äußere Einwirkungen nicht ändern. Äußere Einwirkungen finden z. B. im Rahmen eines Umbaus oder einer Sanierung gem. GEFMA-LZP 7 sowie in Form von geplanten Instandsetzungsmaßnahmen in der GEFMA-LZP 6 statt. Dynamische Informationen weisen eine Veränderung auf und beschreiben Zustandsänderungen in Gebäuden in der GEFMA-LZP 6. Sie sollen im Folgenden zur Ermittlung des Bedarfs einer Leistungserbringung, der klassischerweise durch statische Intervalle in den SLA definiert wird, genutzt werden.

Die Kategorisierung der Informationen nach ihrem inhaltlichen Kontext erfolgt auf Basis der durch die GEFMA definierten Informationsarten⁴, wonach sich die Kategorien Bestands-, Prozess- und sonstige Informationen ergeben (GEFMA 400). Die Informationen werden diesen Kategorien zugeteilt. In Tabelle 3-5 sind die Informationen der Leistungserbringung zusätzlich nach ihrem inhaltlichen Kontext in statisch und dynamisch kategorisiert.

Informationsart	Inhaltlicher Kontext	Begründung	Kategorie
Bestandsinformationen	Gebäude und Gebäudeausstattung (Oberflächenmaterial, Flächenzugehörigkeit, Elemente, Anzahl, Flächenangaben)	Die bautechnische Konstruktion ändert sich in der Nutzungsphase nur durch äußere Eingriffe, z. B. eine geplante Sanierung, Modernisierung oder Umgestaltung.	statisch
Auftragsinformationen (Prozessinformationen)	Dienstleister (Kontaktinformationen, Zahlungsmodalitäten etc.)	Informationen zur Beauftragung einer Leistungserbringung wie z. B. der Dienstleister ändern sich in der Nutzungsphase nur durch einen Eingriff des FM, z. B. die Beauftragung eines neuen DL.	statisch
Zustandsinformationen (Prozessinformationen)	Bedarf bzw. Notwendigkeit	Die Abbildung des gegenwärtigen Zustands von Elementen unterliegt Änderungen, die sich auch ohne explizit geplante äußere Einwirkungen ergeben, wie z.B. der Verschmutzungsgrad einer Bodenfläche, der durch Frequentierung verändert wird sowie der Verschleiß an Bauteilen.	dynamisch
Verbrauchsinformationen (Prozessinformationen)	Bedarf bzw. Notwendigkeit	Medienverbräuche und Füllstände, z. B. von Seife oder Desinfektionsmittel verändern sich permanent und werden daher als dynamisch kategorisiert.	dynamisch
Sonstige Informationen	Tätigkeit (Pflegehinweise, Ausführungs-	Informationen, die für eine Leistungserbringung erforderlich und definiert sind, z. B. Leistungsverzeichnisse, ändern sich nicht ohne explizite äußere Einwirkungen.	statisch

⁴Die Richtlinie GEFMA-400 Computer Aided Facility Management (CAFM) benennt Datenarten. Da den einzelnen Daten jedoch eine Bedeutung zugewiesen ist, handelt es sich um Informationen, weshalb in dieser Arbeit der Begriff „Information“ verwendet wird (vgl. Kap. 3.1).

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

	art, Reinigungsbereiche, Reinigungszeiten)	Sonstige Informationen sind dem eigentlichen Leistungsprozess zuzuordnen.	
--	--	---	--

Tabelle 3-5: Kategorisierung der für die Leistungserbringung relevanten Informationen

Zusammenfassend lassen sich drei Arten von Informationen identifizieren, die für Leistungserbringung im FM relevant sind:

1. Informationen, die das Gebäude, die Ausstattung, die räumliche Zuordnung, die Flächen und die Materialien betreffen und sich durch die reine Nutzung nicht ändern. Diese statischen Informationen werden im Folgenden als „Gebäudeinformationen“ bezeichnet.
2. Informationen, die die Leistungserbringung beschreiben, wie den Auftragnehmer, die auszuführenden Tätigkeiten, die Art der Tätigkeitsausführung, die Zeiten und Hinweise zur Tätigkeitsausführung. Während ein Prozess an sich nicht statisch ist, sind die einen Prozess definierenden Informationen jedoch statisch. Diese statischen Informationen werden im Folgenden als „Prozessinformationen“ bezeichnet.
3. Informationen, die den Bedarf von Tätigkeitsausführungen betreffen. Das Intervall ist zwar eine statische Größe, wird im Hinblick auf die Bedarfsorientierung und den damit einhergehenden Entfall des Intervalls jedoch als dynamisch eingestuft, da die bedarfsorientierte Leistungserbringung keine statischen Intervalle vorsieht. Da der Bedarf einer Tätigkeitsausführung durch Sensortechnologien ermittelt werden soll, werden diese Informationen im Folgenden als „Sensorinformationen“ bezeichnet.

3.4 Informationsstrukturierung

Die für eine Leistungserbringung relevanten Informationen sind kategorisiert, stehen jedoch in keiner Relation zueinander. Wird eine einzelne Information betrachtet, z. B. eine Zustandsänderung in Form einer Verschmutzung, wirkt sich diese Information zunächst auf keine weitere Information wie den Auftrag aus. Um einen Bezug herzustellen und die Informationen miteinander zu verknüpfen, sind sie zueinander in Beziehung zu setzen. Die kategorisierten Informationen werden daher im Folgenden zu sinnvollen Entitäten mit Attributen zusammengesetzt, was als Strukturierung bezeichnet wird. Zunächst werden statische Gebäudeinformationen und statische Prozessinformationen strukturiert. Im Anschluss daran erfolgt die Strukturierung statischer Sensorinformationen sowie die Beschreibung der dafür erforderliche Entitäten- und Attributstruktur. In VERSALIEN verfasste Begriffe stellen Entitätstypen, *kursiv* verfasste die Attribute dar, die die Entitäten beschreiben.

3.4.1 Strukturierung von Gebäudeinformationen

Analog der in Kapitel 3.3.2 erfolgten Kategorisierung von Informationen sind diese im Folgenden zu strukturieren.

Zur Identifikation eines Gebäudes ist gem. GEFMA 520 neben einer eindeutigen Objektbezeichnung der Standort relevant. Die Objektidentifikation kann über eine Identifikationsnummer (ID) sowie eine eindeutige namentliche Bezeichnung erfolgen. Der Standort wird dargestellt durch die postalische Adresse des Gebäudes. Die Information der Flächenzugehörigkeit lässt sich durch Geschosse und Räume darstellen. Ein Gebäude besitzt Geschosse, in denen sich Räume befinden. Sowohl Geschosse als auch Räume lassen sich über eine eindeutige Nummer und einen Namen identifizieren. Für die Ausführung von Tätigkeiten ist auch die Flächenangabe, d. h. die Größe eines Raums, erforderlich. Räumen können sich in Benutzung befinden und stehen somit für eine Leistungserbringung u. U. nicht zur Verfügung. Räume beinhalten wiederum Elemente⁵, an denen die Ausführung von Tätigkeiten erfolgt. Zu Elementen gehören alle Objekte, d. h. Ausstattungs- und Einrichtungsgegenstände, Bauteile und Anlagen, die sich in und an einem Gebäude befinden und dieses definieren. Oberflächen von Wänden, Decken und Böden, die für die Reinigungsleistungen relevant sind, werden ebenfalls als Elemente betrachtet.

Alle Elemente in einem Gebäude besitzen mindestens eine Oberfläche. Ein einfaches Beispiel dafür ist eine Wand, deren Oberfläche z. B. eine Tapetenfläche ist. Es existieren jedoch Elemente, die aus mehreren Oberflächen bestehen, wie z. B. ein Bürostuhl, dessen Rollen aus Kunststoff, das Gestell aus Metall und die Sitzfläche aus Leinengewebe besteht. Auch Wände können mehrere Oberflächenmaterialien aufweisen, z. B. in Sanitärräumen, in denen Fliesenspiegel nicht vollflächig, sondern nur halbhoch angebracht sind. Die Fläche jedes Elements besitzt ferner mindestens ein Oberflächenmaterial, kann aber auch aus mehreren Materialien bestehen. Das Oberflächenmaterial, welches für die Reinigung und die zu verwendenden Reinigungsmittel einen wesentlichen Aspekt darstellt, ist auch für andere FS von Bedeutung. Elemente können in Gebäuden mehrfach vorhanden sein, z. B. Stühle oder Wände desselben Typs. Jedes Element ist jedoch nur einmal existent. Um die Vielzahl von Elementen in einem Gebäude inhaltlich zu strukturieren, werden diese im BIM typisiert. Die Zuordnung eines Elementtyps zu jedem Element, wie Mobiliar, Technik, Sanitärausstattung, Wände, Decken oder Böden ist eine Methode, die bei der Anwendung von offenen Datenaustauschformaten wie der IFC bereits genutzt wird.

Die Ausführung von Tätigkeiten, insbesondere von Reinigungstätigkeiten, erfolgt an sogenannten Raumgruppen oder Bauteilgruppen. Um die Ausführung von Tätigkeiten unabhängig einer Raumzuordnung zu ermöglichen, wird in dieser Arbeit eine Gruppierung von Elementen

⁵ Der Begriff Element wird im Folgenden synonym für Bauteil, Facility oder Fläche verwendet.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

vorgenommen. Dies ermöglicht es, im Sinne einer bedarfsorientierten Leistungserbringung Tätigkeiten flexibel an einzelnen oder mehreren zusammengehörenden Elementen auszuführen. Eine Elementgruppe muss nicht nur aus Elementen eines Elementtyps oder eines Raums bestehen, sondern kann unterschiedliche Elementtypen in verschiedenen Räumen enthalten. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Elementgruppe „Hygienespender“ benannt. In der Gruppe können alle Hygienespender eines Gebäudes unabhängig von ihrer räumlichen Position enthalten sein. Tätigkeiten können somit für gesamte Elementgruppen oder einzelne Elemente erbracht werden. Im FS Reinigungs- und Pflegedienste sind Pflegehinweise mit Angaben zur Durchführung der Reinigung enthalten. Auch bei anderen FS bestehen Hinweise, die bei der Ausführung von Tätigkeiten zu berücksichtigen sind. Als Beispiel sind an dieser Stelle Sicherheitswarnhinweise oder Sicherheitsvorkehrungen bei der Instandhaltung und dem Betrieb von Aufzügen und Fahrtreppen (VDI 3810 Bl. 6; DIN 13015) genannt. Da Tätigkeiten an Elementen erbracht werden, beziehen sich auch die Hinweise auf diese.

Zur Realisierung in einer DB müssen die aufgeführten Informationen zu sinnvollen Entitäten mit ihren Attributen zusammengefasst werden. Zur eindeutigen Identifizierung in einer DB werden die Entitäten über Primärschlüssel gekennzeichnet, wofür IDs verwendet werden. Aus den genannten Ausführungen ergeben sich folgende Entitäten:

- OBJEKT: *ID_Objekt, Bezeichnung, Straße, Hausnummer, Postleitzahl, Stadt*
- GESCHOSS: *ID_Geschoss, Geschossname, Geschossnummer*
- RAUM: *ID_Raum, Raumname, Raumnummer, Raumgröße, Verfügbar*
- ELEMENT: *ID_Element, Elementname, Hinweis*
- ELEMENTTYP: *ID_Elementtyp, Kategorie*
- ELEMENTGRUPPE: *ID_Elementgruppe, Bezeichnung*
- OBERFLÄCHE: *ID_Oberfläche, Fläche, Einheit*
- OBERFLÄCHENMATERIAL: *ID_Oberflächenmaterial, Materialname, Materialbeschreibung*

In Anlehnung an offene Standarddatenaustauschformate wird sich bei der Strukturierung der gebäudespezifischen Entitätstypen an der Grundstruktur der IFC sowie der CAFM-Connect Kataloge orientiert. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass die Informationen aus der Planungsphase ohne Neustrukturierung als Basis für das Entscheidungsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung genutzt werden können. Werden die beschriebenen statischen Gebäudeinformationen in Beziehung zueinander gesetzt, ergeben sich folgende Relationen⁶: OBJEKTE bestehen aus GESCHOSSEN, woraus sich eine 1:n-Beziehung ergibt. GESCHOSSE enthalten RÄUME, wobei jeder Raum in nur einem Geschoss liegen kann, ein Geschoss aber

⁶ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Fließtext der Plural der Entitätstypen verwendet.

mindestens einen oder auch viele Räume beinhalten kann. Daraus resultiert eine 1:n-Beziehung. RÄUME bestehen aus einer Vielzahl von eindeutig identifizierbaren und nur einmal vorkommenden ELEMENTEN, woraus eine 1:n-Beziehung folgt. ELEMENTE bestehen aus einer oder mehreren OBERFLÄCHEN, woraus eine 1:n-Beziehung resultiert. Da ELEMENTE eindeutig sind, sind auch die dazugehörigen OBERFLÄCHEN nur einmal vorhanden. OBER-

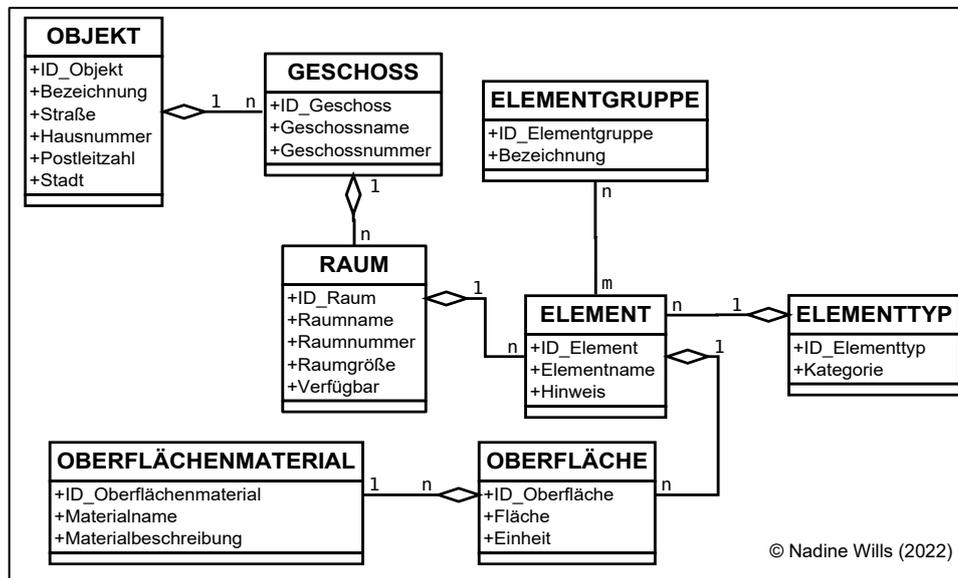


Abb. 3-4: Strukturierung von Gebäudeinformationen

FLÄCHEN besitzen OBERFLÄCHENMATERIALIEN, woraus eine 1:n-Beziehung folgt. ELEMENTE gehören zu einem ELEMENTTYPEN. Einzelne ELEMENTTYPEN identifizieren eine Vielzahl von ELEMENTEN, woraus eine 1:n-Beziehung folgt. In ELEMENTGRUPPEN können viele ELEMENTE zusammengefasst werden. Daraus ergibt sich eine m:n-Beziehung. In Abb. 3-4 sind die Relationen der statischen Gebäudeinformationen zueinander dargestellt.

Die kleinteilige Zuordnung der Flächen an Elemente und nicht direkt an Räume soll in dem Modell die Möglichkeit bieten, eine Leistungserbringung so detailliert wie möglich zu planen. Der Auftraggeber kann exakte Angaben über das zu reinigende Material machen, separiert nach Materialart und Fläche. Dies ermöglicht dem Auftragnehmer eine einfache Angebots- sowie eine vereinfachte Personalkalkulation. Für die Reinigung von Glasflächen, die schmier- und streifenfrei zu reinigen sind, ist mehr Zeit zu veranschlagen als für die trockene Reinigung von Oberflächen. Die Strukturierung statischer Gebäudeinformationen, um diese für ein Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung zu nutzen, ist damit abgeschlossen.

Als Informationsquellen statischer Gebäudeinformationen stehen alle grafischen und alphanumerischen Informationen zur Verfügung, z. B. BIM-Modelle, Computer-Aided Design (CAD-) Modelle oder Flächenpläne. BIM-Modelle enthalten technische Zeichnungen, die Gebäudeinformationen in grafischer Form von Schnitten, Grundrissen, Ansichten und Detailzeichnungen

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

wiedergeben. Neben dreidimensionalen Geometriebeschreibungen von Bauteilen enthalten BIM-Modelle auch nicht-geometrische Zusatzinformationen wie technische Eigenschaften, Typeninformationen oder Kosten (Borrmann et al. 2015b). Ist zwischen den Projektbeteiligten in den AIA eine CDE vereinbart, so können die Daten aus BIM-Systemen über Austauschchnittstellen in das CAFM-System übertragen werden. Die Bestandsdaten können bei Nutzung der BIM-Methode als As-Planned-Modell, d. h. der geplante Soll-Zustand eines Gebäudes, oder als As-Built-Modell, d. h. der Ist-Zustand des Gebäudes, nach Baufertigstellung übergeben werden (Borrmann et al. 2015a). In Abb. 3-5 sind Quellen statischer Gebäudeinformationen dargestellt.

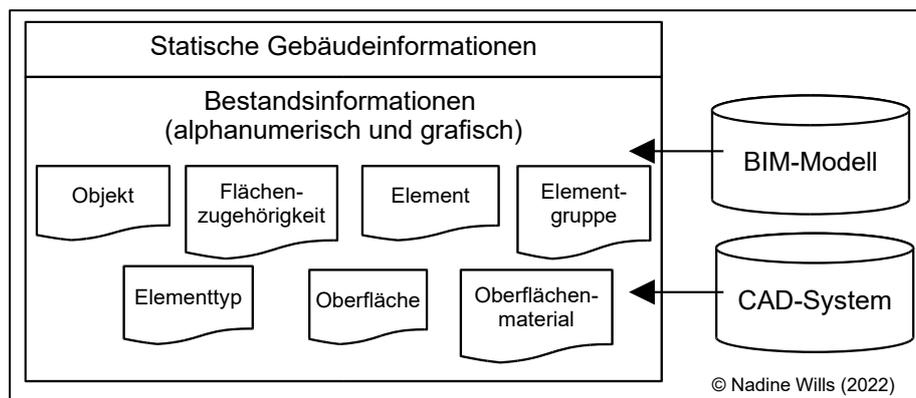


Abb. 3-5: Quellen von Gebäudeinformationen

3.4.2 Strukturierung von Prozessinformationen

Im nächsten Schritt sind Informationen, die die eigentliche Leistungserbringung betreffen, zu strukturieren. Mit der Erbringung einer Leistung sind die Tätigkeit, der Auftrag und der Leistungsausführende, in dieser Arbeit der Auftragnehmer, verbunden. Eine Leistung, wie z. B. eine Reinigungsleistung, besteht aus Tätigkeiten. Das Erbringen einer Reinigungsleistung beinhaltet demnach Tätigkeiten, die in diesen Bereich fallen. Leistungserbringung umfasst die Beauftragung, die Ausführung und die Dokumentation ausgeführter Tätigkeiten einer Leistung. Leistungen lassen sich wiederum einzelnen FS gem. DIN 32736 zuordnen. Reinigungsleistungen werden dem FS „Reinigungs- und Pflegedienste“ des IFM zugeordnet. Der eigentlichen Tätigkeitsbeschreibung kann aus Gründen der Übersichtlichkeit auch das betroffene Element hinzugefügt werden, z. B. Aschenbecher leeren und feucht auswischen. Tätigkeiten können in Tätigkeitsgruppen zusammengefasst werden. Dies soll im Modell im Hinblick auf Beauftragungen geschehen, damit sowohl einzelne Tätigkeiten als auch ganze Tätigkeitsgruppen in einem Auftrag zusammengefasst werden können. In der Praxis sollen somit beliebige Tätigkeiten zu einem Auftrag zusammengefasst werden, z. B. Seifenspender befüllen und Bodenfläche wischen. In einem Auftrag ist deutlich beschrieben, welche Tätigkeiten auszuführen sind. Der

Auftrag wird eine Ansprache an den Dienstleister und eine textliche Beschreibung der zu erbringenden Tätigkeit enthalten. Für Vergütung und die Kontrolle von Tätigkeitsausführungen ist die Bearbeitungsdauer eine Kenngröße. Ist zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer ein Vertrag zur Leistungserbringung geschlossen, so hat der Auftragnehmer die Koordination der Tätigkeitsausführung vorzunehmen. Im Sinne des zu entwickelnden Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung soll die Möglichkeit bestehen, die ausführende Fachkraft eines Dienstleisters direkt über eine auszuführende Tätigkeit zu benachrichtigen. Die Art der Benachrichtigung kann z. B. als SMS, E-Mail oder per Anruf erfolgen. Aus den genannten Ausführungen ergeben sich folgende Entitäten:

- FS-SERVICE_DIN32736: *ID_FS, Leistung*
- TÄTIGKEITSART: *ID_Tätigkeit, Tätigkeitsart*
- TÄTIGKEITSGRUPPE: *ID_Tätigkeitsgruppe, Bezeichnung*
- AUFTRAG: *ID_Auftrag, Beschreibung, Ansprache_Text, Inhalt_Text, Bearbeitungszeit*
- ANSPRECHPARTNER: *ID_Ansprechpartner, Name, Vorname, Telefonnummer, Email, Mobilnummer*
- DIENSTLEISTER: *ID_Dienstleister, Firmenname, Straße, Hausnummer, Postleitzahl (PLZ), Ort*
- NOTATION: *ID_Notation, Notations-Medium*

Analog der Strukturierung von statischen Gebäudeinformationen sind die statischen Prozessinformationen, die nun in Entitäten strukturiert sind, miteinander in Beziehung zu setzen. Die Darstellung der im Folgenden erläuterten Relationen erfolgt in Abb. 3-6.

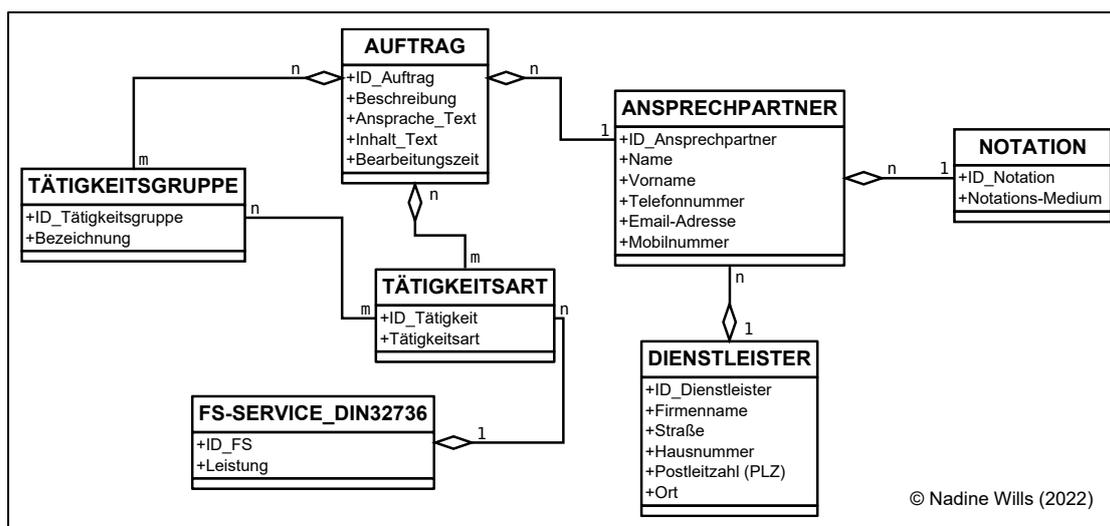


Abb. 3-6: Strukturierung von Prozessinformationen

Es existiert eine Vielzahl von TÄTIGKEITSARTEN, die jeweils einem FS-SERVICE_DIN32736 zugeordnet sind, woraus eine 1:n-Beziehung resultiert. Viele TÄTIGKEITSARTEN können zu

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

verschiedenen TÄTIGKEITSGRUPPEN gehören, woraus sich eine m:n-Relation ergibt. TÄTIGKEITSARTEN oder TÄTIGKEITSGRUPPEN werden in AUFTRÄGEN beauftragt. AUFTRÄGE können aus einer oder vielen TÄTIGKEITSGRUPPEN sowie einem oder vielen TÄTIGKEITSARTEN bestehen. Es folgt daher eine m:n-Beziehung. AUFTRÄGE werden an die ANSPRECHPARTNER eines DIENSTLEISTERS gerichtet. Ein DIENSTLEISTER kann mehrere AUFTRÄGE erhalten, woraus eine 1:n-Relation folgt. Jeder DIENSTLEISTER hat einen oder mehrere ANSPRECHPARTNER, die zur Leistungserbringung benannt sind. Daraus ergibt sich eine 1:n-Beziehung. ANSPRECHPARTNER werden bei bestehendem Bedarf zur Ausführung einer Tätigkeit über NOTATIONEN benachrichtigt, woraus sich eine 1:n-Beziehung ergibt.

Nach der Strukturierung der statischen Prozessinformationen sind im Folgenden die Informationsquellen zu definieren. Informationsquellen sind CAFM-Systeme, Gebäude-Energiemanagementsysteme, Instandhaltungsmanagementsysteme, BIM-Systeme, DMS, RegIS, ERP-Systeme oder Sicherheits- und Zutrittsmanagementsysteme (GEFMA 924). Prozess- und sonstige Informationen, die zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von CAFM-Systemen existent und erforderlich sind (Schneider 2016), liefern durch die hinterlegten Auftragsdaten und Leistungsbeschreibungen die nicht-geometrische Datenbasis der Leistungserbringung. Abb. 3-7 zeigt die Quellen statischer Prozessinformationen. Auftragsinformationen, die Angaben zum Dienstleister und zur Leistungserbringung enthalten, werden in der Praxis i. d. R. in ERP-Systemen, die wiederum zum CAFM-System gehören, gespeichert.

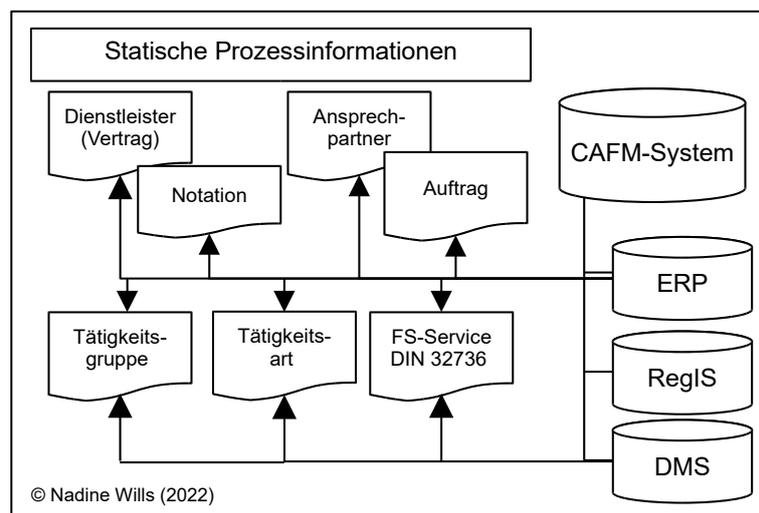


Abb. 3-7: Quellen von Prozessinformationen

Die genannten Informationsquellen orientieren sich an der gängigen Praxis und sind abhängig von der individuellen FM-Struktur einer Organisation.

3.4.3 Strukturierung von Sensorinformationen

Der Bedarf einer Tätigkeitsausführung, der bei der verrichtungsorientierten Leistungsbeauftragung durch das statische Intervall definiert wird, soll bei der bedarfsorientierten Leistungsbeauftragung im Folgenden durch Sensoren ermittelt werden. Dafür sind aus den Tätigkeiten eines FS die Informationen abzuleiten, die eine Tätigkeit beeinflussen. Als Beispiel sei die Reinigung von Fußböden genannt: die erforderliche Information zur Ermittlung des Reinigungsbedarfs ist die Verschmutzung. Zur Erfassung der Verschmutzung werden Sensoren genutzt, die an im Raum befindlichen Elementen montiert sind. Neben einem eindeutigen Namen des Sensors erfolgt dessen Identifizierung über die IP-Adresse. Sensoren befinden sich an und in Elementen, welche wiederum Räumen zugeordnet sind. Zur Sicherung des Sensors gegen unerlaubten Zugriff, kann dieser über einen Benutzernamen (Username) und Passwort gesichert werden. Es ist daher zunächst ein Entitätstyp SENSOR einzuführen, dessen Entitäten über die Attribute *ID_Sensor*, *Sensormame*, *IP*, *User-Name*, *Passwort* und *Messgröße* be-

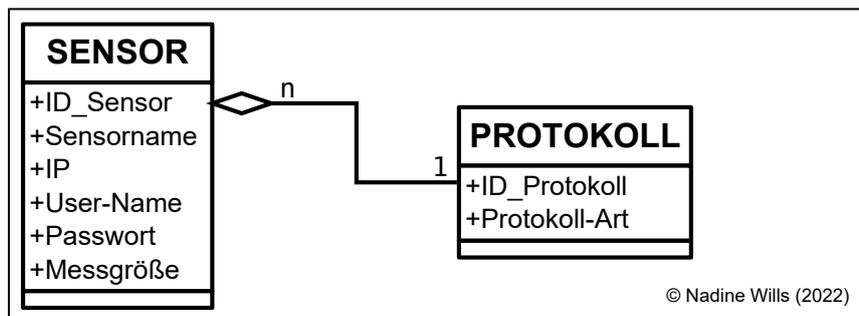


Abb. 3-8: Strukturierung von Sensoren zur Ermittlung dynamischer Informationen

schrieben wird. SENSOREN kommunizieren über Protokolle, was die Einführung des Entitätstyps PROTOKOLL erforderlich macht. Die Entitäten dieses Typs werden beschrieben durch die *ID_Protokoll* und die *Protokoll-Art*. In Abb. 3-8 sind die Entitätstypen, Attribute und Relationen der Sensoren dargestellt, die dynamische Informationen erfassen.

Die Generierung der Information des Bedarfs einer Tätigkeitsausführung kann auf zwei Weisen erfolgen: direkt und indirekt. Bei der direkten Bedarfsermittlung kann der Bedarf direkt über eine physikalische Größe gemessen werden, die von einem Sensor ermittelt wird. Als Beispiel hierfür sei der Füllstand eines Mülleimers genannt, der mit einer Lichtschranke an der oberen Öffnung ausgestattet ist. Die Lichtschranke liefert ein Signal, wenn der Abfallfüllstand im Behälter die Lichtschranke unterbricht. Dies entspricht der direkten Prüfung einer Füllhöhe.

Bei der indirekten Bedarfsermittlung wird der Bedarf über eine physikalisch messbare Größe näherungsweise abgeleitet. Exemplarisch sei ein Mülleimer mit einem Gewichtssensor ausgestattet. Näherungsweise kann das Gewicht des Abfalls im Behälter in den Füllstand überführt werden. Dies ist unter der Annahme möglich, dass der Abfall im Mittel eine bestimmte Dichte besitzt.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

Da direkte Bedarfsermittlungen nicht auf Näherungen und Annahmen basieren, sind demzufolge zuverlässigere Ergebnisse zu erwarten. Erläutert sei dies für das Auffüllen eines Seifenspenders. Eine indirekte Bedarfsermittlung kann auf Basis der Anzahl der Betätigungen des Dosierers erfolgen. Bei gleichbleibender Seifenmenge je Hub kann über eine Aufsummierung der abgegebenen Seifenmenge auf den Füllstand des Seifenbehälters geschlossen werden. Weist der Dosierer jedoch eine Leckage auf oder dosiert nicht exakt genug, kann der tatsächliche Füllstand auch niedriger sein, als über die Anzahl der Betätigungen berechnet. An dieser Stelle erweist sich eine direkte Messung des Füllstands über eine im Seifenspender integrierte Waage oder einen integrierten Füllstandssensor zur Bedarfsermittlung als geeignetere Alternative.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht für jede Bedarfsermittlung einer zu erbringenden Leistung Technologien einer direkten Ermittlung verfügbar sind, wie am Beispiel der Reinigung einer Bodenfläche erläutert werden soll. Ein Bedarf zur Reinigung einer Bodenfläche besteht, wenn diese verschmutzt ist. Die Verschmutzung kann bei der direkten Bedarfsermittlung sensorisch durch Reflexion z. B. in Form von Schmutzpartikeln erfasst werden. Derzeit wird die Verschmutzungserkennung durch Reflexion jedoch kaum zur Erfassung von Verschmutzung einer Bodenfläche, sondern primär im Bereich von Glasflächen genutzt. Hierbei wird ein Infrarot-, Rot- oder Laserlichtstrahl in eine Glasscheibe eingekoppelt. Auf der Scheibe befindliche Verschmutzungen führen dazu, dass das eingekoppelte Licht die Glasscheibe verlässt. Auf diese Weise kommt eine veränderte Lichtintensität am Sensor an, der Lichtstrahl ist unterbrochen und der Ausgangszustand verändert (Baumer Holding AG 2021). Bei zu reinigenden spiegelnden Oberflächen, die demzufolge Licht reflektieren wie z. B. Fliesen können Reflexionslichtschranken zur Erfassung der Verschmutzung zukünftig zur Bedarfserfassung einer Reinigungsleistung eingesetzt werden.

Bei der indirekten Bedarfsermittlung sind Faktoren, die eine Tätigkeitsausführung erforderlich machen, zu identifizieren. Diese Faktoren sind zu quantifizieren, d. h. in eine Messgröße umzuwandeln, um den dafür geeigneten Sensortyp zur Bedarfsermittlung zu bestimmen. Exemplarisch sei dies am Beispiel der Tätigkeit „Reinigung einer Bodenfläche“ erläutert: Die Information, wann der Bedarf zur Reinigung besteht, ist abhängig vom Verschmutzungsgrad einer Fläche. Die Verschmutzung kann über verschiedene Faktoren wie die Anzahl der Frequentierungen, die Witterungsbedingungen im Außenbereich sowie die Staubkonzentration in Innenräumen ermittelt werden. Für diese Faktoren hat im nächsten Schritt eine Nutzendefinition zu erfolgen. In einer Nutzendefinition ist zu klären, welcher Nutzen durch eine Sensoranwendung entsteht. Für den Faktor der Flächenfrequentierung ist der Nutzen die Erfassung von Objekten, die eine Fläche frequentieren. Der Nutzen ist in einem nächsten Schritt zu quantifizieren. Objekterfassungen können durch Hörschall, Abstand oder Geschwindigkeitsänderungen erfasst

werden. Sensoren, die mit diesem Messprinzip arbeiten, sind u. a. Lichtschranken, Personen-erkennung- oder Barcode-Scanner. Nach der Definition von potenziellen Sensortypen ist zu prüfen, ob Einschränkungen zur Sensornutzung vorliegen. Bei der Objekterfassung ergibt sich die Einschränkung, dass in öffentlichen Gebäuden mit Publikumsverkehr Messprinzipien zu wählen sind, bei denen sich Gebäudenutzer nicht ausweisen müssen. Ferner führt die Berücksichtigung des Datenschutzes zu einem Ausschluss von Sensoren zur Gesichtserkennung. Basierend auf den Einschränkungen wird ein Sensor zur Bedarfsermittlung ausgewählt. Auf gleiche Weise ergeben sich Hygrometer, Regensensoren oder Feuchtigkeitssensoren für den Faktor Witterungsbedingungen und Laser- oder Infrarotstaubsensoren für den Faktor Raumluftqualität. Das Vorgehen der indirekten Bedarfsermittlung für den Faktor Flächennutzung ist in Abb. 3-9 dargestellt.

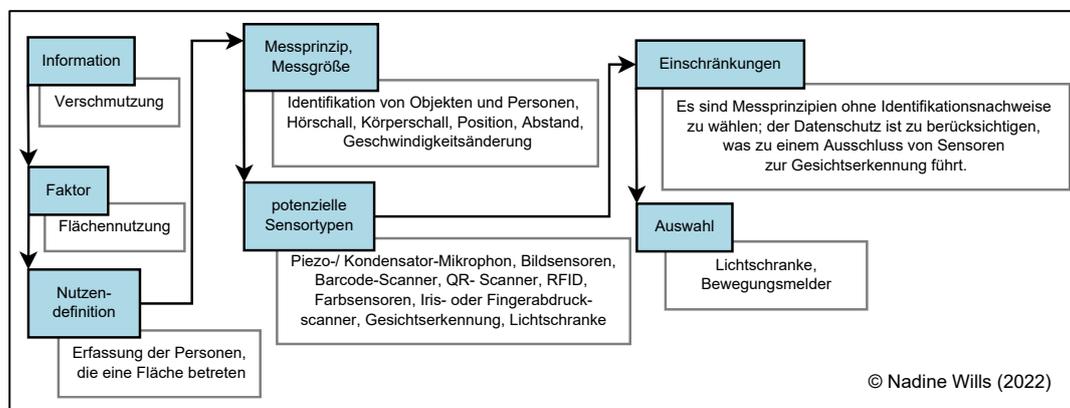


Abb. 3-9: Vorgehen der indirekten Bedarfsermittlung

Da die Leistungen eines FS aus mehreren Tätigkeiten besteht, ist das Verfahren der indirekten Bedarfserfassung aufwendig. Eine annähernd exakte Bedarfsermittlung kann jedoch nur bei Ermittlung aller eine Tätigkeit beeinflussenden Faktoren erfolgen. Die Faktoren, die eine Information beeinflussen, sind frei zu wählen oder aus Erfahrungswerten abzuleiten. In Anhang A5 sind Faktoren und die Ableitung geeigneter Sensoren dargestellt. Bei Bestandsgebäuden sollte daher aus wirtschaftlicher Sicht zunächst eine Übersicht der in Gebäuden befindlichen Sensoren erstellt und auf die Möglichkeit der Nutzung von bereits existierenden Sensormesswerten geprüft werden. Sensoren zur Erfassung der Witterung sind i. d. R. bereits in Kälte- und Wärmeanlagen existent. Wenn diese Messdaten durch Überwachungs-, Steuer- und Regeltechniken bereits erfasst und genutzt werden, sollte auf diese Daten zurückgegriffen werden. Das Ziel des entwickelten Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung soll es sein, identische Messgrößen nicht durch mehrere Sensoren zu erfassen, sondern einmal generierte Messdaten mehrfach zu nutzen. Das bereits vorhandene technische System, in das eine Sensoranwendung integriert werden soll, ist hinsichtlich bestehender Schnittstellen zur Kommuni-

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

kation zu prüfen. Zu beachten ist dabei die mechanische Integration der Sensoren, z. B. Sensorpositionierung zur Bestimmung der Messgröße, die anwendbaren Kommunikationstechnologien hinsichtlich der Topologie, Reichweite, Übertragungsgeschwindigkeiten, Zykluszeiten und Fehlererkennungen sowie die Datenverarbeitung, d. h. Betrachtung von Einflüssen auf die Leistung der Datenverarbeitung, den Ort der Datenverarbeitung oder die Bereitstellung der generierten Informationen) (Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) 2018). Bei einer Gebäudeneuplanung sind Sensorsysteme zu wählen, die die genannten Aspekte abdecken.

Zur Ermittlung des Bedarfs, wann eine Tätigkeit auszuführen ist, ist das Abfrageintervall von Sensormessdaten zu definieren. In Abhängigkeit der zu erbringenden Tätigkeit sind Messdaten in kürzeren oder längeren Intervallen abzurufen. Im Kontext dieser Arbeit orientiert sich das Abfrageintervall prozentual zeitlich an den statischen Ausführungsintervallen einer Leistungserbringung. Für eine Abschätzung, wie oft eine Sensormessdatenabfrage notwendig ist, wird als Annahme ein Hundertstel eines Reinigungsintervalls als sinnvoll erachtet. Erfolgt die Unterhaltsreinigung eines Gebäudebereichs dreimal je 8-h-Schicht einer Reinigungsfachkraft, wie dies z. B. im Bereich der Unterhaltsreinigung des Flughafens Frankfurt der Fall ist, so wird jeder Reinigungsbereich im Schnitt alle 160 Minuten gereinigt⁷. Daraus resultiert ein Abfrageintervall von 1,6 Minuten. Häufigere sowie seltenere Abfragen sind möglich, wobei eine Betrachtung der erzeugten Datenmenge notwendig wäre. Bei Tätigkeiten in für Personen und Gebäuden sicherheitsrelevanten Bereichen sind kürzere Abfrageintervalle zu wählen. Die Intervalle der Sensormessdatenabfrage dieser Arbeit erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und dienen lediglich der Abbildungsmöglichkeit einer Intervallbestimmung.

3.4.4 Gesamtmodellierung

Die definierten Informationsstrukturen sind in eine Gesamtbeziehung zu setzen. Das Ergebnis dieser Gesamtbeziehung ist ein Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung.

Die einzelnen Strukturen stehen in Relation zueinander. Die Ausführung von Tätigkeiten erfolgt an Elementen. Ausschlaggebend ist der eigentliche Auftrag, in dem Tätigkeiten, Tätigkeitsgruppen, Elemente und Elementgruppen zusammengeführt werden. Die Entitätstypen TÄTIGKEITSART, TÄTIGKEITSGRUPPE, ELEMENT und ELEMENTGRUPPE sind daher mit dem Entitätstyp AUFTRAG miteinander in Relation zu setzen. Jede der vier Beziehungen ist eine m:n-Beziehung, da eine Vielzahl von Aufträgen eine Vielzahl von Elementen, Tätigkeiten sowie Element- und Tätigkeitsgruppen enthalten kann. Die Relation zwischen statischen Gebäude- und Prozessinformationen ist somit gegeben. Die Sensoren, die zur Bedarfserfassung

⁷ Die Information des Reinigungsintervalls am Flughafen Frankfurt/M. wurde der Autorin durch den ausführenden Dienstleister zur Verfügung gestellt.

genutzt werden, sind an Elementen, Decken, Wänden, Außenfassaden oder als Drucksensoren in beweglichen Bildschirmen montiert oder integriert. Ein Sensor kann sich in einem Element befinden, an bzw. in einem Element können jedoch mehrere Sensoren montiert sein, woraus sich eine 1:n-Relation ergibt. Das Informationsmodell ist in Abb. 3-10 dargestellt.

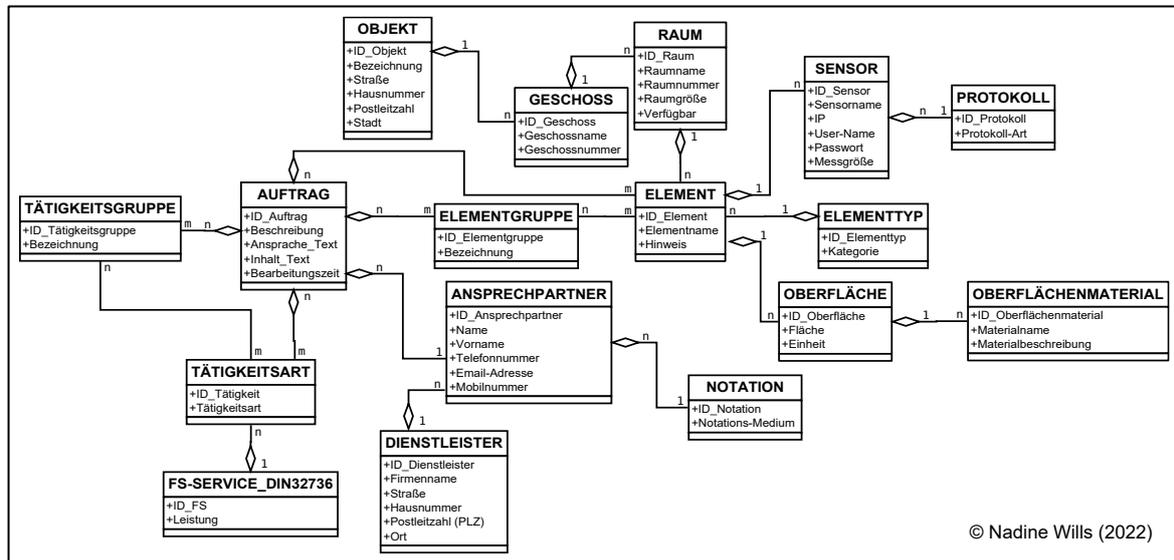


Abb. 3-10: Informationsmodell

3.5 BIM-Anforderungen bedarfsgerechter FM-Leistungserbringung

In der Planungsphase von Gebäuden entstehen Informationsmodelle mit hohen Informationsdichten, die für die spezifische Leistungserbringung im FM nicht erforderlich sind. Für spezifische Leistungen des FM sind nur ausgewählte Informationen erforderlich. Diese Informationen sind bereits zu Projektbeginn zwischen den Projektbeteiligten zu kommunizieren. Bestehende BIM-Anwendungsfälle wie z. B. der BIM-Anwendungsfall „Reinigungsmanagement“ der Bergischen Universität Wuppertal (Helmus et al. 2020b) weist Parallelen zum entwickelten Informationsmodell auf. Das Ziel des in diesem Kapitel entwickelten Informationsmodells ist die Erstellung eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM und keine Definition eines neuen BIM-Anwendungsfalles.⁸ Benötigte Informationen sind daher analog dem Informationsmodell als Asset Information Requirements (AIR) darzulegen und in die BIM-Projektdokumentation zu übernehmen, wie in Abb. 3-11 dargestellt.

⁸ Die Attribute der Entitäten des entwickelten Informationsmodells sind zu Teilen mit den Merkmalen der BIM-Anwendungsfälle der Bergischen Universität Wuppertal identisch, wurden jedoch unabhängig von deren Veröffentlichung durch die Autorin der Arbeit definiert und dokumentiert.

3 Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung

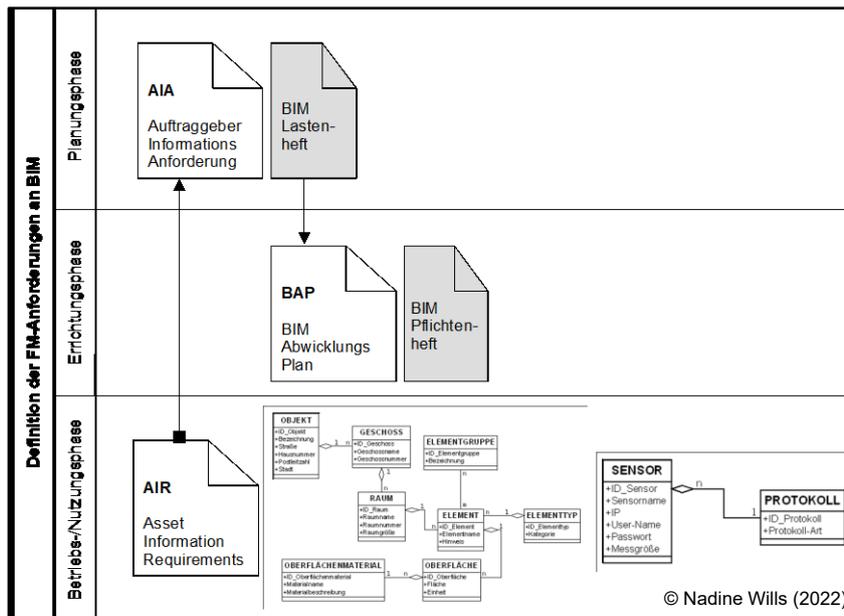


Abb. 3-11: Definition der FM-Anforderungen an BIM

Die Austauschszenarien sind frei definierbar. Nutzen alle Projektbeteiligten z. B. Softwaresysteme, die über IFC-Schnittstellen verfügen, können die im BIM-System gefilterten Informationen im IFC-Format an die CAFM-Software übergeben werden. Bei einiger BIM-Software besteht die Möglichkeit, gefilterte Daten direkt in eine DB zu übermitteln. Eine einfache Form der Übertragung stellen Tabellen dar, die analog der Informationsstruktur angelegt werden. Die Tabellen sind durch den Planer mit den Entitäten zu füllen. BIM-Software geben solche Tabellenblätter z. B. in Form von Raumbüchern aus. Aus diesen sind die irrelevanten Informationen zu löschen, was einen geringen Aufwand darstellt. Ausschlaggebend ist, dass für einzelne Leistungen nur die tatsächlich benötigten Informationen von der Planungsphase an das FM übermittelt werden. Eine allgemein gültige Verschriftlichung relevanter Informationen ist aufgrund heterogener FM-Verträge und Vertragsadressaten, d. h. Systemanbieter oder einzelne Auftragnehmer, nicht möglich. Eine ausführliche Untersuchung relevanter Informationen zur Leistungserbringung, analog der für die Reinigungs- und Pflegedienste durchgeführten, soll im Idealfall für jeden FS durchgeführt werden. Die für die einzelnen Leistungen relevanten Informationen sind analog dem entwickelten Informationsmodell darzustellen und in der BIM-Projektdokumentation zu dokumentieren. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass nur die für die eigentliche Leistungserbringung relevanten Informationen zur Leistungserbringung existent sind.

3.6 Abschluss der Grundlagen und weiteres Vorgehen

Um Bedarfe einer Leistungserbringung zu ermitteln und Leistungen beauftragen, ausführen und dokumentieren zu können, sind Informationen zur eigentlichen Leistung und dem Verrichtungsort erforderlich. Informationen, die zur Ausführung von FS benötigt werden, wurden in

diesem Kapitel definiert, kategorisiert und strukturiert. Statische Prozessinformationen sind primär in ERP-Systemen, statische Gebäudeinformationen in BIM-Systemen enthalten. Bedarfsermittlungen sollen auf Basis von Sensormesswerten erfolgen. Das entwickelte Informationsmodell mitsamt den relevanten Entitätstypen und Attributen ist bei der Gebäudeplanung in AIR zu dokumentieren. Ebenso sind statische Gebäudeinformationen in den AIR der BIM-Projektdokumentation festzuhalten. Dem voraus steht die Bestimmung, welche Sensoren zur Bedarfsermittlung genutzt werden. An dieser Stelle wird deutlich, dass bereits in der Gebäudeplanungsphase die im Betrieb genutzten FM-Prozesse systematisch erarbeitet sein müssen. Bei Neubauten können durch die vorgestellte Methode bereits in der Planungsphase erforderliche Informationen einzelner FS strukturiert für die Übergabe an das FM vorbereitet werden. In der Praxis ergeben sich durch diese Methode eine Vielzahl von AIR, die vorab zu definieren sind.

Bei Bestandsbauten können die in FM-Systemen vorhandenen Informationen analog der entwickelten Struktur neu geordnet und miteinander in Relation gesetzt werden. Daraus resultiert eine Informationsstruktur, die alle Informationen enthält, die zur Leistungserbringung erforderlich sind. Die Verknüpfung der einzelnen Informationsstrukturen bildet die Basis der Ermittlung des Bedarfs einer Leistungserbringung. In der Konzeptions- und Planungsphase ist daher darauf zu achten, Leistungen des operativen FM ausreichend zu untersuchen, um Informationen zu definieren. In dem nun folgenden Kapitel wird beschrieben, wie mithilfe des Informationsmodells systematisch Entscheidungen für verschiedene Szenarien der Leistungserbringung herbeigeführt werden können.

4 Entscheidungsalgorithmen

Das Informationsmodell bildet die Grundlage zur Bedarfsermittlung und dem Treffen von Entscheidungen zur Leistungserbringung. Die Bedarfsermittlung beruht auf Sensormesswerten. Die Nutzung dieser Messwerte zur Bedarfsermittlung einzelner Tätigkeiten sowie der Beauftragung dieser Tätigkeiten als Leistungen erfordern das Treffen von Entscheidungen. Eine Dynamisierung des Informationsmodells erfolgt anhand von in diesem Kapitel entwickelten Entscheidungsalgorithmen. Weitere Informationen, die zum Treffen der Entscheidungen notwendig sind, werden zusätzlich in das bereits beschriebene Informationsmodell integriert. Das gesamte Informationsmodell inklusive der Entscheidungsalgorithmen bildet dann ein „**Wissensbasiertes Entscheidungs- und Informationsmodell bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM**“, das nachfolgend als WEIMAR bezeichnet wird.

Zunächst werden die Begriffe Bedarf und Entscheidungen erläutert sowie Anforderungen an die auf das Informationsmodell zugreifenden Algorithmen formuliert. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass das spätere Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung durch Auftraggeber und Auftragnehmer genutzt werden kann, weshalb im Folgenden der Begriff Modellnutzer verwendet wird.

4.1 Grundlagen zu Bedarf, Entscheidungen und Entscheidungsalgorithmen

Der Modellnutzer muss entscheiden, welche Leistung beauftragt wird und bei welchem Bedarf diese zu erbringen ist. In dieser Arbeit soll die Entscheidung über den Zeitpunkt der Tätigkeitsausführung und der damit einhergehenden Leistungsbeauftragung und -dokumentation auf Grundlage eines bestehenden Bedarfs erfolgen. Ein Bedarf besteht, wenn ein Bedürfnis vorhanden ist, z. B. ein Bedürfnis nach Sauberkeit. Die klassische Definition, dass ein Bedarf eine „objektorientierte Handlungsabsicht [ist, Anm. d. Verf.], die einem bestimmten Bedürfnis folgt“ (Alisch, Arentzen, Winter 2004, S. 332), ist abzuwandeln. Im Kontext dieser Arbeit ist die Handlungsabsicht leistungsorientiert und bezieht sich auf die Erbringung der zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vertraglich vereinbarten Leistungen. Ein Bedarf ist daher die Notwendigkeit einer Handlung, d. h. einer Leistungserbringung am Objekt. Die in Kapitel 3 benannten Faktoren, die eine Handlungsabsicht beeinflussen, werden durch Sensoren überwacht. Sensoren liefern Messwerte, die ausgewertet werden und Einzelbedarfe darstellen. Einzelbedarfe stellen zwar einen Handlungsbedarf dar, bedingen jedoch nicht zwangsläufig eine Handlung. Die Einzelbedarfe können miteinander verknüpft und zum Treffen von Entscheidungen einer Leistungserbringung genutzt werden.

Eine Entscheidung gibt Auskunft darüber, ob Tätigkeiten auf Basis von Sensormesswertauswertungen ausgeführt werden. Eine Entscheidung kann auf der Auswertung von Messwerten eines Sensors oder aber auf mehreren Sensormesswertauswertungen getroffen

werden. Eine Entscheidung führt zur Beauftragung einer Tätigkeit oder mehrerer Tätigkeiten. In Abb. 4-1 ist dargestellt, dass eine Entscheidung auf Basis einer oder mehrerer Messwertauswertungen getroffen werden kann sowie zur Beauftragung einer oder mehrerer Tätigkeiten führt. Ferner zeigt die Abbildung, dass die Messwertauswertung eines Sensors für verschiedene Entscheidungen genutzt werden kann, welche wiederum zur Beauftragung von unterschiedlichen Tätigkeiten führen. Die sich daraus ergebende Anforderung zur Entwicklung von Entscheidungsalgorithmen lautet, dass Messwerte und Messgrößen verschiedener Sensoren für mindestens eine Entscheidung nutzbar sind.

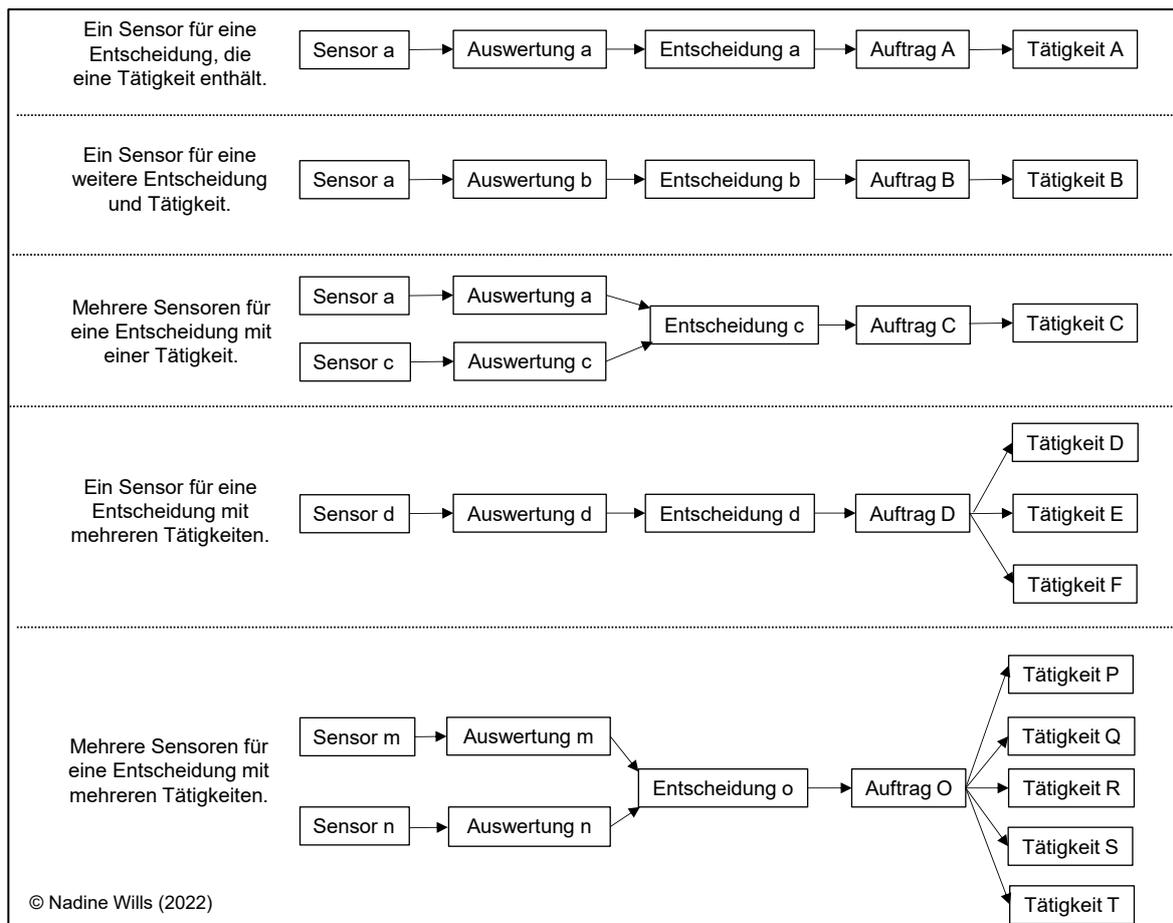


Abb. 4-1: Zusammenhang zwischen Sensoren und Entscheidungen

Um Aufträge bedarfsorientiert auszulösen, muss definiert werden, welche Sensoren für die Bedarfsermittlung welcher Tätigkeiten genutzt werden. Entscheidungen werden beschrieben durch eine eindeutige Bezeichnung, z. B. „Befüllung Hygienespender Sanitärbereich“, einer Bedarfsermittlung, z. B. „Bedarf ist gegeben, wenn Füllstand weniger als 5 ml beträgt“ und einer Entscheidungsart. Die Erläuterung der letztgenannten Komponenten erfolgt in Kapitel 4.2.2.

Unter Berücksichtigung der erläuterten Aspekte sowie der Integrationsmöglichkeit des Modells in FM-Prozesse der Praxis soll das Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung folgende Anforderungen erfüllen:

1. Um Tätigkeiten bedarfsorientiert auszuführen, ist die Definition, wann ein Bedarf besteht, flexibel zu gestalten. Die in SLA vereinbarten und Qualitätssicherungssystemen definierten Richtwerte sollen zukünftig nicht starr festgesetzt, sondern flexibel durch manuelle Bedarfswertänderungen anpassbar sein. Ändert sich ein Bedarf, z. B. aufgrund veränderter Gebäudenutzung oder durch die Erkenntnis, dass ein definierter Bedarfswert nicht mehr angemessen ist, soll dieser, auch kurzfristig, variiert werden können.
2. Die Ermittlung des Bedarfs einer Tätigkeitsausführung soll durch Messwerte unterschiedlicher Sensoren erfolgen können. So ist z. B. die „Reinigung einer Bodenfläche“ im Rahmen der indirekten Bedarfsermittlung u. a. abhängig von den Faktoren „Frequentierung der Fläche“ sowie „äußere Witterungsbedingungen“. Zur Ermittlung der beiden Faktoren werden unterschiedliche Sensorarten eingesetzt, was im Falle des genannten Beispiels Lichtschranke und Wetterstation sind.
3. Die Messwerte eines Sensors sollen für mehrere Entscheidungen genutzt werden können. So sollen z. B. Witterungsbedingungen im Außenbereich eines Gebäudes für die Tätigkeiten „Reinigung der Bodenfläche“, „Regulierung der Raumtemperatur“ und „Steuerung der elektronischen Rollläden“ nutzbar sein.
4. Zu Dokumentations- und Qualitätssicherungszwecken einer bedarfsorientierten Leistungserbringung sind der Zeitpunkt der Beauftragung und der Auftragsbeendigung zu dokumentieren. Neben einer detaillierten Übersicht der Ausführungsdauer, die zu Qualitätssicherungszwecken genutzt werden kann, können Verbesserungsprozesse auf Basis der Dokumentation erfolgen.
5. Bei bestehendem Bedarf soll eine Leistungsbeauftragung, und die damit einhergehende Benachrichtigung des Dienstleisters, einmalig erfolgen. Eine repetitive Benachrichtigung ist zu vermeiden.
6. Zur Vermeidung von Störungen des Gebäude- und Geschäftsbetriebs werden bei verrichtungsorientierter Leistungsbeauftragung die Zeitpunkte und Intervalle der Leistungserbringung, z. B. Reinigungszeiten, vertraglich definiert. Um einen störungsfreien Betrieb auch bei bedarfsorientierter Leistungserbringung sicherzustellen, sollen Leistungsbeauftragungen an sich in Nutzung befindlichen Elementen pausiert werden.
7. Um dem in der Problemstellung angesprochenen Fachkräftemangel entgegenzuwirken und den im Bereich Wartung und Instandhaltung existierenden Ansatz vorausschauender Maßnahmen zu übernehmen, sollen Leistungen opportun erbracht werden können.
8. Um Dienstleisterwechsel flexibel gestalten und die Beauftragung einzelner FS an unterschiedliche Dienstleister beauftragen zu können, soll die Möglichkeit vorgesehen

werden, Tätigkeiten einzeln oder in Tätigkeitsgruppen an unterschiedliche Dienstleister zu beauftragen.

Lösungsansätze zu beschriebenen Anforderungen werden in den folgenden Unterkapiteln sukzessive in Form von Algorithmen erarbeitet und in das in Kapitel 3 entwickelte Informationsmodell integriert. Die Integration der Anforderungen in das WEIMAR erfolgt zunächst theoretisch. Der Transfer der theoretischen Beschreibung in ein anwendbares Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung erfolgt durch die Implementierung in eine DB und anschließende Evaluierung in Kapitel 5.

4.2 Bedarfsermittlung

Die Definition, wann ein Bedarf besteht, erfolgt in dieser Arbeit durch Grenzwerte. Grenzwerte werden durch den Modellnutzer definiert und ergeben sich aus den in SLA formulierten Qualitätskennwerten. Sie beziehen sich auf Sensormesswerte (vgl. Kapitel 3.3.3). Erreicht ein Sensormesswert einen bestimmten Grenzwert, ist ein Bedarf zur Leistungserbringung gegeben. In dieser Arbeit werden folgende Grenzwertarten definiert:

- oberer Grenzwert (OG): Ein Bedarf besteht, wenn ein Sensormesswert den Grenzwert überschreitet. Als Beispiel wird eine Bodenfläche genannt, die zu reinigen ist, nachdem eine definierte Anzahl von Personen diese Fläche frequentiert hat.
- unterer Grenzwert (UG): Ein Bedarf besteht, wenn ein Sensormesswert den Grenzwert unterschreitet. Als Beispiel wird ein Füllstandssensor in einem Seifenspender genannt, der zu befüllen ist, wenn der Füllstand einen definierten Füllstand unterschreitet.
- außerhalb eines Intervalls: Ein Bedarf besteht, wenn ein Sensormesswert die Grenzwerte außerhalb eines definierten Intervalls über- oder unterschreitet. Im Intervall zwischen UG und OG besteht kein Handlungsbedarf.
- innerhalb eines Intervalls: Ein Bedarf besteht, wenn sich der Sensormesswert innerhalb eines Intervalls befindet, den er nicht erreichen darf. Im Intervall zwischen UG und OG besteht Handlungsbedarf.

Für jeden Sensor, der zur Bedarfsermittlung genutzt wird, ist jeweils ein UG und ein OG festzulegen. Durch die Festlegung von UG und OG kann das Entstehen des Bedarfs bis zum Erreichen des vollständigen Bedarfs nachvollzogen werden. Die Grenzwerte ergeben sich in einigen Fällen bereits auf Grundlage physikalischer Gegebenheiten. So kann z. B. der OG eines Füllstandssensors zur Erfassung des Füllstands eines Seifenspenders nicht größer sein als das Fassungsvermögen des Spenders. Der UG dieses Sensors kann nicht kleiner als 0 sein. Bei der Definition der Grenzwerte sollte jedoch ein Sicherheitspuffer eingeplant werden. Beträgt das maximale Fassungsvermögen eines Seifenspenders z. B. 500 ml und wird ein Wert von 5 ml als UG gesetzt, so bedeutet dies, dass ein Bedarf zur Befüllung des Seifenspenders gegeben ist, bevor der Behälter vollständig entleert ist. Abb. 4-2 stellt den Sicherheitspuffer

bei der Definition des UG eines Seifenspenders sowie den dazugehörigen Bedarfsverlauf grafisch dar. Bei der Definition der Grenzwerte ist eine störungsfreie Gebäudenutzung zu gewährleisten, hier z. B., dass zwischen Auftragsauslösung und -erledigung noch Seife im Spender ist.

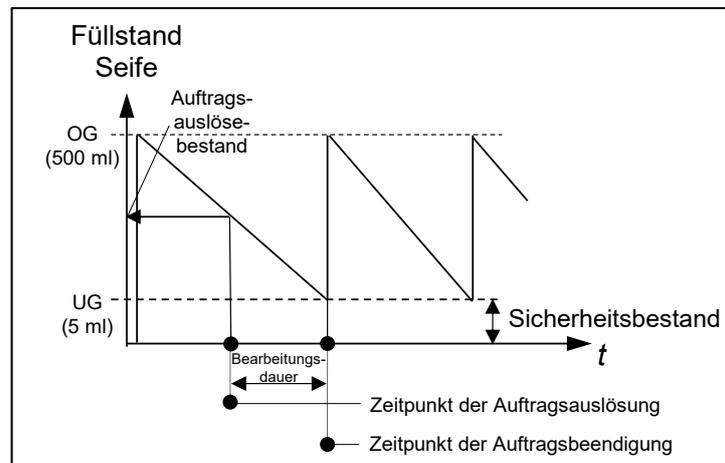


Abb. 4-2: Definition von Grenzwerten und Bedarfsentwicklung
in Anlehnung an (Bargstädt, Steinmetzger 2008, S. 156)

Die Grenzwerte werden durch den Modellnutzer definiert und sind im Modell enthalten. Zeigt sich während des Gebäudebetriebs, dass ein definierter Grenzwert nicht mehr angemessen ist, z. B., weil sich Standards wie Hygiene- oder Sicherheitsanforderungen ändern, kann der Grenzwert im Modell angepasst werden. Eine Änderung von Grenzwerten ist kurzfristig möglich und kann auch nur für bestimmte Zeiträume vorgenommen werden, z. B. einmalige Veranstaltungen. Grenzwerte sind mit den Vertragsparteien vor Vertragsschluss und Anwendung des Modells abzustimmen und in den SLA zu verschriftlichen.

4.2.1 Auswertungserfüllungsgrade (AEG)

Da mehrere Sensormesswerte und -messgrößen für eine Entscheidung nutzbar sein sollen, sind diese zunächst zu normieren. Die Normierung erfolgt durch die Einführung von Auswertungserfüllungsgraden (AEG). AEG normieren Sensormesswerte, d. h. Messgrößen, um diese für Entscheidungen zur Leistungserbringung vergleichbar und einheitlich nutzbar zu machen. Ein AEG gibt an, wie groß der relative Bedarf zur Ausführung einer an Grenzwerten gemessenen Tätigkeit ist, wobei in dieser Arbeit 100 % als vollständiger Bedarf erachtet und wird im Folgenden als positiv bezeichnet.

In dieser Arbeit werden vier Typen von AEG, analog der vier Grenzwertarten, betrachtet: Überschreitung des OG, Unterschreitung des UG, außerhalb eines Intervalls und innerhalb eines Intervalls.

Die Berechnung eines Bedarfs, bei dem ein Messwert x den OG überschreitet, ist in Formel 1 dargestellt.

$$AEG = \frac{x - UG}{OG - UG} * 100 \%$$

Formel 1: Überschreitung des OG

Die Berechnung eines Bedarfs, der durch die Unterschreitung eines UG besteht, ist in Formel 2 dargestellt.

$$AEG = \left(1 - \frac{x - UG}{OG - UG}\right) * 100 \%$$

Formel 2: Unterschreitung des UG

Die Berechnung eines Bedarfs, der sich innerhalb bzw. außerhalb eines Intervalls ergibt, ist in Formel 3 und Formel 4 dargestellt.

$$AEG = \left| \frac{2 \cdot (x - UG)}{OG - UG} - 1 \right| * 100 \%$$

Formel 3: Außerhalb eines Intervalls

$$AEG = \left(2 - \left| \frac{2 \cdot (x - UG)}{OG - UG} - 1 \right| \right) * 100 \%$$

Formel 4: Innerhalb eines Intervalls

Zum besseren Verständnis sind in Abb. 4-3 die Verläufe beschriebener AEG grafisch dargestellt. Die schraffierten Flächen stellen dar, wann ein Bedarf besteht. Die Geraden und Geradenstücke stellen den Verlauf des AEG über einen Messwert x dar.

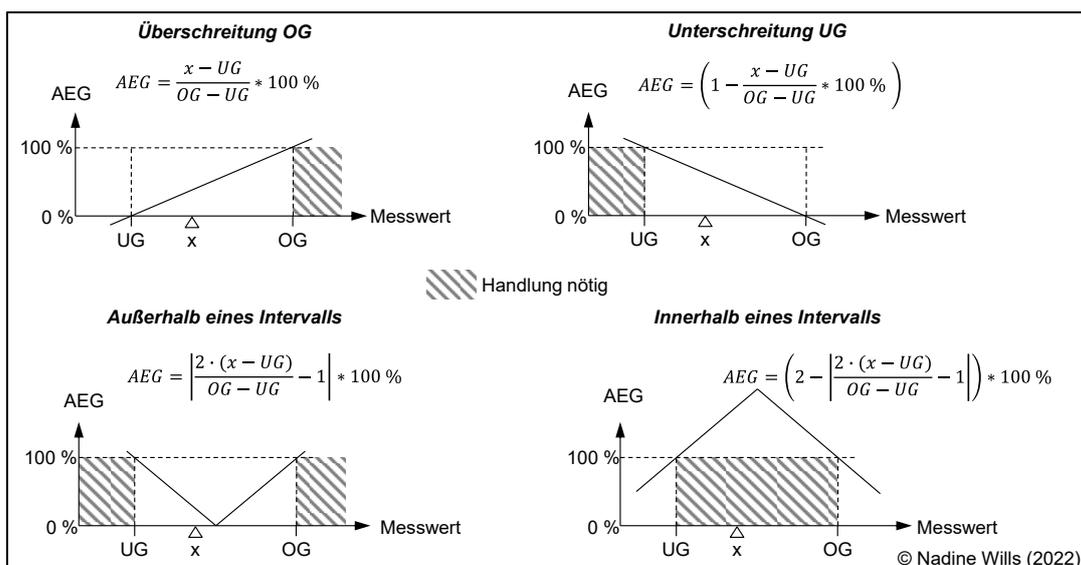


Abb. 4-3: Formeln und Darstellung zur Berechnung eines Bedarfs durch AEG

Die im Folgenden dargestellte Tabelle 4-1 soll der Erläuterung der vier AEG-Typen durch exemplarische Beispiele dienen. Es werden Beispiele des IFM (Reinigungs- und Pflegedienste) sowie des TFM (Wasserdruck einer Heizungsanlage) aufgeführt.

Facility Service	Beschreibung	AEG
Reinigung der Bodenflächen (IFM)	Reinigung der Bodenfläche nach einer Frequentierung von 800 Personen. Verwendet wird ein Sensor zur Personenerfassung. Der aktuelle Messwert beträgt 300 Personen, woraus ein AEG von 37,5 % resultiert. Ein Bedarf zur Bodenreinigung ist erst zu 37,5 % gegeben; die Tätigkeit muss noch nicht erbracht werden.	<p>Überschreitung OG</p> $\frac{300-0}{800-0} * 100 \% = 37,5 \%$
Befüllung von Seifenspendern (IFM)	Befüllen von Seifenspendern, wenn der Inhalt nur noch 5 ml beträgt. Das maximale Fassungsvermögen des Füllbehälters beträgt 500 ml. Der aktuelle Messwert beträgt 120 ml, woraus ein AEG von 76,76 % resultiert. Ein Bedarf zur Befüllung ist noch nicht gegeben.	<p>Unterschreitung UG</p> $\left(1 - \frac{120-5}{500-5}\right) * 100 \% = 76,8 \%$
Wasserdruck einer Heizungsanlage (TFM)	Der Wasserdruck einer Heizungsanlage muss im Bereich zwischen 1,5 bar und 3 bar liegen. Innerhalb dieses Intervalls ist kein Bedarf zur Leistungserbringung, z. B. Wasser nachfüllen oder Wasser ablassen, gegeben. Aktuell beträgt der Wasserdruck 2 bar, woraus sich ein AEG von 33,33 % ergibt. Der Bedarf einer Tätigkeitsausführung ist nicht gegeben.	<p>Außerhalb eines Intervalls</p> $\left \frac{2 \cdot (2-1,5)}{3-1,5} - 1 \right * 100 \% = 33,3 \%$

Tabelle 4-1: Exemplarische Darstellung von AEG mit praktischen Beispielen

Zum aktuellen Zeitpunkt sind keine Beispiele für das Bestehen eines Bedarfs zur Leistungserbringung innerhalb eines Intervalls bekannt. Um dies für potenzielle Zukunftsszenarien jedoch nicht auszuschließen, ist dieser AEG der Vollständigkeit halber im Modell vorgesehen.

4.2.2 Entscheidungsarten und Entscheidungserfüllungsgrade (EEG)

Ein einzelner AEG gibt Auskunft darüber, wie hoch der Bedarf zur Ausführung einer Tätigkeit auf Grundlage eines Sensormesswerts ist. Entscheidungen, ob Tätigkeiten beauftragt und ausgeführt werden, können jedoch von mehreren Sensoren beeinflusst werden, wie in Kapitel 4.1 beschrieben. Das Bestehen einzelner Bedarfe führt nicht automatisch zur Auftragserteilung. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es für beide Vertragsparteien suboptimal, eine Reinigungsfachkraft bei jedem Bedarf einer einzelnen Tätigkeit zur Ausführung zu senden. Es sind daher Entscheidungen zu treffen, ob und wie eine Tätigkeit beauftragt wird.

Dafür werden in dieser Arbeit vier Arten von Entscheidungen betrachtet und im Folgenden erläutert. In Abhängigkeit der Gebäudeart ist zunächst zu definieren, wie Bedarfe zur Tätigkeitsausführung genutzt werden. Eine Tätigkeit kann ausgeführt werden, wenn für eine Sensormesswertauswertung ein einzelner Bedarf besteht. Als Beispiel kann das Entleeren eines Abfallbehälters genannt werden, wenn dieser voll ist. Es können jedoch auch mehrere Abfallbehälter geleert werden, wenn die Mehrheit aller Abfallbehälter voll ist. Ebenso kann die Leerung von Abfallbehältern erfolgen, wenn alle oder nur ein Abfallbehälter voll sind.

Verschiedene AEG sind daher miteinander zu verknüpfen, um eine Entscheidung zu treffen. Die vier betrachteten Entscheidungsarten sind:

- UND-Entscheidung: Alle AEG, die für eine Entscheidung genutzt werden, müssen positiv, d. h. $\geq 100\%$ sein.
- ODER-Entscheidung: Einer der AEG, die für eine Entscheidung genutzt werden, muss positiv, d. h. $\geq 100\%$ sein.
- MEHRHEITS-Entscheidung: Die Mehrheit der AEG, die für eine Entscheidung genutzt werden, muss positiv, d. h. $\geq 100\%$ sein.
- MITTELWERT-Entscheidung: Der Mittelwert aller AEG, die für eine Entscheidung betrachtet werden, muss oberhalb eines definierten Auslöseerfüllungsgrads liegen.

Die genannten Entscheidungsarten lassen sich durch die Mengenbetrachtung formalisieren. Eine alternative Abbildung der UND-, ODER-, und MEHRHEITS-Entscheidung bildet die Boolesche Algebra. Da mit dieser jedoch nicht alle Entscheidungen der Arbeit betrachtet werden können, erfolgt die Verwendung der Mengenbetrachtung. Die für eine Entscheidung benötigten AEG können zu einer Menge (M_{AEG}) zusammengefasst werden können, wie in Formel 5 dargestellt.

$$M_{AEG} = \{AEG_1, AEG_2 \dots AEG_n\}$$

Formel 5: Menge aller AEG

In der Menge aller AEG sind erfüllte und nicht erfüllte AEG enthalten. Positive AEG, deren Wert mindestens 100 % beträgt, können in einer Menge zusammengefasst werden, wie in Formel 6 dargestellt, wobei Er für „erfüllte AEG“ steht.

$$M_{Er} = \{AEG | AEG \geq 100 \%\}$$

Formel 6: Menge aller positiven AEG

Nicht erfüllte AEG, deren Wert weniger als 100 % beträgt, können zu einer weiteren Menge zusammengefasst werden, wie in Formel 7 dargestellt, wobei NEr für „nicht erfüllte AEG“ steht.

$$M_{NEr} = \{AEG | AEG < 100 \%\}$$

Formel 7: Menge aller nicht erfüllten AEG

Bei der UND-Entscheidung erfolgt eine Leistungsbeauftragung, wenn alle AEG, die zur Ermittlung eines Bedarfs betrachtet werden, positiv sind. Die Mächtigkeit der Menge aller AEG, d. h. die Anzahl der Elemente der Menge M_{AEG} , ist dann gleich der Mächtigkeit der Menge M_{Er} . In Formel 8 ist die Bedingung einer UND-Entscheidung formal beschrieben.

$$|M_{AEG}| = |M_{Er}|$$

Formel 8: Bedingung für eine UND-Entscheidung

Als Beispiel für die Verwendung der UND-Entscheidung im Bereich der Reinigungs- und Pflegedienste kann die Reinigung einer Bodenfläche genannt werden. Die Entscheidung, dass die Reinigung der Bodenfläche erfolgt, wird dann getroffen, wenn:

- 1.000 Personen eine Fläche frequentiert haben, d. h. der OG 1.000 erreicht ist UND
- im Außenbereich trockenes Wetter herrscht, d. h., der UG der relativen Luftfeuchte von 80 % unterschritten ist.

Besteht nur einer der beiden Bedarfe, d. h. nur einer der betrachteten AEG ist positiv, wird die Entscheidung zur Leistungsbeauftragung nicht getroffen. In Abb. 4-4 ist die Reinigung einer Bodenfläche als UND-Entscheidung dargestellt.

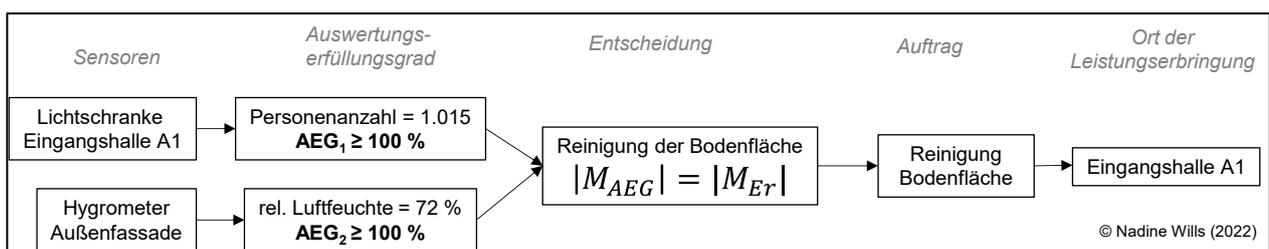


Abb. 4-4: Exemplarisches Beispiel einer UND-Entscheidung

Bei der ODER-Entscheidung muss mindestens ein AEG der betrachteten AEG erfüllt sein. Die Mächtigkeit der Menge M_{Er} muss größer gleich 1 sein. Die formale Beschreibung der Bedingung der ODER-Entscheidung ist in Formel 9 dargestellt.

$$|M_{Er}| \geq 1$$

Formel 9: Bedingung für eine ODER-Entscheidung

Die ODER-Entscheidung wird exemplarisch für das Entleeren von Papierkörben erläutert. Es werden dazu drei Papierkörbe betrachtet, wobei jeder Papierkorb über einen Füllstandssensor in Form einer Waage verfügt. Der definierte OG beträgt 2 kg. Ist der AEG einer der drei Papierkörbe erfüllt (hier AEG₁), so wird ein Auftrag zur Entleerung aller drei Papierkörbe erstellt, wie in Abb. 4-5 dargestellt.

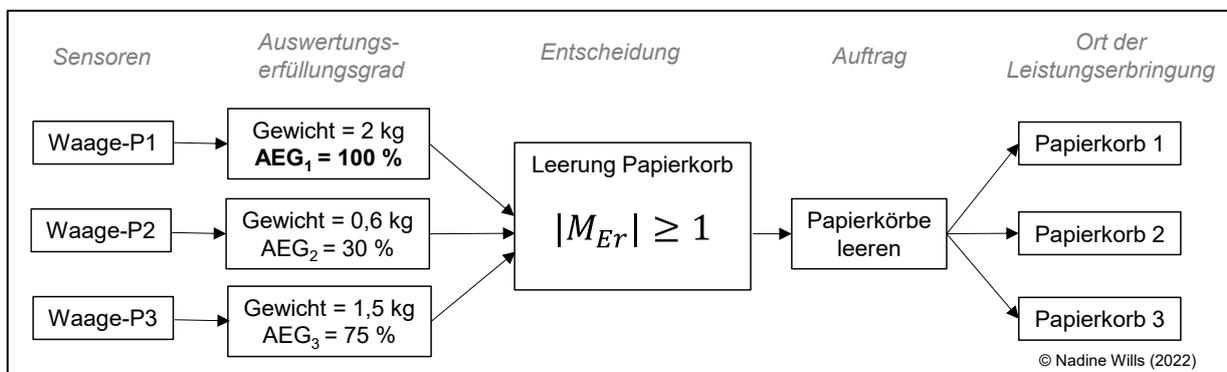


Abb. 4-5: Exemplarisches Beispiel einer ODER-Entscheidung

Bei der MEHRHEITS-Entscheidung erfolgt eine Leistungsbeauftragung, wenn die Mächtigkeit der Menge M_{Er} größer der Mächtigkeit der Menge M_{NEr} ist. Die Bedingung der MEHRHEITS-Entscheidung ist in Formel 10 dargestellt.

$$|M_{Er}| > |M_{NEr}|$$

Formel 10: Bedingung für eine MEHRHEITS-Entscheidung

Exemplarisch wird die Mehrheitsentscheidung am Beispiel der Entleerung von Papierkörben erläutert. Sind alle Papierkörbe mit Füllstandssensoren in Form von Waagen ausgestattet (analog dem vorhergehenden Beispiel), so ist die Leistungserbringung erst dann erforderlich, wenn zwei der drei betrachteten AEG erfüllt sind. In Abb. 4-6 ist dies grafisch dargestellt.

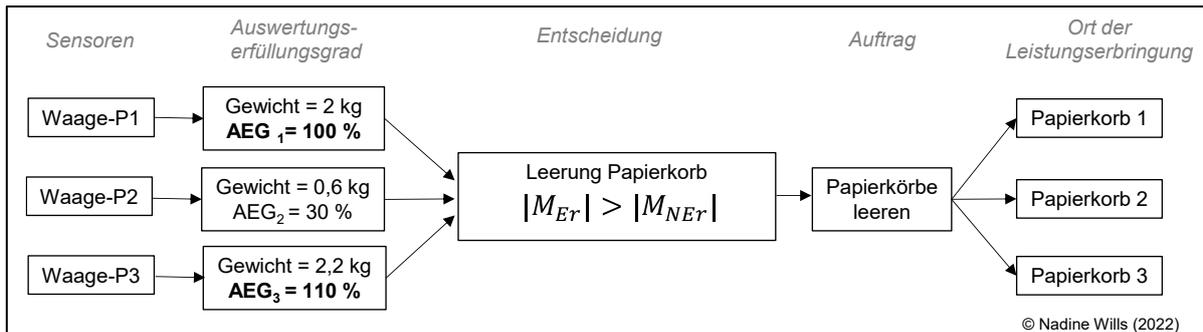


Abb. 4-6: Exemplarisches Beispiel einer MEHRHEITS-Entscheidung

Bei der MITTELWERT-Entscheidung ist eine Leistungserbringung erforderlich, wenn der arithmetische Mittelwert aller betrachteten AEG größer eines definierten Werts, im Folgenden als „Auslösererfüllungsgrad“ bezeichnet, z. B. 50 %, ist, wie in Formel 11 dargestellt.

$$\overline{AEG} > \text{Auslösererfüllungsgrad}$$

Formel 11: Bedingung für eine MITTELWERT-Entscheidung

Als Beispiel für MITTELWERT-Entscheidungen ist erneut das Entleeren von Abfallbehältern genannt, die räumlich nah beieinander stehen. In der Passagierhalle eines Flughafens befinden sich mehrere Abfallbehälter. Ist der Mittelwert der AEG größer 50 %, so ist die Entscheidung zur Leistungserbringung „Entleeren von Abfallbehältern“ erfüllt und ein Auftrag kann erstellt werden. In Abb. 4-7 ist das Beispiel grafisch dargestellt.

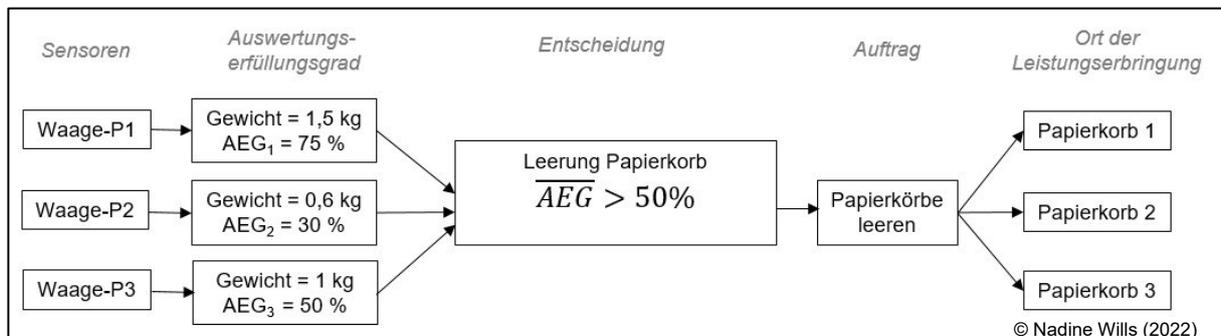


Abb. 4-7: Exemplarisches Beispiel einer MITTELWERT-Entscheidung

In der Praxis können weitere Entscheidungsarten entwickelt werden. In dieser Arbeit wird sich auf die vier elementaren Arten beschränkt, da mit diesen bereits eine Vielzahl von Tätigkeiten des operativen FM erfasst werden. Das entwickelte Modell ermöglicht jedoch die Einbindung weiterer Entscheidungsarten.

Mithilfe der Bedingungen aus den Formeln acht bis elf können Entscheidungen über eine Tätigkeit auf Basis mehrerer Sensormesswerte getroffen werden. Aussagen darüber, wie groß der Bedarf zur Ausführung einer Tätigkeit ist, die von mehreren Sensormesswerten ausgelöst

werden soll, können mit den Ungleichungen nicht getroffen werden. Um den Bedarf, der sich aus mehreren Sensormesswerten ergibt, quantifizieren zu können, wird der Entscheidungserfüllungsgrad (EEG) als Kennwert eingeführt. Ein EEG gibt den prozentualen Bedarf für eine Entscheidung an, die auf Basis mehrerer Sensormessertauswertungen (AEG) getroffen wird. Eine Entscheidung ist dann erfüllt, wenn die zuvor genannten Bedingungen erfüllt sind. Basierend auf vier Entscheidungsarten existieren auch vier EEG.

Eine UND-Entscheidung wird getroffen, wenn die Menge erfüllter AEG gleich der Menge aller betrachteten AEG ist. Formal lässt sich der EEG einer UND-Entscheidung analog Formel 12 beschreiben.

$$EEG_{UND} = \frac{|M_{Er}|}{|M_{AEG}|}$$

Formel 12: EEG einer UND-Entscheidung

Exemplarisch sei der EEG einer UND-Entscheidung zur Entleerung von fünf Abfallbehältern gegeben. Ist der Bedarf zur Entleerung bei drei der fünf Behälter gegeben, so beträgt der EEG 60 %. Die Entscheidung zur Auftragsauslösung ist somit erst zu 60 % gegeben.

Eine ODER-Entscheidung wird dann getroffen, wenn einer der betrachteten AEG über 100 % ist. Formal lässt sich der EEG einer ODER-Entscheidung analog Formel 13 beschreiben.

$$EEG_{ODER} = \max(AEG)$$

Formel 13: EEG einer ODER-Entscheidung

Am Beispiel der Abfallbehälter ist die Entscheidung zur Auftragsauslösung gegeben, wenn die Auswertung eines der fünf betrachteten Sensoren 100 % überschreitet.

Eine MEHRHEITS-Entscheidung wird dann getroffen, wenn die Mehrheit der betrachteten AEG erfüllt ist. Formal ist der EEG einer MEHRHEITS-Entscheidung in Formel 14 dargestellt. Sind drei der fünf Auswertungen positiv, so ist die Entscheidung zur Auftragsauslösung gegeben, der EEG beträgt dann 150 %.

$$EEG_{MEHRHEIT} = \frac{|M_{Er}|}{|M_{NEr}|}$$

Formel 14: EEG einer MEHRHEITS-Entscheidung

Eine MITTELWERT-Entscheidung wird getroffen, wenn die betrachteten AEG im Schnitt mehr als der definierte Auslöseerfüllungsgrad betragen. Die Beschreibung des MITTELWERT-EEG

erfolgt in Formel 15. Beträgt der mittlere \overline{AEG} für eine Entscheidung 75 % und der Auslöseerfüllungsgrad 60 %, resultiert daraus ein EEG von 125 %.

$$EEG_{MITTELWERT} = \frac{\overline{AEG}}{\text{Auslöseerfüllungsgrad}}$$

Formel 15: EEG einer MITTELWERT-Entscheidung

4.2.3 Opportune Tätigkeitsausführung

Eine Entscheidung zur Auftragsauslösung, d. h. zu reaktivem Handeln, wird auf Grundlage des Kennwerts EEG getroffen. Unabhängig der Entscheidungsart wird bei einem EEG von mindestens 100 % eine Entscheidung getroffen. Unter nachhaltiger Betrachtung werden in dieser Arbeit nicht nur Tätigkeitsausführungen betrachtet, deren Bedarf bereits zu 100 % gegeben ist, sondern auch opportune Tätigkeiten.

Opportune Tätigkeitsausführungen werden im Folgenden mit einem Exkurs zu Instandhaltungsstrategien begründet. Nach DIN 13306 existieren vorausbestimmte, zustandsorientierte, präventive und voraussagende Instandhaltungsarten. Instandhaltungen finden statt, um den Erhalt oder die Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands von gebäudetechnischen Anlagen zu gewährleisten, sodass die Anlagen die geforderten Funktionen erfüllen können (DIN EN 13306). Bei der Ausführung von Tätigkeiten, bei denen Dienstleistungen anstelle von Anlagenzuständen betrachtet werden, sind die Instandhaltungsarten auf die Tätigkeitsausführung zu projizieren. Die vorausbestimmte Instandhaltung ist mit der verrichtungsbasierten Tätigkeitsausführung gleichzusetzen. Tätigkeiten werden auf Basis von Intervallen und Terminen erbracht, was eine Planbarkeit der Tätigkeitsausführung gewährleistet, den tatsächlichen Bedarf jedoch außer Acht lässt. Das in dieser Arbeit entwickelte Modell bedarfsorientierter Leistungserbringung kann mit der zustandsorientierten Instandhaltung, die auch als „condition-based maintenance“ bezeichnet wird (DIN EN 13306, S. 35), verglichen werden. Die Ausführung von Tätigkeiten erfolgt auf Basis der Überwachung von Zuständen und fokussiert somit auf den tatsächlichen Bedarf. Bei der präventiven Instandhaltung, die auch als „predictive maintenance“ bezeichnet wird (DIN EN 13306, S. 35), werden Leistungen vorbeugend erbracht. Im Dienstleistungsbereich, insbesondere bei Reinigungsdienstleistungen, ist eine vorbeugende Tätigkeitsausführung jedoch kaum realisierbar. Die vorbeugende Reinigung einer Bodenfläche verhindert nicht, dass diese Fläche nach einer bestimmten Zeit aufgrund von Verschmutzungen erneut zu reinigen ist. Selbst über Planungsmechanismen wie kalkulierbare Personenströme, die eine Bodenfläche frequentieren, wird die Verschmutzung einer Fläche durch vorbeugende Reinigung nicht verhindert. Um Tätigkeiten jedoch auszuführen, wenn dies in der gegebenen

Situation von Vorteil ist, wird das Prinzip der opportunen Instandhaltung auf die Tätigkeitsausführung von Dienstleistungen übertragen. Als gegebene Situationen werden Bedarfe territorialer oder ausführungähnlicher Tätigkeiten angesehen.

Die opportune Tätigkeitsausführung beinhaltet Tätigkeiten, deren Bedarf noch nicht vollständig gegeben ist, eine Ausführung in Verbindung mit weiteren Tätigkeiten jedoch als wirtschaftlich sinnvoll zu erachten ist. Durch opportune Tätigkeitsausführungen werden Einsparungen von Personal-, Kapital- und Sachressourcen angestrebt. Das Konzept der opportunen Tätigkeitsausführung kann auf eine Vielzahl von Tätigkeiten angewendet werden, wie opportune Reinigung, Erbringung von Verpflegungsdiensten, Gärtnerarbeiten oder, wie dies bereits existent ist, Warten und Instandhalten von Anlagen.

Die Entscheidung, ob eine Leistung opportun beauftragt wird, erfolgt mithilfe eines sog. opportunen EEG. Opportune EEG sind durch den Modellnutzer zu definieren. Bei der Implementierung des in dieser Arbeit entwickelten Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung in ein Datenbank-System sind opportune EEG frei und basierend auf Erfahrungswerten zu definieren sowie in den SLA zu verschriftlichen. Eine opportune Leistungsbeauftragung erfolgt, wenn der EEG einer Entscheidung größer als der definierte opportune EEG ist, wie in Formel 16 dargestellt.

$$EEG \geq \text{opportuner EEG}$$

Formel 16: Bedingung für eine opportune Entscheidung

Da der opportune EEG eine Entscheidung vorzeitig auslösen soll, ist dieser niedriger als der EEG zu definieren. Opportune EEG sollen im Folgenden an einem Beispiel erläutert werden: Ist der Bedarf zur Entleerung eines Abfallbehälters gegeben, so kann bspw. der Boden im selben Raum des Abfalleimers ebenfalls gereinigt werden, wenn dieser bereits durch eine definierte (opportune) Anzahl von Personen frequentiert wurde. Dabei handelt es sich um eine sog. territoriale opportune Leistungserbringung. Eine sog. opportune gleichartige Tätigkeitsausführung liegt vor, wenn tätigkeitsnahe Leistungen betrachtet werden. Als Beispiel sei an dieser Stelle das Befüllen von Seifen- und Papierhandtuchspendern in unterschiedlichen Räumen genannt. Ist der Bedarf zur Befüllung genannter Spendersysteme im Damen-WC gegeben und der Bedarf zur Ausführung dieser Tätigkeiten im Herren-WC noch nicht, so kann es unter Umständen sinnvoll sein, wenn die Reinigungsfachkraft diese gleichartigen Tätigkeiten ebenfalls erbringt, um Wegzeiten einzusparen.

Zur Definition, welche Tätigkeiten opportun erbracht werden können, wenn Bedarfe zur Ausführung anderer Tätigkeiten bestehen, ist zu definieren, welche Tätigkeiten an territorial nah beieinander liegenden Elementen oder welche Tätigkeiten gleicher Art zu erbringen sind. Dafür werden sog. „Opportunitätsbereiche“ definiert. Die Definition hat in Abhängigkeit der FM-Vertragsart zu erfolgen. In Abb. 4-8 ist dies grafisch dargestellt.

	territorial	geeignet für	gleichartig	geeignet für
territorial	Ausführung verschiedener Tätigkeiten an Elementen die territorial beieinander liegen	① ② ③	Ausführung von gleichartigen Tätigkeiten an Elementen, die territorial beieinander liegen	① ③
gleichartig	Ausführung von gleichartigen Tätigkeiten an Elementen, die territorial beieinander liegen	① ③	Ausführung von gleichartigen Tätigkeiten an Elementen, die territorial nicht beieinander liegen	① ③ ④

① Systemanbieter, der permanent im Gebäude ist
 ② Systemanbieter, der nur temporär im Gebäude ist und anreist
 ③ Spezifischer Dienstleister, der permanent im Gebäude ist
 ④ Spezifischer Dienstleister, der nur temporär im Gebäude ist und anreist

© Nadine Wills (2022)

Abb. 4-8: Matrix zur Definition von Opportunitätsbereichen

In dieser Arbeit werden vier Vertragskonstellationen betrachtet: Dienstleistungsbeauftragung an Systemdienstleister, die sich permanent im Gebäude befinden (1) oder an Systemdienstleister, die nur zur Tätigkeitsausführung im Gebäude sind und dafür anreisen (2). Ferner können einzelne Tätigkeiten an spezifische Dienstleister beauftragt sein, die sich permanent im Gebäude befinden (3) oder an spezifische Dienstleister⁹, die nur zur Tätigkeitsausführung anreisen (4). Die Definition von Opportunitätsbereichen ist komplex und hat in Abhängigkeit der individuellen Unternehmenskonstellation zu erfolgen. In der Evaluierung des Modells wird sich auf territoriale und tätigkeitsgleiche Opportunitätsbereiche für Auftragnehmer, die sich permanent im Gebäude befinden, beschränkt.

4.3 Leistungsbeauftragung, Auftragsannahme und Quittierung

Ist eine Entscheidung zur Leistungsausführung erfüllt, hat die Auftragserteilung zu erfolgen. Zur Beauftragung stehen mit der direkten Beauftragung der ausführenden Fachkraft sowie der Benachrichtigung eines Ansprechpartners zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die erstgenannte Möglichkeit bietet sich insbesondere für Auftragnehmer an, bei denen sich Personal permanent im Gebäude befindet wie z. B. Reinigungspersonal in öffentlichen Infrastrukturgebäuden, Bürogebäuden oder Krankenhäusern. Die zweite Möglichkeit eignet sich für Tätigkeiten von Leistungen, bei denen sich Personal externer Auftragnehmer nicht permanent im Gebäude befindet. Hier soll die Möglichkeit gegeben sein, zunächst die verantwortliche Person des Auftragnehmers über einen bestehenden Bedarf zu informieren.

Die Beauftragung des Ansprechpartners bzw. der Fachkraft erfolgt über die in der Informationsstruktur festgelegten Notationsmedien. Damit der Auftragsempfänger weiß, welche Tätigkeiten an welchen Elementen auszuführen sind, soll die Beauftragung folgende Inhalte enthalten:

⁹ Spezifische Dienstleister führen nur eine Leistung aus, z. B. Reinigungsleistungen. Der spezifische Dienstleister stellt in diesem Fall ein Reinigungsunternehmen dar.

- Ansprache des Auftragnehmers, z. B. „Sehr geehrte/r Herr/Frau“, „Hallo“ oder eine allgemeingültige, genderneutrale Ansprache,
- Beschreibung der Tätigkeit, z. B. Befüllen, Entleeren, feucht Wischen etc.,
- Beschreibung des Elements, z. B. Seifenspender01, Abfallbehälter07, Bodenfläche120 etc.,
- Beschreibung der Lage, z. B. Raum A3 im EG, WC-Damen und WC-Herren im EG,
- eindeutige Auftragsnummer.

Die Definition, welche Tätigkeiten an einem oder für ein Element zu erbringen sind, erfolgt durch den Modellnutzer. In der Praxis sind diese Tätigkeits- und Elementbeschreibungen in Leistungsverzeichnissen dokumentiert. Vor der Nutzung des WEIMAR ist ein Auftragsportfolio zu erstellen. Im einfachsten Fall können dazu bestehende Leistungsverzeichnisse ohne Änderungen in eine DB überführt werden. In dem Auftragsportfolio wird definiert, welche Tätigkeit an welchem Element zu erbringen ist. Aufträge können nachträglich erweitert, geändert oder neu hinzugefügt werden. Das Auftragsportfolio bildet die Vorlage zur Beauftragung von Tätigkeiten. In Tabelle 4-2 sind Beispiele für Entscheidungen von Leistungen der Bereiche TFM und IFM aufgeführt. Die in der Tabelle dargestellten Elementnamen sind Beispiele aus der in Kapitel 5 folgenden Evaluierung und dienen an dieser Stelle nur der Veranschaulichung.

FS	Elementtyp	Elementname	Tätigkeit
Infrastrukturelles FM			
Unterhaltsreinigung	Aufzug mit Türen	Aufzug_01 ATür_01 ATür_02 ATür_03	Punktuell Griffspuren/Spritzer/Flecken entfernen
	Polstermöbel, Stühle, Sitzgelegenheiten	Loungechair_01 Loungechair_02 Sitzecke_02	Je nach Beschaffenheit punktuell Griffspuren/Spritzer/Flecken entfernen
Bodenreinigung	Textilbeläge einschl. der Sockelleisten	Boden_51 Boden_52	Textilbeläge saugen
	Hart- und elastischen Bodenbeläge, [...] Parkettbodenbeläge einschl. der Sockelleisten inkl. unter Einrichtungsgegenständen	Boden_08 Boden_09 Boden_55	Looser, aufliegender, anhaftender Schmutz sowie Absatzstriche/Verkehrsspuren sind zu entfernen
Sanitärreinigung	Spendersysteme (Papier, Seife etc.), Hygienebehälter, WC-Bürstenhalterung	Seifenspender_11 Toilettenpapierspender_01	Je nach Beschaffenheit punktuell feucht/nass reinigen und bestücken

FS	Elementtyp	Elementname	Tätigkeit
Technisches FM			
Instandhaltung elektr. gesteuerter Feststellanlagen für Feuerschutz- und Rauchschutzabschlüsse	Feststellanlage	Feststellanlage_01 Feststellanlage_02	Überprüfung der Handauslösung durch Handauslösetaster oder falls zulässig durch manuelles Ausrücken
	Feststellanlage	Feststellanlage_01 Feststellanlage_02	Überprüfung der Rückstellung der Brandmelder aus dem Alarmzustand
Instandhaltung gebäudetechn. Anlagen und Aufzüge	Fahrkorb/Türen	Fahrkorb_01 Wand_36	Schachtwand an den Zugangsseiten des Fahrkorbs auf Beschädigung prüfen

Tabelle 4-2: Auszug eines Auftragsportfolios

Ein Auftragsportfolio über alle Tätigkeiten und FS kann mitunter mehrere tausend Positionen beinhalten, da jedes Element einzeln zu betrachten ist. Intervalle oder Häufigkeiten der Leistungserbringung, die in verrichtungsorientierten Leistungsverzeichnissen hinterlegt sind, werden aufgrund der Bedarfsorientierung nicht übernommen.

Der Zeitpunkt des Entstehens des Bedarfs und der Benachrichtigung des Dienstleisters soll in einer Auftragsliste dokumentiert werden. Ist die Leistungserbringung erfolgt, quittiert der Auftragnehmer dies. Ausschlaggebend ist, dass die Auftragsquittierung einer eindeutigen Auftragsnummer zugewiesen ist. Nach Auftragsauslösung werden die einzelnen Zeitpunkte in die Auftragsliste der Informationsstruktur geschrieben. In der Auftragsliste lässt sich nachverfolgen, welche Aufträge offen, in Bearbeitung und bereits erledigt sind. Somit ist auch die Bearbeitungsdauer einer Leistungserbringung nachvollziehbar.

4.4 Dynamisierung des Informationsmodells

Die Auswertung von Sensormesswerten (AEG) sowie das Treffen von Entscheidungen zur Leistungserbringung (EEG) werden im Folgenden als dynamisch betrachtet, da diese aktuelle Zustände in Gebäuden darstellen. Durch das in Kapitel 3 definierte Informationsmodell wird beschrieben:

- welche Tätigkeiten einer Leistung auszuführen sind,
- wer diese Tätigkeiten erbringt,
- wie der Auftragnehmer über den Bedarf einer Tätigkeit informiert wird und
- wo der Ort der Leistungserbringung ist.

In einem nächsten Schritt sind die entwickelten Algorithmen zur Bedarfsermittlung in das Informationsmodell einzubinden. Dafür ist zunächst die Definition weiterer Entitätstypen

erforderlich. Statische Informationen werden einmalig in eine DB eingepflegt, was eine Änderung der Informationen nur dann erforderlich macht, wenn sich Änderungen am Gebäude oder an Prozessen ergeben. Dynamische Informationen, die Bedarfe und Entscheidungen abbilden, ändern sich in kürzeren Intervallen und sollen in automatisierter Form abgefragt und verarbeitet werden. Das statische Informationsmodell ist dafür nicht ausreichend, was den Einsatz von Software erfordert. Die Software soll auf das Informationsmodell zugreifen, sich erforderliche Informationen zur Leistungserbringung herausziehen sowie in das Informationsmodell hineinschreiben können.

4.4.1 Implementierung von Sensorauswertungen in das Informationsmodell

Zur Implementierung der Auswertung von Sensormesswerten in das Informationsmodell wird zunächst der Entitätstyp „AUSWERTUNGEN“ gebildet. Dieser Entitätstyp wird definiert durch die Attribute: *Beschreibung*, d. h. einer eindeutigen Beschreibung, was ausgewertet wird, dem *UG* und *OG*, dem *ISTWert*, der den letzten Messwert wiedergibt sowie dem *Auswertungserfüllungsgrad (AEG)*. Für Auswertungen, die auf indirekten Bedarfsermittlungen beruhen, wird vorgesehen, dass sog. fortlaufende Messwerte auftreten können. Exemplarisch sind dies Zähler, die z. B. die, die Bodenfläche frequentierenden Personen zählen. Bei der Auslösung einer Leistung werden die Messwerte dieser Sensoren permanent fortgeschrieben. Der Messwert erhöht sich um jede Person, die erfasst wird. Da dies jedoch nicht für jede Bedarfsermittlung geeignet ist, wird das *Grenzwert-Inkrement* eingeführt. Bei der Beauftragung einer Leistung auf dieser Grundlage wird der Ist-Sensormesswert nach Tätigkeitsausführung um den OG erhöht. Erläutert wird dies am Beispiel der Reinigung einer Bodenfläche. Sollen 1.000 Personen eine Fläche frequentieren dürfen, bis eine Reinigung erforderlich ist, so beträgt der OG 1.000. Wurde eine Fläche von 1.000 Personen frequentiert, so ist der EEG positiv und ein Auftrag kann ausgelöst werden. Während der Auftragsbearbeitung frequentieren jedoch weitere Personen diese Fläche, was einen beispielhaften Messwert von 1.257 hervorruft. Nach der Auftragsbeendigung wird die Entscheidung wieder aktiviert. Der OG beträgt nun jedoch weniger als der aktuelle Messwert, was unmittelbar zu einer erneuten Beauftragung führen würde. Durch das Inkrement wird der Messwert bei Auftragsende um den jeweiligen Grenzwert erhöht. Erfolgt die Auftragsbeendigung bei einem Ist-Messwert von 1.257, so erhöht sich der neue OG auf 2.257. Um Sensoren mit dem Entitätstyp AUSWERTUNG in Relation zu setzen, ist eine 1:n-Beziehung erforderlich. Dies begründet sich dadurch, dass ein Sensor für viele Auswertungen genutzt werden kann. Um die Auswertungsart zu definieren, d. h. OG, UG, innerhalb oder außerhalb eines Intervalls, ist eine Entitätstyp mit dem Namen AUSWERTUNGSART in dem WEIMAR anzulegen. Das gleichnamige Attribut *AuswertungsArt* enthält die vier in Kapitel 4.2.1

vorgestellten Auswertungsarten. In Abb. 4-9 ist die Beziehung der neu definierten Entitätstypen und Attribute zueinander dargestellt.

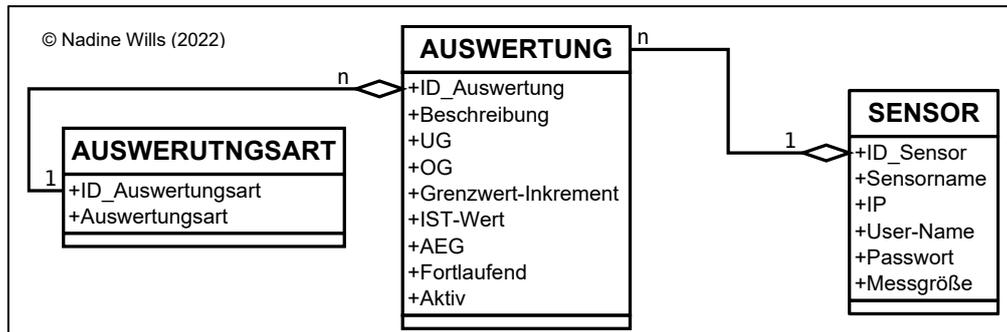


Abb. 4-9: Entitätstypen und Beziehungen zur Auswertung von Sensormesswerten

4.4.2 Implementierung von Entscheidungsalgorithmen in das Informationsmodell

In einem nächsten Schritt sind die Entscheidungen sowie zugehörige Entscheidungsarten in das WEIMAR zu implementieren. Dazu werden die Entitätstypen **ENTSCHEIDUNGEN**, **ENTSCHEIDUNGSARTEN** und **AUFTRAGSLISTE** gebildet. **ENTSCHEIDUNGSARTEN**-Entitäten werden definiert durch die Attribute *Entscheidungsart* sowie das Attribut *Erläuterung*, welches eine formale Beschreibung der Entscheidung darstellt. Die Entitäten von **ENTSCHEIDUNGEN** werden beschrieben durch die Attribute *ID_Entscheidung*, *Beschreibung*, *EEG*, *opportuner EEG* und *Abfrageintervall*. Die Anforderung, dass repetitive Beauftragungen zu vermeiden sind, erfolgt durch das Aktiv- bzw. Inaktivsetzen einer Entscheidung. Die Deaktivierung bzw. Pausierung von Entscheidungen ist aus folgenden Gründen erforderlich:

1. Die Leistungserbringung einer Entscheidung erfolgt aufgrund gegebenen Bedarfs. Während diese Leistung erbracht wird, werden weiterhin Messwerte erfasst. Um eine sich wiederholende Meldung zum Bestehen des Bedarfs zu vermeiden, ist eine Entscheidung nach Auftragsauslösung inaktiv zu setzen. Auf diese Weise wird verhindert, dass der ausführende DL permanent Notationen über auszuführene Leistungen erhält.
2. Einige Leistungen sind nur zu bestimmten Zeiten auszuführen. Als Beispiel werden die Tätigkeiten Streuen und Schneeräumen des FS Winterdienste genannt. Die Entscheidung zum Auslösen dieser Tätigkeiten soll in den Sommermonaten, z. B. von April bis Oktober, inaktiv gesetzt werden können.

Dafür ist das Attribut *Aktiv* zu definieren. Während der Auftragsbearbeitung ist die davon betroffene Entscheidung inaktiv und wird nicht ausgewertet. Die **AUFTRAGSLISTE** dient der Dokumentation von ausgelösten Aufträgen und deren Bearbeitung. Die Entitäten der **AUFTRAGSLISTE** werden beschrieben durch *ID_Auftragslisteneintrag*, *Startzeit*, *Endzeit*,

Erledigt, Opportun und Auslösende Entscheidung. Das Attribut *Opportun* dient dem späteren Nachweis, ob Leistungen opportun ausgeführt wurden, die *Auslösende Entscheidung* gibt Aufschluss darüber, welche Entscheidung die Auftragsauslösung initiiert hat. ENTSCHEIDUNGEN sind über 1:n-Beziehung mit den ENTSCHEIDUNGSARTEN verbunden, d. h. eine Entscheidungsart kann zu vielen Entscheidungen gehören, konträr kann jede Entscheidung auf nur eine Art getroffen werden. Da Entscheidungen die Grundlage zur Auslösung von Aufträgen bilden, ist zusätzlich eine Relation zwischen den Entscheidungen und den Aufträgen herzustellen. Da eine Vielzahl von ENTSCHEIDUNGEN existieren, wovon jede einen AUFTRAG auslösen kann, resultiert daraus eine 1:n-Beziehung.

Da Entscheidungen auf Basis von AEG getroffen werden, ist eine Beziehung zwischen den Entitätstypen AUSWERTUNGEN und ENTSCHEIDUNGEN herzustellen. Bei dieser Beziehung handelt es sich um eine m:n-Beziehung, da eine Vielzahl von Auswertungen für eine Vielzahl von Entscheidungen genutzt werden kann. Die Dynamisierung des WEIMARS, d. h. die automatisierte Abfrage von Sensormesswerten, Durchführung der Auswertungen, Treffen von Entscheidungen sowie die Beauftragung von Leistungen erfolgen durch eine Software, die nachfolgend beschrieben wird. Die Entitätstypen und Beziehungen zu Entscheidungen und Aufträgen sind in Abb. 4-10 dargestellt.

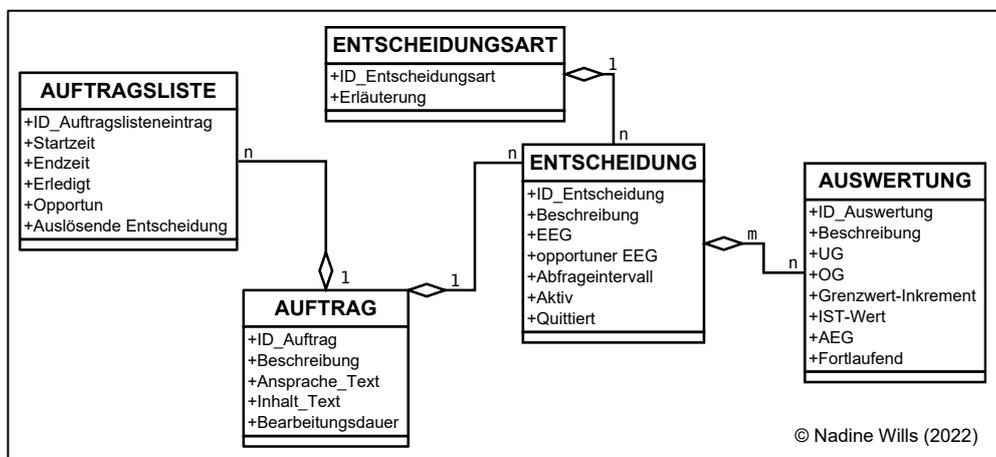


Abb. 4-10: Entitätstypen und Beziehungen zu Entscheidungen und Aufträgen

Die Dynamisierung des Informationsmodells, d. h. die automatisierte Abfrage von Sensormesswerten, Durchführung der Auswertungen, Treffen von Entscheidungen sowie die Beauftragung von Leistungen erfolgen durch eine Software, die nachfolgend beschrieben wird.

4.5 Programmablauf bedarfsorientierter Leistungserbringung

Die entwickelten Entscheidungsalgorithmen und das Informationsmodell bilden die Basis für bedarfsorientierte Leistungserbringung und stellen das sog. WEIMAR dar. Durch eine Software sind die definierten Entscheidungen zyklisch abzufragen. Der Prozess von der Ermittlung eines Bedarfs über die Beauftragung einer Leistung bis zur Auftragsquittierung wird

im Folgenden als Programmablauf bezeichnet und in Form von Struktogrammen nach Nassi-Shneiderman visualisiert. Bei Struktogrammen handelt es sich um eine Darstellung von Programmabläufen in Form von Sinnbildern und Schachtelungen, die durch beschreibende Texte ergänzt werden (DIN 66261). Die Visualisierung erfolgt in Struktogrammen, da aufeinander aufbauende und parallele Abläufe, wie dies in dem entwickelten Entscheidungsmodell der Fall ist, unabhängig von einer spezifischen Software oder Programmiersprache dargestellt werden können. Der vollständige Programmablauf gliedert sich in zwei parallel stattfindende Programmabläufe, wie in Abb. 4-11 dargestellt.

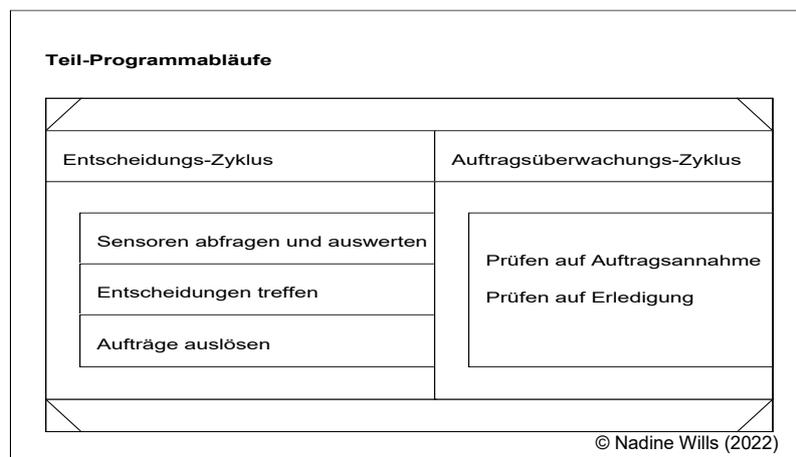


Abb. 4-11: Struktogramm Parallelprozesse

Im Entscheidungs-Zyklus erfolgt die Bedarfsermittlung, das Treffen der Entscheidungen sowie das Auslösen der Aufträge. Im Auftragsüberwachungs-Zyklus erfolgt die Dokumentation der Auftragserledigung. Beide Zyklen sowie die darin enthaltenen Deklarationen und Unterprogramme werden im Folgenden erläutert.

Die in einem Entscheidungs-Zyklus betrachteten Entscheidungen greifen auf den Entitätstyp ENTSCHEIDUNGEN des WEIMARs zurück. Die durchzuführenden Auswertungen stammen aus dem Entitätstyp AUSWERTUNGEN. In der Software, die auf das in eine DB implementierte WEIMAR zugreift, werden zunächst alle Entscheidungen eingelesen und nacheinander abgearbeitet. Als erstes wird geprüft, ob die Entscheidung aktiv ist und somit bearbeitet werden muss oder ob die Entscheidung inaktiv ist, weil z. B. der Auftrag für diese Entscheidung bereits erteilt wurde.

Ist eine Entscheidung aktiv, werden alle Auswertungen, die für diese Entscheidung erforderlich sind, eingelesen. Aus der Gesamtheit der Auswertungen wird die erste Auswertung gewählt und die dazugehörige Berechnung durchgeführt. Das Abfragen der Sensormesswerte sowie die Auswertungsdurchführung erfolgen in einem Unterprogramm und sind in dem Struktogramm als sog. Blockaufruf dargestellt. Wie zuvor beschrieben, können Entscheidungen auf einem oder mehreren Sensoren basieren, woraus sich mindestens eine

Auswertung ergibt. Die Sensorabfrage und Durchführung der Auswertung erfolgen nacheinander in einer Schleife. Hat die Software die Auswertung durchgeführt und die AEG ermittelt, wird die Entscheidungsart (UND-, ODER-, MEHRHEIT- oder MITTELWERT-Entscheidung), die für diese Entscheidung vorgesehen ist, ermittelt. Im nächsten Schritt wird der Bedarf einer Leistungserbringung über den Kennwert EEG berechnet und im Anschluss in die Entität ENTSCHEIDUNGEN eingetragen. Ist eine Leistungserbringung erforderlich, wird geprüft, ob das betroffene Element in einem Raum verfügbar oder z. B. durch eine Nutzung belegt ist. Bei Verfügbarkeit des Elements ist zu prüfen, ob zu der Entscheidung gehörende opportune EEG erfüllt sind, um dafür ebenfalls einen Auftrag auszulösen. Erfolgt die Auftragsauslösung, was wiederum in einem Unterprogramm geschieht, ist die Entscheidung auf inaktiv zu setzen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Auftrag nicht mehrfach ausgelöst wird. Im Anschluss wird die nächste Entscheidung ausgewählt und auf die gleiche Art behandelt. Informationen zu nicht zur Verfügung stehenden Zeiten einer Leistungserbringung können manuell definiert oder dynamisch über die Anbindung an Raumbuchungssysteme erfolgen. Ist das Element nicht verfügbar oder keine Leistungserbringung erforderlich, wird unmittelbar die nächste Entscheidung ausgewählt, ohne eine Auftragsauslösung zu initiieren. Der Programmablauf ist in Abb. 4-12 dargestellt. Die in den Blockaufrufen dargestellten Unterprogramme werden im Folgenden erläutert.

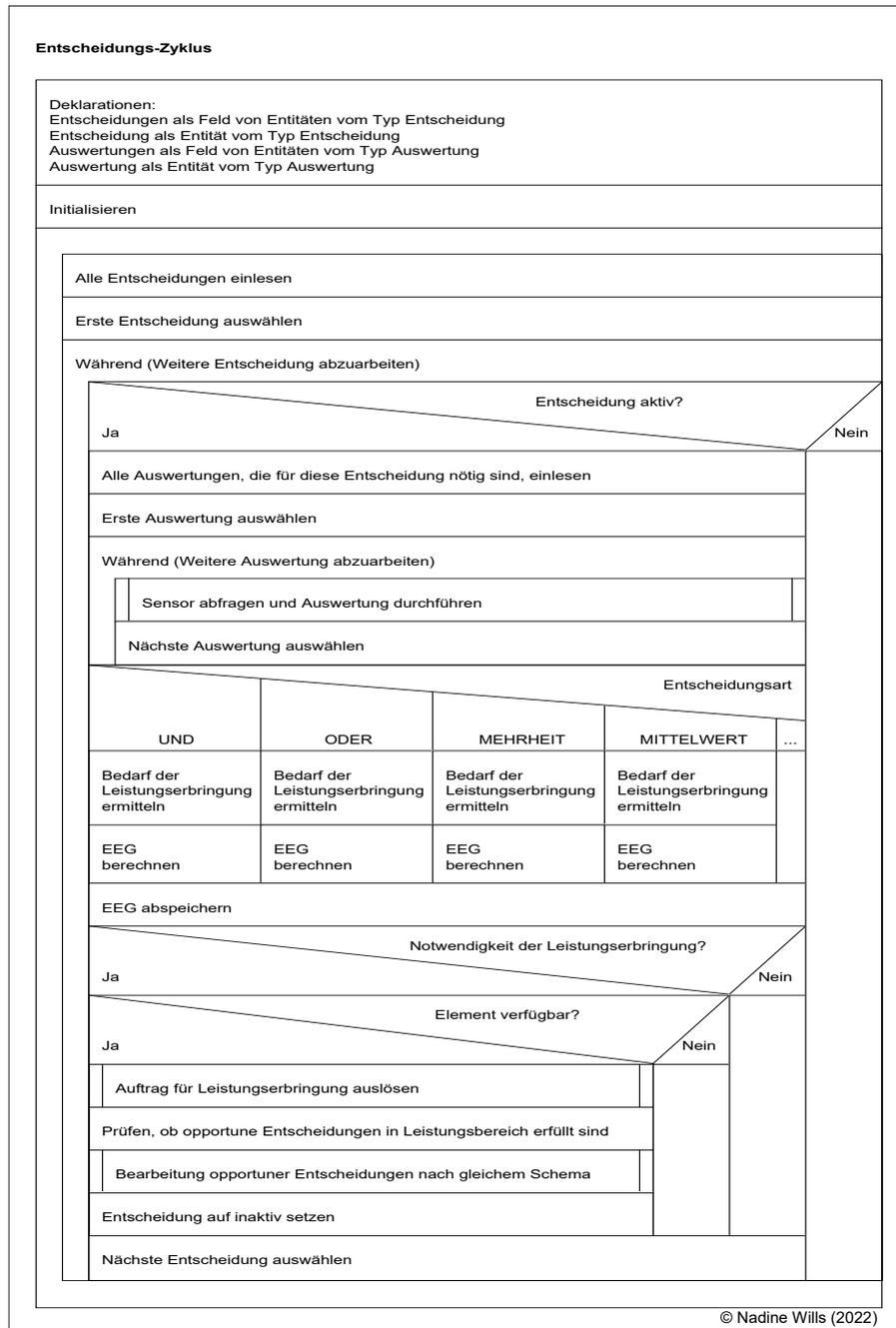


Abb. 4-12: Struktogramm Programmablauf Entscheidungszyklus

Der AEG wird basierend auf der Formel der definierten Auswertungsart (Überschreitung OG, Unterschreitung UG etc.) berechnet und gemeinsam mit dem Sensormesswert in die Entität Auswertung geschrieben sowie zusätzlich in einer weiteren Tabelle abgespeichert, um eine sog. Messwerthistorie zu Dokumentationszwecken zu bilden. Das Struktogramm des Programmablaufs zur Auswertung ist in Abb. 4-13 dargestellt.

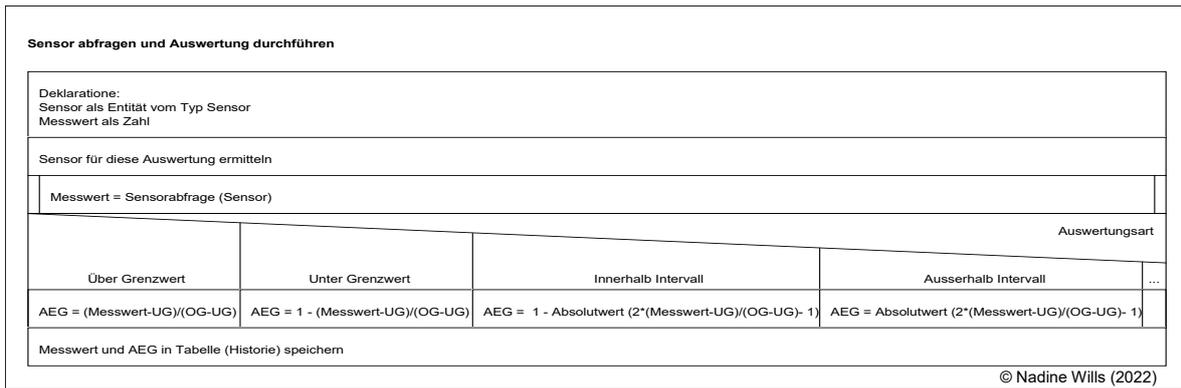


Abb. 4-13: Struktogramm Programmablauf Auswertungsdurchführung

Der Programmablauf zur Sensorabfrage ist in Abb. 4-14 dargestellt. Nach der Ermittlung des Protokolls und der Adresse wird das für den Sensor vorgesehene Protokoll ausgewählt und eine Messwert-Abfrage gestartet. Abhängig von den eingesetzten Sensoren kann die Software um weitere Abfragemethoden ergänzt werden. Die drei dargestellten Abfragemethoden, d. h. Protokolle, stellen lediglich Grundtypen dar. Der Messwert wird im Anschluss zurückgegeben.

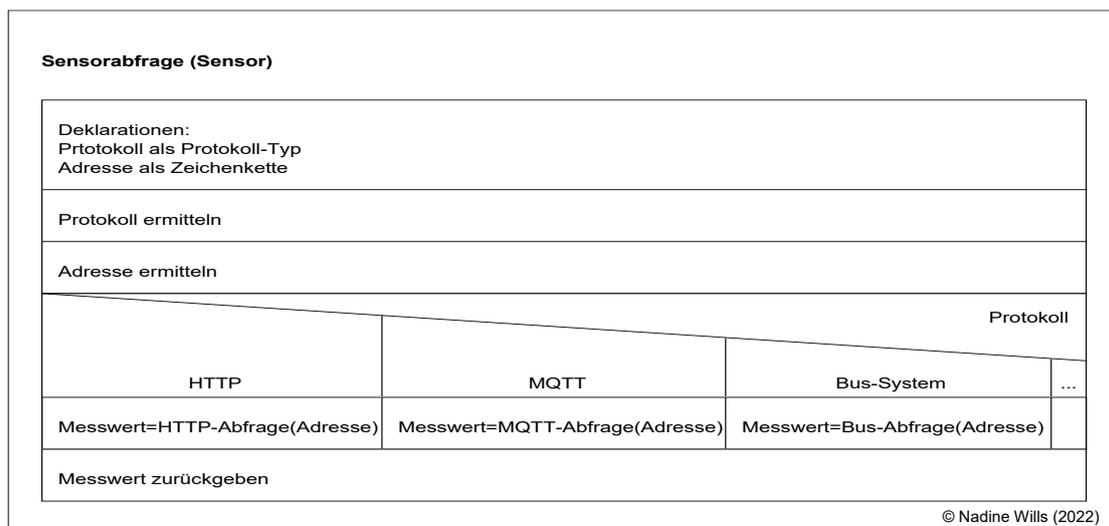


Abb. 4-14: Struktogramm Programmablauf Sensorabfrage

Zur Auftragsauslösung werden die Tätigkeiten, die betroffenen Elemente sowie der Ansprechpartner des Auftragnehmers aus den Entitäten des WEIMARs betrachtet und eingelesen. Aus Tätigkeiten und Elementen wird der Auftragstext zusammengestellt. Über das definierte Notationsmedium erfolgt die Beauftragung, wie in Abb. 4-15 dargestellt. Auch für die Notationen können in der Software weitere Notationsmedien und erforderliche Programmmodule ergänzt werden.

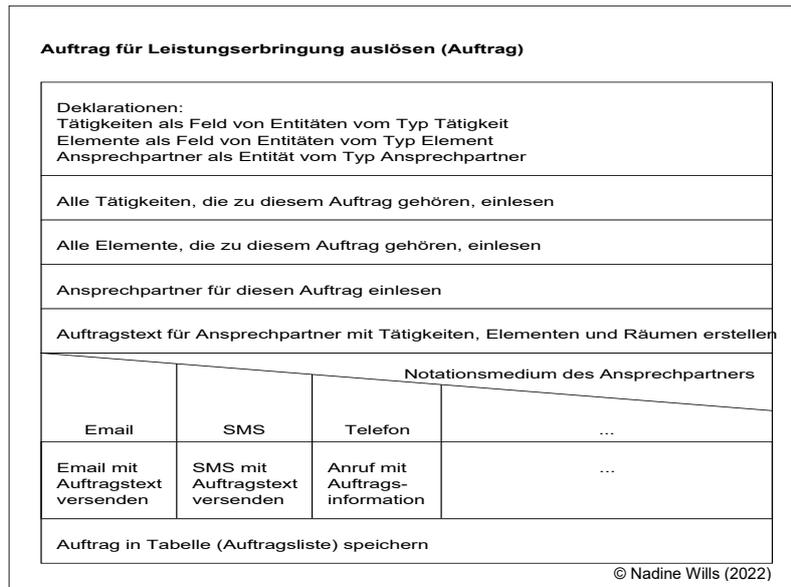


Abb. 4-15: Struktogramm Programmablauf Auftragsauslösung

Parallel zum Entscheidungs-Zyklus erfolgt die Ausführungsüberwachung. In zyklischen Intervallen prüft die Software die Aufträge in der AUFTRAGSLISTE. Dazu werden die einzelnen Aufträge, die der Entscheidungs-Zyklus in die Auftragsliste speichert, betrachtet. Für neue Aufträge, die weder erledigt sind noch eine Auftragsannahme durch den DL erfahren haben, erfolgt eine Abfrage über das hinterlegte Notationsmedium des DL (Annahmemedium), ob eine Auftragsannahme vorliegt. Ist dies der Fall, wird der Annahmezeitpunkt des Auftrags in die Auftragsliste gespeichert sowie der Auftrag als „in Bearbeitung“ markiert. Weiterhin wird in diesem Zyklus überwacht, ob die Aufträge erledigt und quittiert wurden. Hierzu erfolgt ebenfalls eine Prüfung über das hinterlegte Notationsmedium (Quittierungsmedium), ob der DL die Auftragserledigung quittiert hat. Ist dies der Fall, wird der entsprechende Auftrag in der Auftragsliste als „erledigt“ markiert und die, den Auftrag auslösende, Entscheidung wieder aktiviert. Für die Entscheidung werden dann wieder Sensorabfragen und -auswertungen durchgeführt. Die Auftragsliste gibt somit einen Überblick darüber, welche Aufträge angenommen und beendet wurden sowie noch in Bearbeitung sind.

Der beschriebene Programmablauf ist in Abb. 4-16 dargestellt.

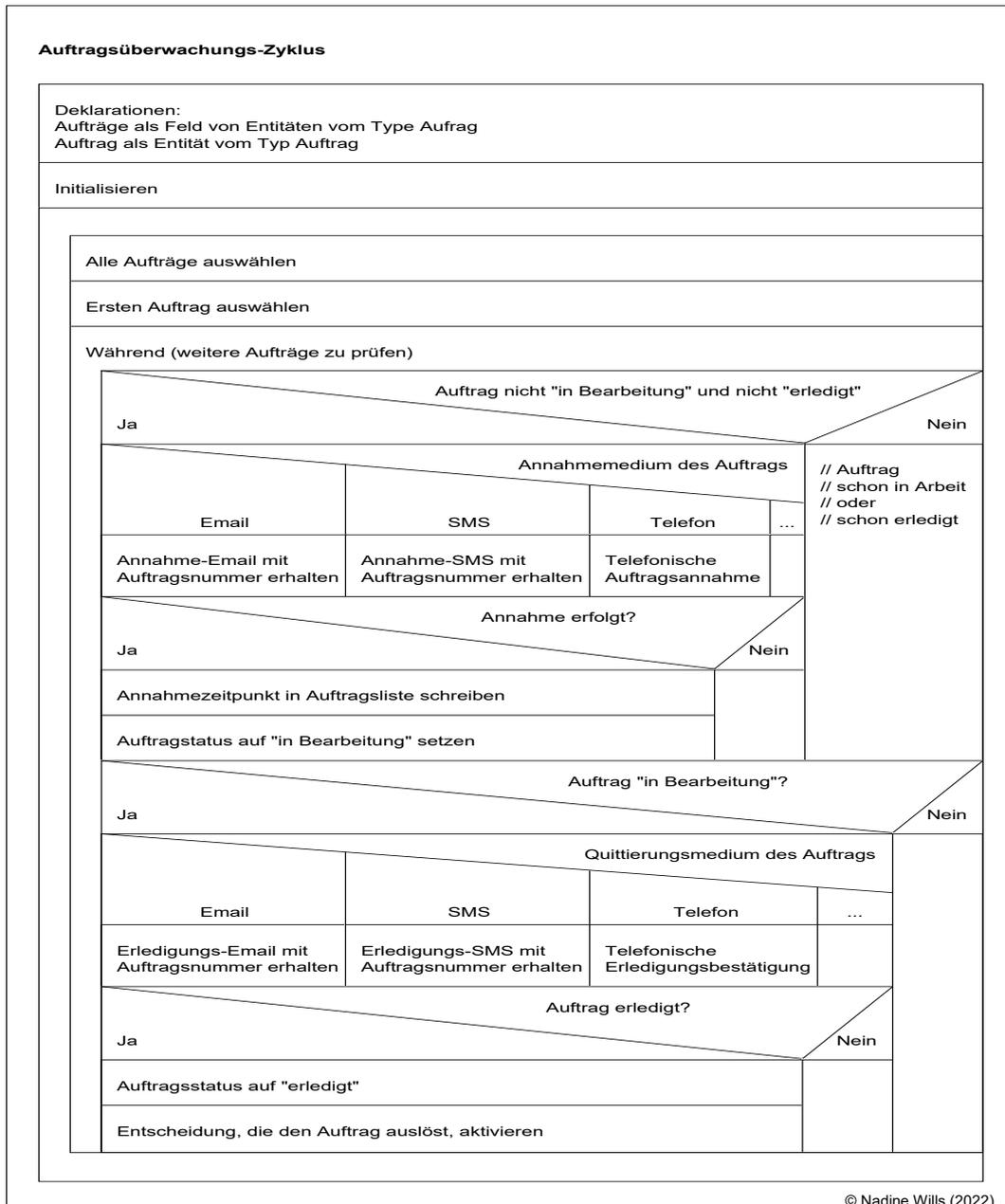


Abb. 4-16: Struktogramm Programmablauf Auftragsüberwachungs-Zyklus

Der Prozess von der Ermittlung eines Bedarfs bis zur Auftragsauslösung und -beendigung erfolgt durch die Programmierung analog der dargestellten Struktogramme in automatisierter Form. Ergänzende Ausführungen zur Programmierung folgen in Kapitel 5.

4.6 Zusammenfassende Betrachtung zu Entscheidungsalgorithmen

Das Informationsmodell bildet die Grundlage für bedarfsorientierte Leistungserbringung. Eine Dynamisierung des Modells erfolgt durch die Definition von Algorithmen zur Ermittlung von Bedarfen, dem Treffen von Entscheidungen sowie dem Auslösen und Quittieren von Aufträgen.

Der Aufbau und die Nutzung des WEIMARs erfordern vom Modellnutzer zunächst aktives Handeln: Grenzwerte und opportune Entscheidungserfüllungsgrade müssen definiert sowie die Formulierung von Entscheidungen basierend auf Sensormesswerten und Aufträgen vorgenommen werden. Die Implementierung der beschriebenen Algorithmen zu Sensormesswertauswertung, zur Bedarfsermittlung und zur (opportunen) Entscheidungsfindung in eine Software ermöglicht bedarfsorientierte Leistungserbringung, bei der die Definition von Bedarfen durch Eingriff des FM geändert werden kann. Die Anforderungen, die an das Modell gestellt wurden, sind erfüllt. Die Funktionsfähigkeit des entwickelten Modells in einer DB wird im folgenden Kapitel evaluiert.

5 Simulative Evaluierung des Modells

Zur Evaluierung der im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf theoretischer Basis gewonnenen Erkenntnisse wird in diesem Kapitel die Anwendbarkeit des entwickelten WEIMARs virtuell, d. h. als Simulation, erprobt. Die Evaluierung in Form einer Simulation ermöglicht, dass unterschiedliche Szenarien der Nutzungsphase in einem theoretischen Gebäude durchgespielt werden können. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten dieser Szenarien sind in der Praxis schwer vorhersehbar. Das Ziel der Evaluierung ist es zu zeigen, dass die Algorithmen zur Bedarfsermittlung in Verbindung mit dem entwickelten Informationsmodell zur Tätigkeitsausführung, Beauftragung und Dokumentation der Leistung möglich sind. Ferner soll nachgewiesen werden, ob eine opportune Beauftragung von Tätigkeiten, das heißt vor dem eigentlichen Bestehen eines Bedarfs, möglich ist. Der Prozess der Evaluierung ist in Abb. 5-1 grafisch dargestellt.

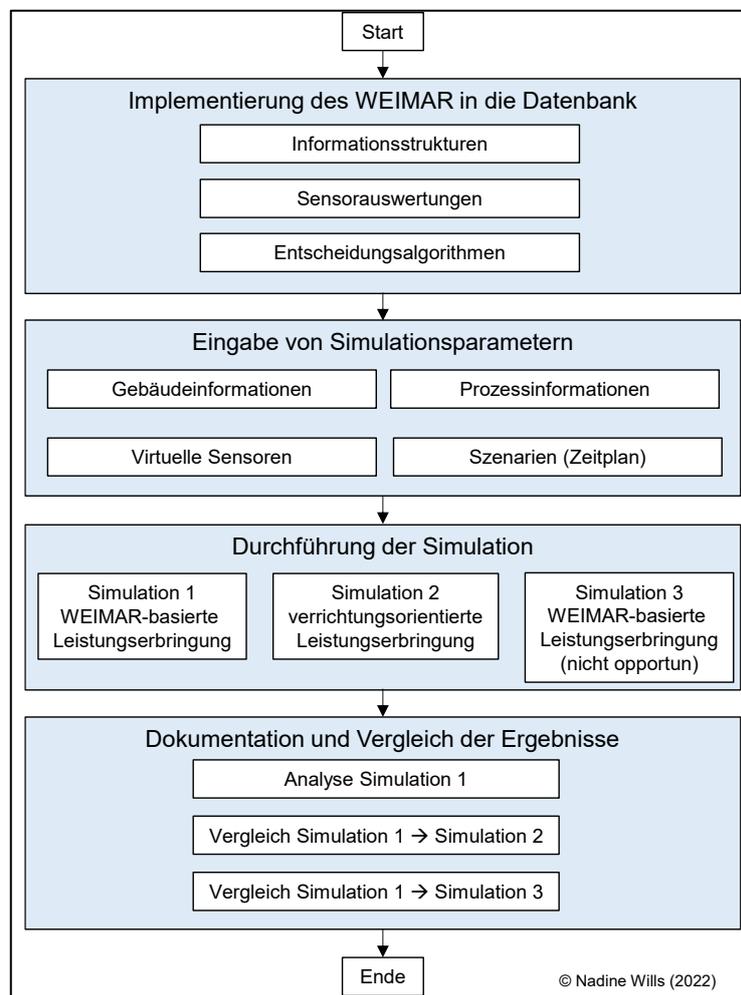


Abb. 5-1: Ablaufbeschreibung der Implementierung bis Evaluierung

Das WEIMAR wird in ein relationales Datenbank-System implementiert. Dazu werden alle Entitätstypen mit ihren Attributen sowie die Relationen zwischen den Entitätstypen erstellt. Ferner werden die Algorithmen zur Auswertung von Sensordaten und zur Entscheidungsfindung ebenfalls in das Datenbanksystem übertragen. Auf diese Weise wird mithilfe von Visual Basic

(VBA) ein Simulationsmodell erstellt. Da die Simulation mit nicht realen Sensoren, sog. virtuellen Sensoren oder Softsensors, durchgeführt wird, werden zusätzliche VBA-Module entwickelt, die die notwendigen Messwerte erzeugen können. Die Parameter dieser virtuellen Sensoren können im zeitlichen Verlauf der Simulation verändert werden, um unterschiedliche Messwertverläufe entsprechend unterschiedlichen Bedarfsanstiegen in den verschiedenen Simulationsverläufen abzubilden. Die Steuerung dieser Sensorparameter wird durch Zeitpläne im Quellcode implementiert. Ferner werden zufällige Messwertänderungen für diese virtuellen Sensoren implementiert. Zufällige Messwertänderungen belaufen sich auf 10 %. Zur Auftragsüberwachung werden außerdem Funktionen entwickelt, die nach definierten Dauern die Aufträge quittieren, d. h., beenden können. Da sich nach Auftragsausführung auch die Sensormesswerte und damit die Bedarfe der Tätigkeitsausführung ändern, erfolgt die Implementierung von Funktionen zur Änderung von Sensormesswerten in die Auftragsüberwachung. Auf diese Weise wird bspw. nach dem Entleeren eines Abfalleimers der Messwert des entsprechenden Füllstandssensors auf null gesetzt. Die Auswertung der Sensoren, die Entscheidungsfindung und die Auftragsüberwachung können auf diese Weise im Hauptteil der Simulation zyklisch durchlaufen werden und somit periodische Intervalle im Simulationsmodell darstellen. Die Implementierung der Algorithmen in VBA und Simulationsabläufe umfasst 3.239 programmierte Zeilen inklusive Leerzeilen und Kommentare. Auszüge des programmierten Quellcodes finden sich in Anhang A6. Die Simulationsergebnisse in diesem Kapitel werden mit einer Intervalllänge von 20 Minuten ermittelt, d. h. sämtliche AEG- und EEG-Verläufe weisen eine zeitliche Auflösung von 20 Minuten auf. Die folgende Abb. 5-2 eines EEG-Verlaufs soll das Verhalten der Simulation verdeutlichen.

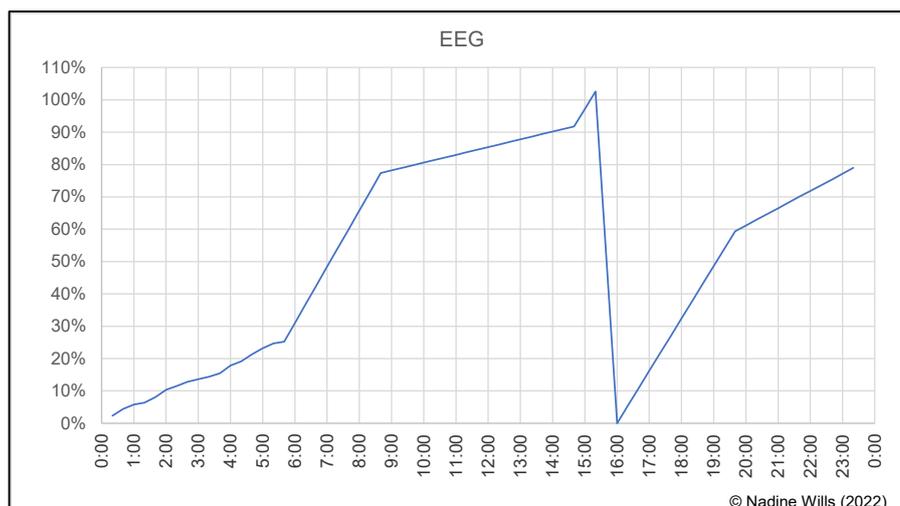


Abb. 5-2: Exemplarischer EEG-Verlauf über 24 Stunden

Im ersten Bereich bis 5:40 steigt der Bedarf langsam an und die zufälligen Messwertänderungen sind erkennbar. Zwischen 5:40 und 8:40 steigt der Bedarf schneller, der zufällige Anteil ist

geringer. Zwischen 8:40 und 14:40 steigt der Bedarf langsam, ab 14:40 wieder schneller. Um 15:20 übersteigt der Bedarf für die Leistungserbringung 100 % und die Tätigkeit wird ausgelöst. Das Verrichten der Dienstleistung dauert bis 16:00 an. Nach Auftragsausführung ist kein Bedarf für eine Leistungserbringung gegeben und der EEG beträgt 0 %. Um 19:40 flacht die Bedarfssteigerung wieder ab.

Das WEIMAR basiert auf der sensorbasierten Ermittlung von Bedarfen und differenziert sich dadurch von der eingangs in dieser Arbeit beschriebenen bedarfsorientierten Leistungserbringung auf Basis manueller Bedarfsermittlung. Es werden drei Simulationen durchgeführt: WEIMAR-basierte Reinigung mit opportuner Leistungserbringung, WEIMAR-basierte Reinigung ohne opportune Leistungserbringung und verrichtungsorientierte Leistungserbringung, d. h. zu fest definierten Zeitpunkten. Zur Prüfung, ob die WEIMAR-basierte Leistungserbringung Vorteile gegenüber einer verrichtungsorientierten Leistungserbringung bietet, erfolgt ein Vergleich der Simulationsergebnisse.

Im Folgenden werden zunächst die Eingangswerte und Szenarien der Simulationen beschrieben. Dabei erfolgt die Beschreibung der betrachteten Anwendungsfälle, d. h. die Tätigkeiten sowie die dazugehörige Definition der Sensoren, Auswertungen und betrachteten Entscheidungen.

5.1 Eingangsparemeter und Szenarien

Die Evaluierung des WEIMAR wird mit den in Tabelle 5-1 dargestellten Eingangs- und Simulationsparametern durchgeführt.

Allgemeine, statische Ausgangsparemeter	
Gebäudeart:	Bürogebäude, 4-geschossig. Gebäudeausstattung: Eingangshalle mit Sitzmöbeln, Kaffeeautomat, Empfangstresen, zwei Sanitär- und sieben Büroräumen und ein Konferenzraum. In der Evaluierung betrachtete Räume: Eingangshalle und Sanitärräume des Erdgeschosses (EG) mit Kundenverkehr. Die statischen Gebäudeinformationen stammen aus einem nicht realen Gebäude, das als IFC-Format durch das Institut für Automation und angewandte Information des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zur Verfügung gestellt und in der Software Autodesk Revit 2022 weiterbearbeitet wurde. ¹⁰ In Abb. 5-3 ist der Grundriss des EG sowie die Eingangshalle dargestellt (vgl. S. 94).
Vertragsart:	Fachkräfte des Auftragnehmers sind permanent im Gebäude und zur Leistungserbringung verfügbar.

¹⁰ Unter die Weiterbearbeitung fallen folgende Aspekte: Ausstattung des Gebäudes mit Elementen, Vergabe von Raumnummern, -namen sowie Geschosszugehörigkeiten, Oberflächendefinition von Fußboden-, Decken- und Wandflächen, Implementierung virtueller Sensoren zur Bedarfsermittlung und gestalterische Maßnahmen, wie der Umgestaltung des Dachs.

Geschäftsbetrieb:	Montag bis Freitag von 08:00 bis 17:00 Uhr	
Reinigungszeiten:	00:01 bis 24:00 Uhr	
Betrachtete Aufträge:	Auftrag mit mehreren Tätigkeiten	Unterhaltsreinigung Eingangshalle Erdgeschoss
	Aufträge mit einer Tätigkeit	Reinigung Urinal Herren-WC, Entleerung Abfallbehälter Damen-WC, Befüllung Seifen- und Hygienespender (Sanitär)
Simulationsparameter		
Virtuelle Sensoren:	Insgesamt werden 64 virtuelle Sensoren genutzt, die Messwerte hochzählen, z. B. Personenzähler und Füllstände der Abfallbehälter sowie 15 Sensoren, die Messwerte herunterzählen, z. B. Füllstände in Seifen- und Hygienespendern. ¹¹	
Simulierte Faktoren:	Witterung, Anzahl der Personen im Gebäude / Bewegung, Staubgehalt der Innenraumluft	
Simulationszeitraum:	173 Stunden	
Simulationsstart:	16.8.2021 um 00:00:01 Uhr	
Simulationsende:	23.08.2021 um 05:00:00 Uhr	
Intervall des Entscheidungszyklus:	20 Minuten	

Tabelle 5-1: Eingangs- und Simulationsparameter

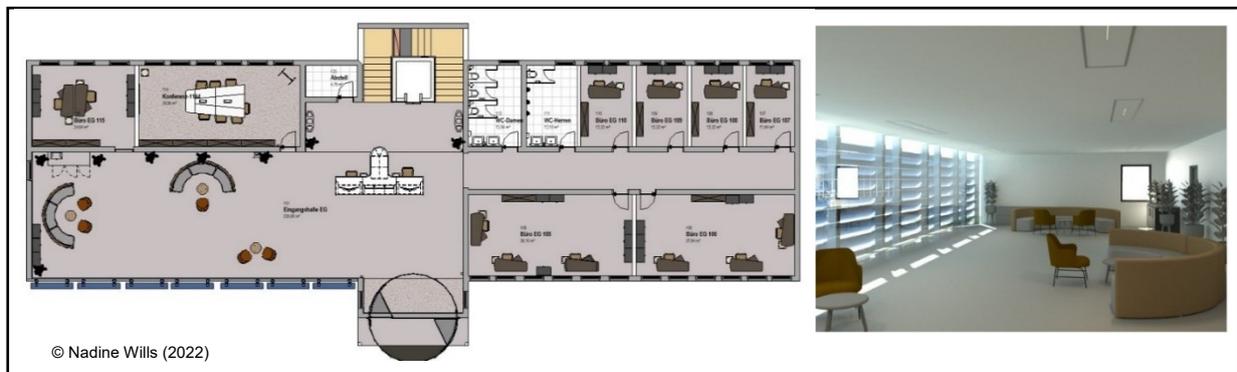


Abb. 5-3: Grundriss EG Evaluierungsgebäude und Darstellung Eingangshalle

Die in dieser Arbeit simulierten Szenarien beinhalten unterschiedliche zeitliche Ereignisse, die durch eine veränderte Zu- und Abnahme der Sensormesswerte dargestellt werden. Die simulierten Szenarien sind:

- Normaler Geschäftsbetrieb bei trockenem und nassem Wetter: Die Mitarbeiter betreten das Gebäude gegen 08:00 Uhr und verlassen dieses gegen 17:00 Uhr wieder. Ist viel Bewegung im Gebäude, z. B., beim Betreten oder Verlassen des Gebäudes sowie in der

¹¹ Eine Auflistung der virtuellen Sensoren mit zu- und abnehmenden Messwerten befindet sich in Anhang A7.

Mittagspause, tangiert dies den Faktor Bewegung, die Füllstände in den Seifen- und Hygienespendern sowie der Abfallbehälter. Dabei erfolgt eine stärkere Zu- bzw. Abnahme der virtuellen Sensormesswerte der betroffenen Sensoren, als wenn sich die Mitarbeiter am Arbeitsplatz befinden.

- Nicht-Verfügbarkeit von Elementen: Am 19.08.2021 finden Trockenbauarbeiten in der Eingangshalle statt, die deswegen zeitweise nicht nutzbar ist. Die Bauarbeiten verursachen eine erhöhte Staubkonzentration der Raumluft und führen zu erhöhter Verschmutzung.
- Atypischer Geschäftsbetrieb: Am 20.08.2021 findet eine Firmenfeier mit vielen Personen in der Eingangshalle statt. Die ersten Personen treffen um 16:30 Uhr ein. Dadurch wird der Faktor Bewegung, die Füllstände in Seifen-/Hygienespendern sowie der Abfallbehälter beeinflusst. Gegen 23:00 Uhr verlassen die ersten Personen die Veranstaltungen. Am 21.08. beginnen die Aufräumarbeiten.
- Witterungen: Es wird trockenes und nasses Wetter simuliert. Bei regnerischer bzw. feuchter Witterung im Außenbereich wird mehr Feuchte und Verschmutzung auf die Bodenflächen getragen als bei trockener Witterung. Die Reinigung der Bodenfläche bei trockenem Wetter hat in der Simulation nach einer Frequentierung von 200 Personen zu erfolgen. Bei feuchter Witterung ist eine Reinigung nach 120 Frequentierungen erforderlich.¹²

Der vollständige Simulationszeitplan und eine Übersicht der Sensormesswertveränderungen finden sich in Anhang A8. In Abb. 5-4 sind exemplarisch die Eingangsparameterverläufe der betrachteten Faktoren und die zugehörigen Szenarien dargestellt.

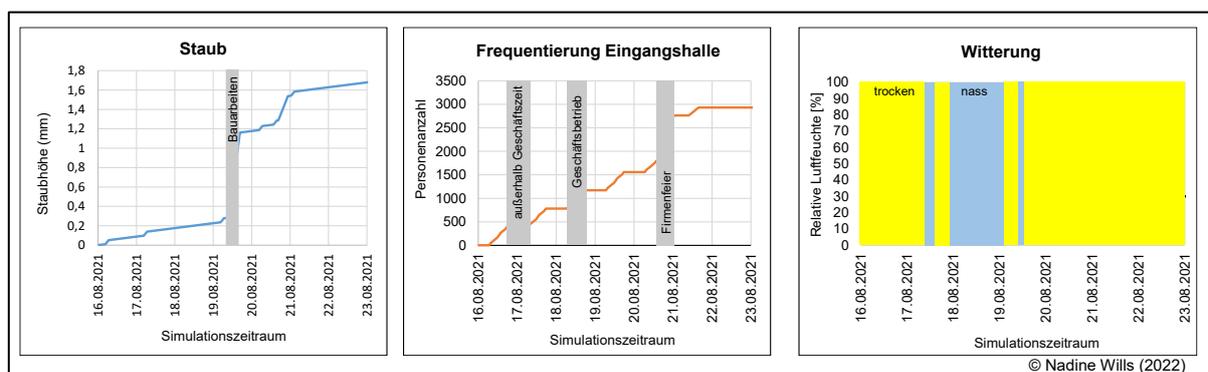


Abb. 5-4: Szenarien der Ausgangssituation im Simulationszeitraum

Da sich diese Szenarien (insbesondere die Personenanzahl) auch auf Füllstände auswirken, sind in Abb. 5-5 exemplarisch die Füllstände für einen Abfalleimer und Hygienespender in der Eingangshalle sowie den Seifenspender im Damen-WC dargestellt. Damit soll gezeigt werden, wie weit sich die Werte (Füllstände) ändern würden, wenn keine Dienstleistungen im Betrachtungszeitraum erbracht würden. Die Abbildung zeigt, dass ca. 450 l Abfall anfallen, ca. 4,4 l

¹² Es handelt sich hierbei um frei gewählte Werte, basierend auf der Annahme, dass jeder der 64 im Gebäude befindlichen Mitarbeiter die Eingangshalle zwingend betreten muss, um an den Arbeitsplatz zu gelangen.

Desinfektionsmittel (in einem Spender) und ca. 560 ml Seife aus einem Seifenspender im Damen-WC verbraucht werden. Die aus diesen Parametern resultierende Verschmutzung und Verbräuche sind durch FM-Leistungen zu beseitigen. Abb. 5-4 und Abb. 5-5 finden sich in vergrößerter Darstellung in Anhang A9.

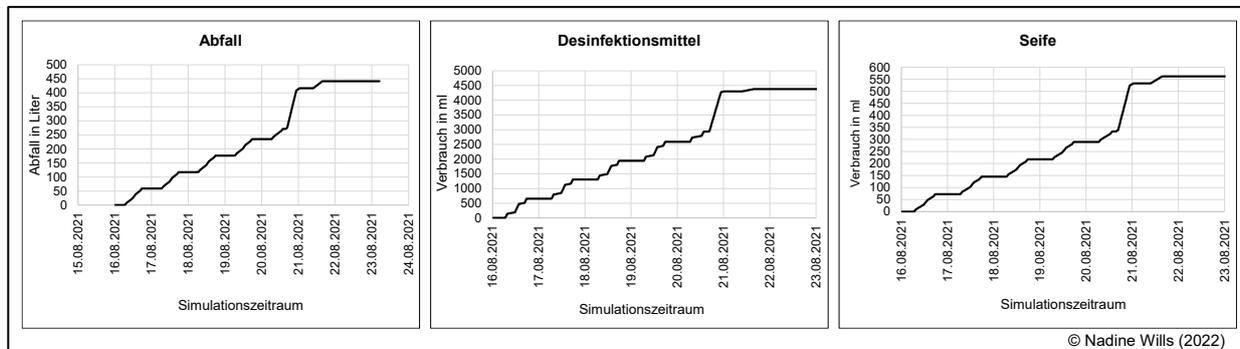


Abb. 5-5: Füllstandsverläufe der Ausgangssituation im Simulationszeitraum

Folgende virtuelle Sensoren sind für die Evaluierung von Bedeutung:

- ein Hygrometer (als Regensensor) an der Außenfassade,
- Füllstandssensoren in jedem Seifen- und Hygienespender,
- Bewegungsmelder/-erfasser an der Decke jeden Raums als Personenzähler,
- ein Füllstandssensor in jedem Abfallbehälter im Gebäude,
- Gewichtssensoren in allen Sitzmöbeln zur Erfassung der Nutzungsanzahl,
- ein Staubsensor je Leuchte in jedem Raum,
- Infrarotsensoren in allen Waschtischarmaturen (Infrarotarmaturen) zur Erfassung der Nutzungsanzahl,
- Spültastensensoren an jeder WC-Spültastatur zur Erfassung der Nutzungsanzahl,
- ein WC-Bürstensenor an jeder WC-Bürste zur Erfassung der Nutzungsanzahl,
- elektronische Papierhandtuchspender inkl. Füllstandssensor in allen Sanitärräumen,
- Füllstandssensoren in jedem Toilettenpapierspender,
- Schmutzpartikelsensor an Spiegelflächen in Sanitärräumen.

5.2 Implementierung des WEIMAR in eine Datenbank

Das entwickelte WEIMAR wird analog den UML-Diagrammen aus Kapitel 3 und Kapitel 4 in einer DB angelegt. In die verwendete Datenbank sind für in UML dargestellte m:n-Beziehungen zusätzliche sog. Relationstabellen erforderlich. Durch Relationstabellen, sog. Relationen-Entitätstypen, wird die Zuordnung vieler Objekte eines Entitätstypen zu einem anderen Entitätstypen dargestellt. Es existieren verschiedene Möglichkeiten des Imports der statischen Gebäudeinformationen in die DB. Die in der Evaluierung genutzte DB enthält keine Schnittstelle,

um IFC-Dateien zu importieren. Aus diesem Grund wird sich in dieser Arbeit auf den Import der statischen Gebäudeinformationen in Form von Tabellen fokussiert. Aus der Software Revit Autodesk werden Bauteil-, Wand-, Decken-, Boden-, Raum-, Flächen-, Element- und Oberflächenmateriallisten analog dem erstellten WEIMAR exportiert. Die einzelnen Tabellenblätter enthalten die Entitäten der unterschiedlichen Entitätstypen. In Abb. 5-6 sind das WEIMAR der statischen Gebäudeinformationen sowie die dazu gehörenden und in die DB importierten Gebäudeinformationen auszugswise dargestellt. Die Abbildung ist in Anhang A10 vergrößert dargestellt.

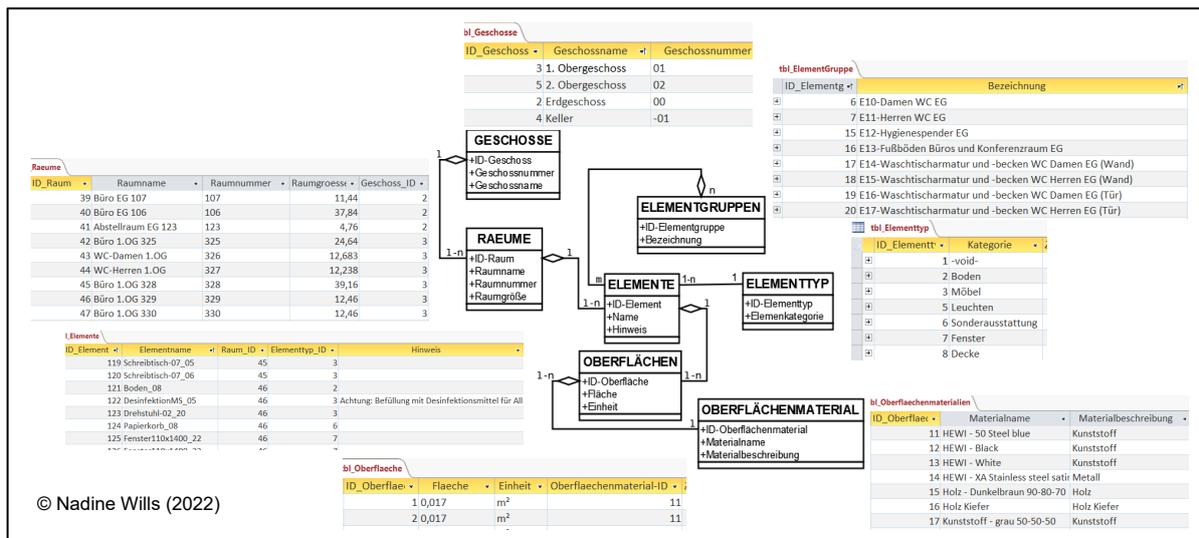


Abb. 5-6: Transfer Informationsstruktur in Datenbank

Die statischen Prozessinformationen werden basierend auf nicht realen Dienstleistern, Ansprechpartnern, Notationsmedien etc. direkt in die entsprechenden Entitäten der DB eingetragen.

5.3 Betrachtete Aufträge, Entscheidungen und Entscheidungsarten

In dieser Arbeit wurden unterschiedliche Entscheidungsarten und Nutzungsmöglichkeiten von Sensorauswertungen zur Beauftragung von Leistungen dargestellt. Mit der Evaluierung soll gezeigt werden, dass diese Flexibilität zur Bedarfsermittlung und Beauftragung von Tätigkeiten im WEIMAR realisierbar ist.

Zunächst werden die in Tabelle 5-1 genannten Aufträge in die DB eingetragen. Für Aufträge, die mehrere Tätigkeiten beinhalten, werden Tätigkeitsgruppen gebildet, die wiederum als Vorlage für weitere Aufträge nutzbar sind. In dieser Arbeit werden die Tätigkeitsgruppen „T1-Unterhaltsreinigung“, „T2-Unterhaltsreinigung Sanitär“ und „T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen“ angelegt.¹³ Zur Auslösung eines Auftrags und der damit einhergehenden Bearbei-

¹³ Eine Übersicht aller in der Evaluierung betrachteten und in der DB angelegten Aufträge mitsamt den darin enthaltenen Tätigkeiten und Tätigkeitsgruppen findet sich in Anhang A11.

tung wird definiert, welche Sensormesswertauswertungen zum Treffen einer Entscheidung genutzt werden. Auf Basis der angelegten Aufträge werden Entscheidungen formuliert, die den Bedarf zur Auftragsauslösung ermitteln. Es erfolgt ferner die Definition der Sensoren zur Bedarfsermittlung und deren Auswertungsart und -parameter. Die in Kapitel vier beschriebenen unterschiedlichen Entscheidungsarten, die Funktionsweise der opportunen Leistungserbringung sowie die Nutzung verschiedener Sensoren für mehrere Tätigkeiten werden betrachtet.¹⁴

Die Entscheidung 100 „Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle“ wird als MITTELWERT-Entscheidung mit einem, durch die Autorin definierten, Auslöseerfüllungsgrad von 80 % evaluiert. Die Entscheidung wird auf Grundlage von 19 Messwertauswertungen getroffen. Der Bedarf zur Leistungserbringung ist gegeben, wenn die betrachteten Sensormesswertauswertungen im Mittel zu 80 % erfüllt sind. Mit der Betrachtung dieser Entscheidung soll gezeigt werden, dass mehrere Sensormesswertauswertungen für eine Entscheidung und eine Tätigkeitsgruppe genutzt werden können. Wie in Abb. 5-7 zu erkennen ist, werden 19 verschiedene Sensormesswerte und deren Auswertungen genutzt, um zu entscheiden, ob die Unterhaltsreinigung der Eingangshalle zu erfolgen hat.

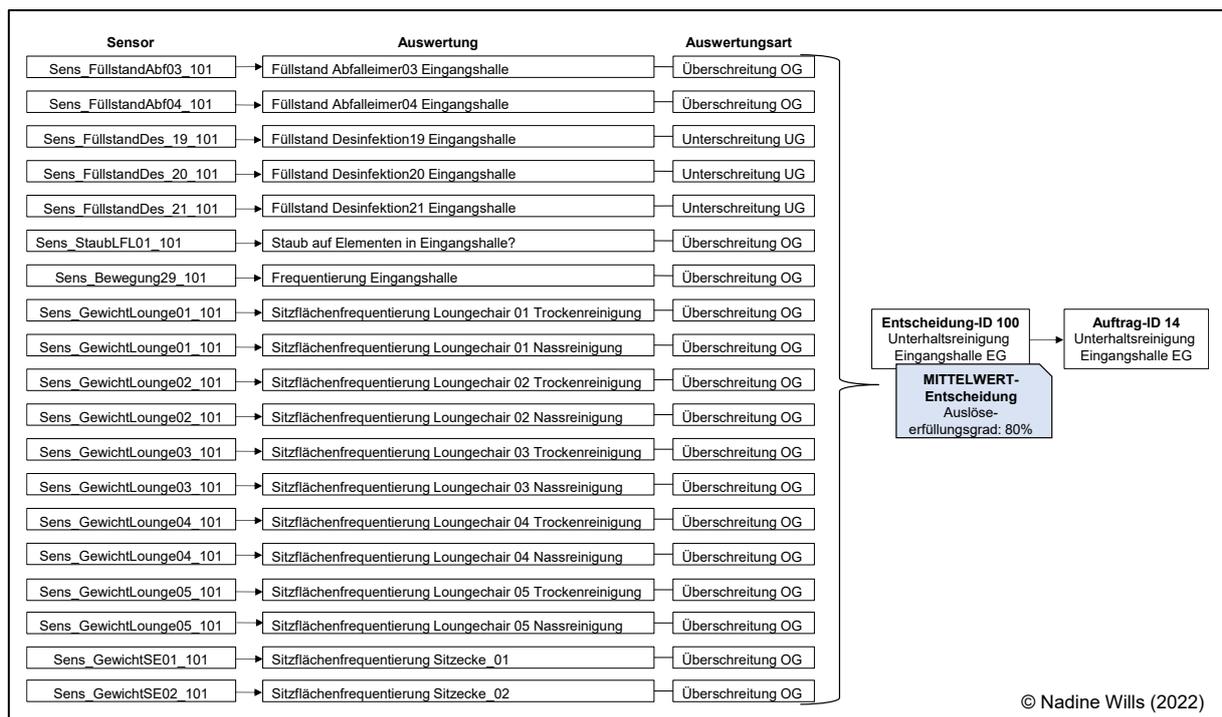


Abb. 5-7: Evaluierung mehrerer Sensoren für eine Entscheidung

Nach der Implementierung der Algorithmen und Entscheidungsarten in das Datenbanksystem wurde im Rahmen der Prüfung der Funktionsfähigkeit der Software die Entscheidung 100 zusätzlich als UND-, ODER- und MEHRHEITS-Entscheidung ausgeführt. Um die Funktionsfähigkeit der unterschiedlichen Entscheidungsarten zur Bedarfsermittlung nachzuweisen, sind

¹⁴ Eine Übersicht aller, in dieser Arbeit evaluierten Entscheidungen, opportunen EEG, Entscheidungsarten und für die Entscheidung genutzten Sensoren, OG und UG findet sich in Anhang A12.

die unterschiedlichen EEG-Verläufe in Anhang A13 dargestellt. Die in Kapitel vier benannten Entscheidungsarten wurden somit vollständig betrachtet und sind funktionsfähig.

Für Aufträge, die nur eine Tätigkeit umfassen wie z. B. das Entleeren von Abfalleimern wird zur Evaluierung jeweils eine Sensormesswertauswertung für die Bedarfsermittlung genutzt. Spendersysteme wie Hygiene-, Seifen- und Papierhandtuchspender und Abfallbehälter sind im Evaluierungsgebäude mit Sensoren ausgestattet. Die Füllstände der betreffenden Elemente werden zur direkten Bedarfsermittlung genutzt. Da in diesen Fällen keine weiteren Sensormesswerte zum Treffen einer Entscheidung nötig sind, werden diese Entscheidungen als MITTELWERT-Entscheidung getroffen, jeweils mit einem Auslöseerfüllungsgrad von 100 %.

In Abb. 5-8 ist dies exemplarisch für im Folgenden betrachteten Aufträge „Entleerung Abfalleimer WC-Damen“ und „Reinigung Urinal07 WC Herren EG“ dargestellt. Dabei wird jeweils exakt ein Element betrachtet, dessen Bedarf zur Leerung bzw. Reinigung durch einen Sensor ermittelt wird.

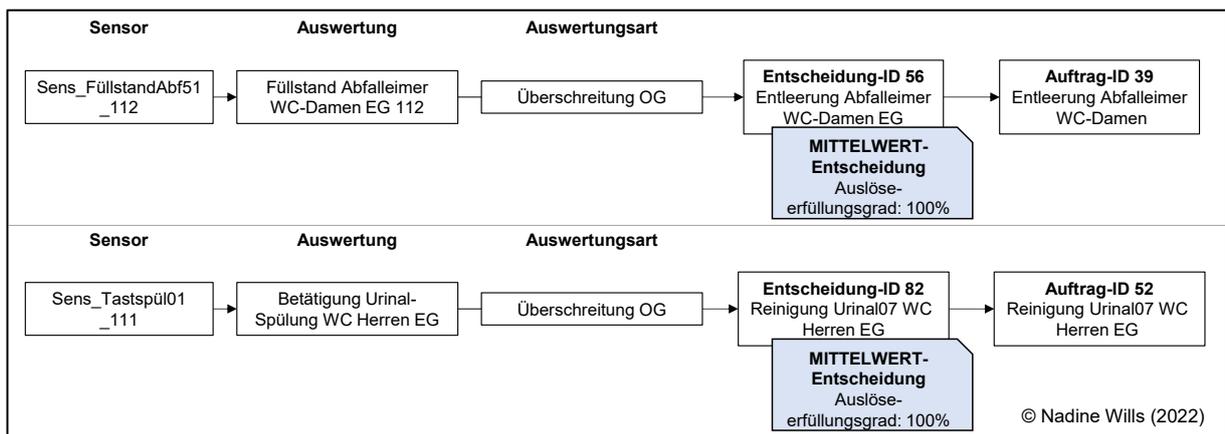


Abb. 5-8: Evaluierung eines Sensormesswerts für eine Entscheidung

Opportune EEG werden auf Grundlage territorialer Zusammenhänge definiert. Exemplarisch sei dies an der Befüllung von Spendersystemen in den Sanitärräumen erläutert: Ist der Bedarf zur Befüllung eines Seifen- oder Hygienespenders in den Sanitärräumen gegeben, so sollen die übrigen Spender in beiden Sanitärräumen ebenfalls befüllt werden, wenn dazu bereits ein Bedarf, d. h. ein EEG von 70 %, besteht.

Eine Übersicht aller Entscheidungen und Aufträge der Evaluierung befindet sich in Anhang A14.

Es sind im Folgenden die Elemente und Elementgruppen zu bestimmen, an denen Tätigkeiten zu erbringen sind. Die von den in der Evaluierung betrachteten Tätigkeiten betroffenen Elemente befinden sich in den Räumen: Eingangshalle EG, WC-Damen EG und WC-Herren EG.

Da die definierten Aufträge sowohl an einzelnen Elementen, z. B. Entleerung eines Abfallbehälters, sowie an mehreren Elementen, z. B. Unterhaltsreinigung Eingangshalle EG, zu erbringen sind, werden Elementgruppen gebildet. Alle Elemente, die sich in der Eingangshalle befinden, werden in der Elementgruppe „E1-Eingangshalle“ zusammengefasst. Damen-WCs und Herren-WCs unterscheiden sich in der Anzahl der Elemente in den Räumen. Daher sind auch hierfür zwei Elementgruppen zu bilden: „E10-Damen WC EG“ und „E11-Herren WC EG“. Nach der Definition von Elementgruppen hat die Zuordnung der Elemente zu diesen zu erfolgen. Die Elementgruppen können analog der Tätigkeitsgruppen als eine Vorlage für Aufträge genutzt werden, die alle Elemente dieser Elementgruppen betreffen. Eine Übersicht der Elemente in den Elementgruppen befindet sich in Anhang A15.

5.4 Durchführung der Simulation und Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulation werden analog der in der Einführung dieses Kapitels aufgeführten Evaluierungsziele nachfolgend dargestellt. Dabei wird in den folgenden Unterkapiteln zunächst die Bedarfsermittlung vorgenommen. Im Anschluss daran werden jeweils die Simulationsergebnisse WEIMAR-basierter Leistungserbringung den Simulationsergebnissen der verrichtungsorientierten Leistungserbringung gegenübergestellt.

5.4.1 Bedarfsermittlung

Die Ermittlung der Bedarfe zur Tätigkeitsausführung wird im Folgenden anhand von AEG und EEG nachgewiesen. Der Bedarf zur Leistungserbringung der Unterhaltsreinigung der Eingangshalle ist in Abb. 5-9 anhand des EEG dargestellt. In Anhang A16 befindet sich eine vergrößerte Darstellung des Verlaufs.

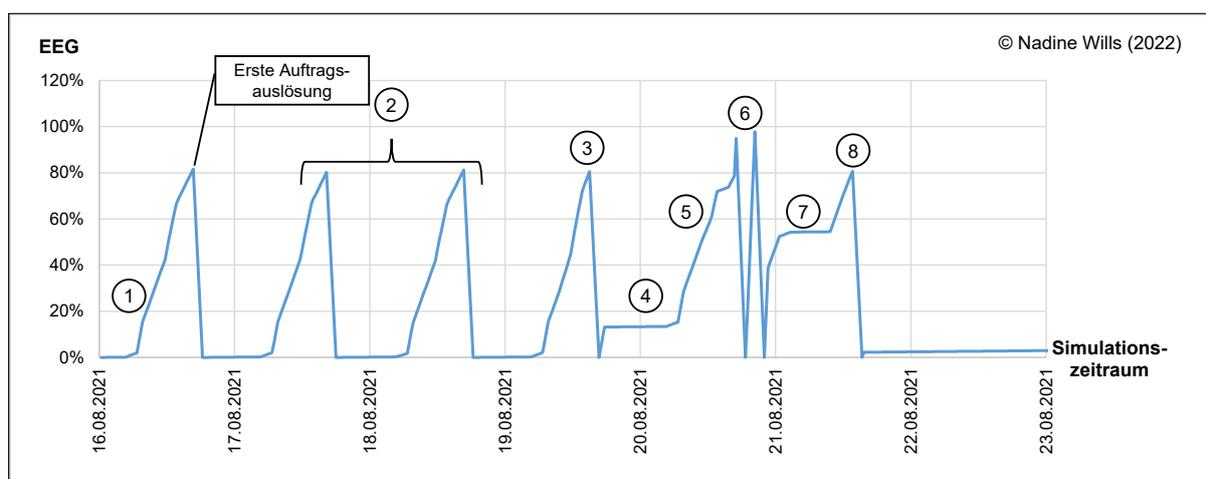


Abb. 5-9: EEG Unterhaltsreinigung Eingangshalle

In der Abbildung ist zu erkennen, dass der Bedarf zur Unterhaltsreinigung der Eingangshalle im Tagesverlauf des 16.08.2021 (1) ansteigt. In diesem Verlauf sind stärkere und schwächere

Anstiege enthalten, die sich auf das Geschehen im Gebäude beziehen. Die erste Auftragsauslösung erfolgt am 16.08.2021 um 16:40 Uhr mit dem Erreichen eines EEG für die MITTELWERT-Entscheidung von 80%. In den darauffolgenden zwei Tagen (2) finden keine außerplanmäßigen Ereignisse statt, was einen fast identischen Bedarfsverlauf bedingt. Am Tag der Bauarbeiten ist der Bedarf zur Leistungserbringung bereits um 15:00 Uhr gegeben (3). Nach Auftragsauslösung und Tätigkeitsausführung um 15:00 Uhr steigt der Bedarf wieder an, da sich noch Mitarbeiter im Gebäude befinden. Der Bedarf steigt bis zum Verlassen der Mitarbeiter auf ca. 13 % an (4) und bleibt über Nacht konstant. Am 20.08.2021 ist somit bereits zu Geschäftsbeginn ein Reinigungsbedarf von ca. 13 % vorhanden. Da die Mitarbeiter am Tag der Firmenfeier das Büro bereits zur Mittagszeit verlassen (5), ist hier in den frühen Nachmittagsstunden bis zum Eintreffen des Caterings und der ersten Gäste ein verminderter Bedarfsanstieg zu erkennen. Zu Beginn der Veranstaltung erfolgt ein stärkerer Bedarfsanstieg. Der Bedarf zur Reinigung ist um 17:00 Uhr gegeben, was eine Auftragsauslösung initiiert. Unter realen Umständen außerhalb der Simulation würde zu diesem Zeitpunkt keine Reinigung stattfinden, da die Durchführung aufgrund von Gästen im Gebäude kaum möglich ist. Die die Reinigung betreffende Entscheidung könnte durch den Modellnutzer für den Zeitraum der Firmenfeier inaktiv gesetzt werden. Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des entwickelten Modells auf Grundlage sich ändernder Parameter sind alle Entscheidungen, unabhängig der dadurch resultierenden Störung der Feier, aktiv. Aufgrund des hohen Personenaufkommens ist eine weitere Reinigung um 21:20 Uhr erforderlich (6). Während die ersten Personen die Veranstaltung verlassen, steigt der Bedarf nur noch schwächer an (7). Nach den Aufräumarbeiten am Samstag ist um 13:40 Uhr eine erneute Leistungserbringung erforderlich (8).

Während der EEG der Entscheidung, d. h. der „Gesamtbedarf“ über alle betrachteten Sensormesswertauswertungen maximal 80 % erreicht, so wie dies durch die Definition der Auslöseerfüllungsgrade definiert wurde, weisen die einzelnen Sensormesswertauswertungen andere Bedarfe (AEG) auf, wie in Abb. 5-10 und in Anhang A17 vergrößert dargestellt. Bedarfe einzelner Tätigkeiten sind in der Gesamtbetrachtung zu diesem Zeitpunkt bereits um ein Vielfaches überschritten oder noch gar nicht erreicht. Zum Zeitpunkt der Auftragsauslösung am 16.08.2021 um 16:40 Uhr ist der Bedarf zur Reinigung der Bodenfläche aufgrund der Flächenfrequentierung bereits zu 170 % gegeben. Die Grenzwerte zur Frequentierung einer Bodenfläche sind bei Auftragsauslösung immer überschritten.

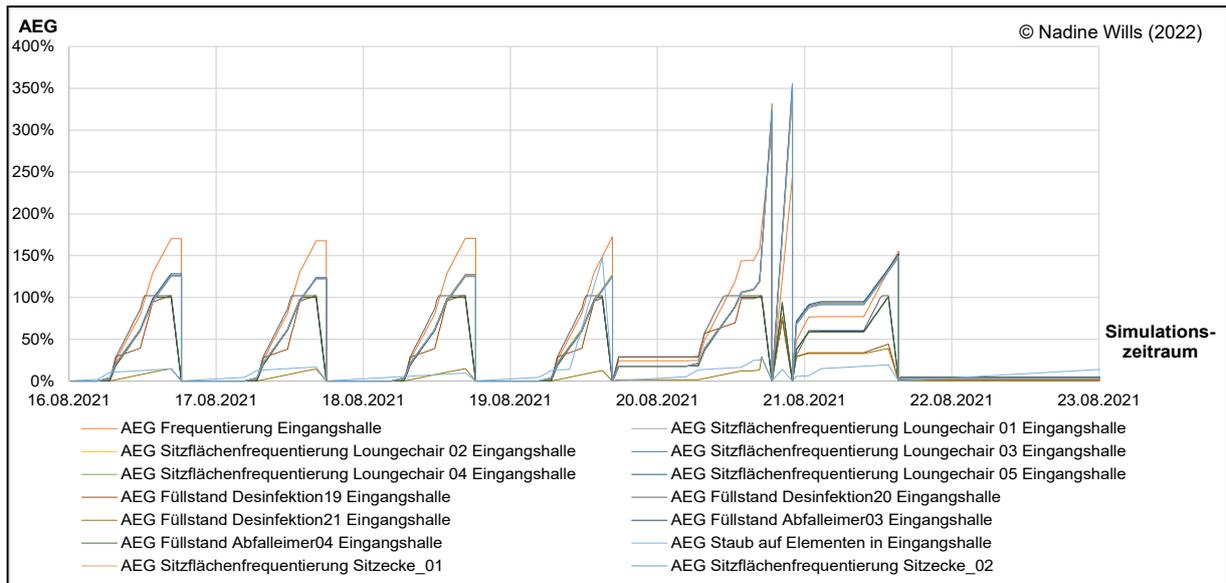


Abb. 5-10: AEG betrachteter Sensormesswerte für Entscheidung 100

In diesem Fall ist zu prüfen, ob der Zustand der Bodenfläche dem zulässigen Gesamteindruck und Qualitätskriterien entspricht. Ist dies der Fall, können die Grenzwerte im Modell hochgesetzt werden, sodass der Bedarf zur Reinigung einer Bodenfläche erst nach z. B. 300 Personen statt 200 Personen (bei trockenen Witterungsbedingungen) gegeben ist. Entspricht der Zustand der Bodenfläche nicht mehr dem zulässigen Gesamteindruck, ist die Reinigung der Bodenfläche aus der Gesamtentscheidung herauszunehmen und separat von den in der Unterhaltsreinigung enthaltenen Tätigkeiten auszuführen.

Ähnlich verhält sich der Bedarf zur Reinigung der Sitzmöbel in der Eingangshalle: Der Bedarf zur Reinigung ist zu den Zeitpunkten der Auftragsauslösung jedes Mal überstiegen, mit Ausnahme der Sitzecken. In Abb. 5-10 ist zu erkennen, dass die Frequenzierung der Sitzzecke_02 während des regulären Geschäftsbetriebs von Montag bis Mittwoch zum Zeitpunkt der Auftragsauslösungen im Schnitt nur 15 % beträgt. Bei der Durchführung der Unterhaltsreinigung werden die Sitzmöbel gereinigt, ohne dass ein tatsächlicher Bedarf besteht. Am Tag der Bauarbeiten ist jedoch eine verstärkte Sitzflächenfrequenzierung zu registrieren, was sich dadurch begründen lässt, dass die Handwerker ihre Materialien während der Baumaßnahmen auf den Sitzflächen zwischengelagert haben. Ebenso lässt sich an diesem Tag ein Bedarf zur Entstaubung von Einrichtungsgegenständen von 150 % feststellen. Am Tag der Firmenfeier ist ein überdurchschnittlicher Reinigungsbedarf der Sitzflächen zu erkennen. Der Bedarf zur Entleerung der Abfallbehälter in der Eingangshalle ist bereits am 16.08.2021 um 14:40 Uhr gegeben. Die Auftragsauslösung und Leistungserbringung zwei Stunden später hat zur Folge, dass die Abfallbehälter überlaufen.

Die Bedarfsermittlung auf Grundlage des WEIMAR ist hiermit hinreichend nachgewiesen.

5.4.2 Gegenüberstellung WEIMAR-basierte und verrichtungsorientierte Reinigung

Um Auswirkungen WEIMAR-basierter gegenüber verrichtungsorientierter Reinigung aufzuzeigen, wird die Unterhaltsreinigung der Eingangshalle in Simulation 1 und Simulation 2 betrachtet. Die Simulationseingangsparameter sind identisch. Für Simulation 2 wurde in der Software eine automatische Auftragsauslösung täglich um 18:00 Uhr, ohne Berücksichtigung der Bedarfe implementiert. Die Gegenüberstellung der EEG WEIMAR-basierter und verrichtungsorientierter Reinigung (vgl. Abb. 5-11) zeigt, dass der Bedarf zur Unterhaltsreinigung jeweils bereits vor 18:00 Uhr gegeben ist.

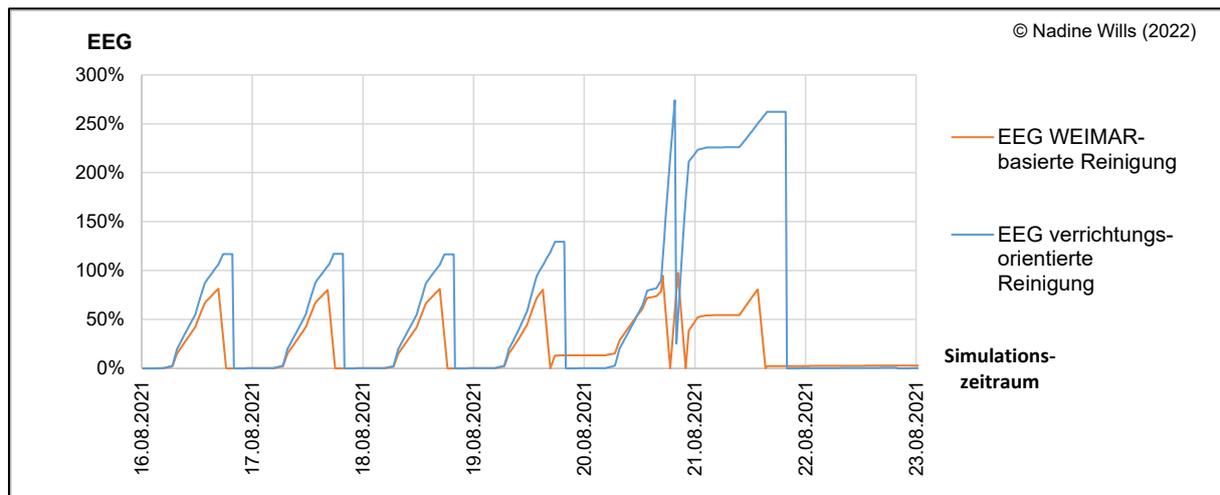


Abb. 5-11: EEG WEIMAR-basierte und verrichtungsorientierte Reinigung

Bei der WEIMAR-basierten Reinigung wurden die Bedarfe durch die Definition des EEG i.H.v. 80 % zuvor definiert wurden. Der Gesamtbedarf zur Ausführung einer Reinigung übersteigt diesen daher nicht. Bei der WEIMAR-basierten Reinigung werden während der Veranstaltung weitere Aufträge ausgelöst, sodass ein zulässiger Gesamtzustand der Eingangshalle gewährleistet ist. Bei der verrichtungsorientierten Leistungserbringung erfolgt die Reinigung täglich um 18:00 Uhr. Der Bedarf liegt dabei bei ca. 116 %. Am Tag der Firmenfeier steigt der Bedarf zur Reinigung auf bis zu ca. 273 % an.

Im Folgenden wird die Bedarfsermittlung für Entscheidungen mit einer Tätigkeit geprüft und die Ergebnisse beider Simulationen gegenübergestellt. Die betrachteten Entscheidungen sind die Reinigung der Urinale im Herren-WC sowie die Entleerung der Abfallbehälter im Damen-WC. In den folgenden Abbildungen werden die Simulationsergebnisse der WEIMAR-basierten und der verrichtungsorientierten Leistungserbringung jeweils in einem Diagramm dargestellt und erläutert. In Abb. 5-12 ist der Bedarf der EEG zur Entleerung des Abfalleimers im Damen-WC dargestellt.

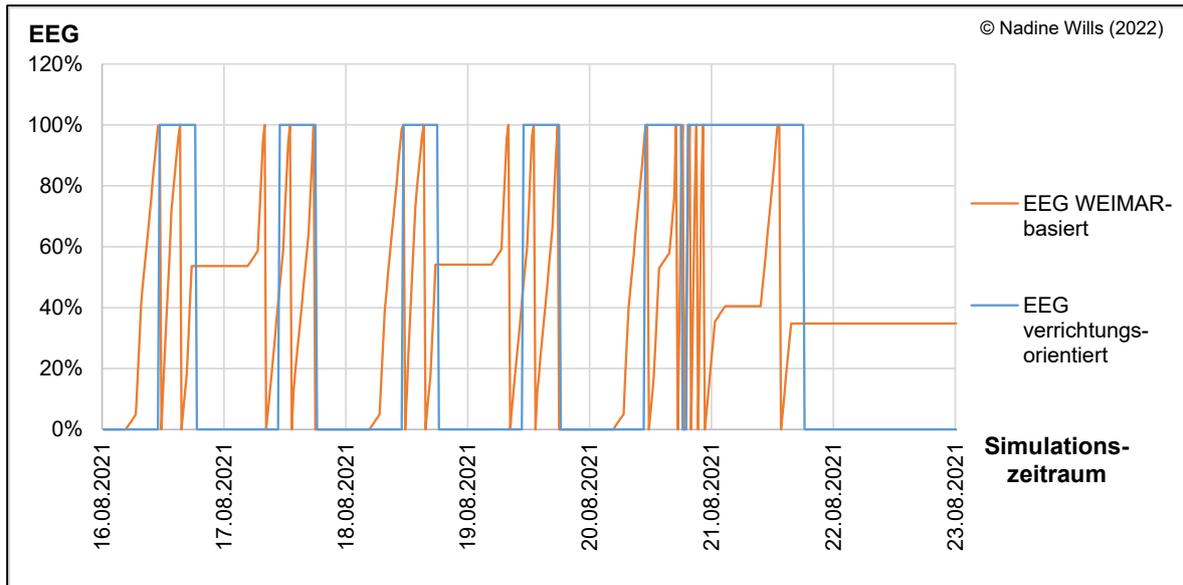


Abb. 5-12: WEIMAR-basierte u. verrichtungsorientierte Entleerung Abfall WC Damen

Die Entleerung der Abfallbehälter hat bei der WEIMAR-basierten Reinigung mehrmals täglich zu erfolgen. Erfolgt die Tätigkeitsausführung nach verrichtungsorientierter Leistungsbeauftragung einmal täglich, so entsteht ein Überbedarf, d. h. der Abfallbehälter läuft über. Am Tag der Firmenfeier führt die verrichtungsorientierte Leistungserbringung zu einer starken Verschmutzung des Sanitärraums aufgrund des überquellenden Abfalls.

Die Simulationen der Entscheidungen 81 bis 83, die die Reinigung der Urinale und des WC-Beckens im Herren-WC betrachten, weisen alle ähnliche Ergebnisse auf, weshalb im Folgenden das Ergebnis der Reinigung eines Urinals genauer betrachtet wird. In Abb. 5-13 ist der Bedarf zur Reinigung des Urinals dargestellt.

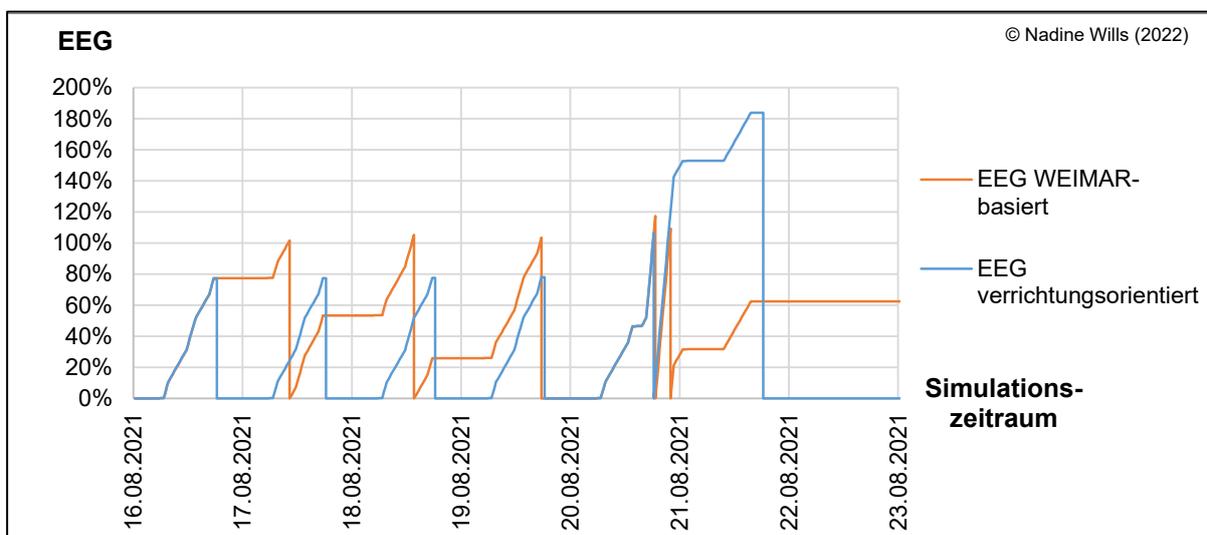


Abb. 5-13: WEIMAR-basierte u. verrichtungsorientierte Reinigung Urinale Herren WC

Bei der WEIMAR-basierten Leistungserbringung erfolgen im betrachteten Zeitraum fünf Reinigungen, wobei eine tägliche Reinigung nicht erforderlich ist. Am Tag der Firmenfeier besteht aufgrund erhöhter Frequentierung der Sanitärräume ein erhöhter Bedarf an Reinigung, der durch Auftragsauslösung und Leistungserbringung befriedigt wird. Ein Bedarf zur Reinigung bei täglicher Reinigung (verrichtungsentlastet) um 18:00 Uhr ist erst zu ca. 80 % gegeben. Bei der verrichtungsorientierten Reinigung entsteht während der Firmenfeier ein Reinigungsbedarf von ca. 187 %.

5.4.3 Beauftragung und Dokumentation

Die Beauftragung und Ausführung von Tätigkeiten bei der WEIMAR-basierten Leistungserbringung erfolgt auf Basis von Entscheidungen. Damit der Auftragnehmer die Tätigkeit ausführen kann, sind die räumliche Angabe, die Art der Tätigkeit sowie die Materialien der Oberflächen relevant. In Abb. 5-14 sind die Informationen, die der Auftragnehmer bei Auftragserteilung erhält, abgebildet. Zur Darstellung wird die Entscheidung 100 „Unterhaltsreinigung der Eingangshalle“ in der Simulation 1 durchgeführt und die Ergebnisse betrachtet.

```

+-----+
| Echtzeit: 20:04:26 = Simulation: Mo. 16.08.21 16:40:01 | 1
+-----+
AUFTRAG 2
(ID=14)
+-----+
Sehr geehrte/r Max Mustermann 3
folgender Auftrag ist auszuführen:
Tätigkeiten:
4
-Hygienspender befüllen
-Textilbeläge saugen inkl. Fleckenentfernung
-Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-,
Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen
je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.
-Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
-Wandeinbauten, Wandschalter, Steckdosen, Bedienelemente je nach Beschaffenheit nass/feucht reinigen
-Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen,
Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
-Spinnweben entfernen
-Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen, Leuchten nass reinigen

Elemente:
-DesinfektionMS_19 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss) 5
(Materialien: HEWI - White, HEWI-40 Chrome, HEWI - XA Stainless steel satin)
-DesinfektionMS_20 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: HEWI - White, HEWI-40 Chrome, HEWI - XA Stainless steel satin)
-DesinfektionMS_21 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: HEWI - White, HEWI-40 Chrome, HEWI - XA Stainless steel satin)
-Abfallbehälter_03 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Metall - Edelstahl satiniert)
-Abfallbehälter_04 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Metall - Edelstahl satiniert)
-Loungechair_01 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Viccarbe - Anidodized Black RAL 9005, Viccarbe - Upholstery - Brown)
-Loungechair_02 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Viccarbe - Anidodized Black RAL 9005, Viccarbe - Upholstery - Brown)
-Loungechair_03 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Viccarbe - Anidodized Black RAL 9005, Viccarbe - Upholstery - Brown)
-Loungechair_04 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Viccarbe - Anidodized Black RAL 9005, Viccarbe - Upholstery - Brown)
-Loungechair_05 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Viccarbe - Anidodized Black RAL 9005, Viccarbe - Upholstery - Brown)
-Sitzecke_01 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Metall - Edelstahl satiniert, Textil - weiß, Textil - Leinen beige)
-Aktenschrank_86 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Holz Kiefer)
-Aktenschrank_87 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Holz Kiefer)
-Aktenschrank_88 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Holz Kiefer)
-Boden_30 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Fußboden - Teppich braun)
-Sitzecke_02 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Metall - Edelstahl satiniert, Textil - weiß, Textil - Leinen beige)
-Boden_29 in Raum Eingangshalle EG (Erdgeschoss)
(Materialien: Fußboden Flooring Vinyl)

Besondere Hinweise:
-DesinfektionMS_19: Achtung: Befüllung mit Desinfektionsmittel für Allergiker (Descoderm) 6
-DesinfektionMS_20: Achtung: Befüllung mit Desinfektionsmittel für Allergiker (Descoderm)
-DesinfektionMS_21: Achtung: Befüllung mit Desinfektionsmittel für Allergiker (Descoderm)

Freundliche Grüße
Ihr Wills-Modell
© Nadine Wills (2022)

```

Abb. 5-14: Auftragsnotation

Es ist zu erkennen, dass der Zeitpunkt der Auftragsauslösung (1), die Auftragsnummer (2), die Ansprache des Dienstleisters (3), die Beschreibung der auszuführenden Tätigkeiten (4), der Ort und die Elemente der Tätigkeitsausführung (5) sowie besondere Hinweise (6) in der Beauftragung enthalten sind.

Nach erfolgter Tätigkeitsausführung hat dessen Erledigungsmeldung zu erfolgen, was, wie in Abb. 5-15 dargestellt ist, erfolgt.

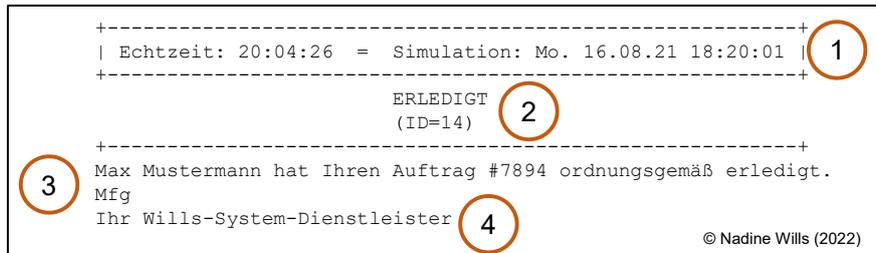


Abb. 5-15: Auftragserledigung

Die Benachrichtigung der Erledigung kann auf verschiedene Arten erfolgen, wie in Kapitel 4.3 erläutert. In der Evaluierung erfolgt die Erledigung eines Auftrags simulativ nach Ablauf der Soll-Bearbeitungsdauer.

Der Zeitpunkt der Quittierung (1), die Auftrags-ID (2), der ausführende Dienstleister, d. h. der Ansprechpartner (3) sowie die Auftragsnummer, die zu Dokumentationszwecken in die Auftragsliste übernommen wird, sind dargestellt.

In der Auftragsliste sind alle Aufträge enthalten, die durch das WEIMAR ausgelöst und quittiert wurden. In Abb. 5-16 ist die Auftragsliste des Auftrags „Unterhaltsreinigung Eingangshalle EG“ aus der DB dargestellt.

tbl_Auftragsliste										© Nadine Wills (2022)
ID_AufLiEin	Auftrags_I	Dienstleist	SimulierteStartZeit	SimulierteEndZeit	Erledigt	Opportur	AusloesendeEntsc			
8377	14	2	16.08.2021 16:40:01	16.08.2021 18:20:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8378	14	2	17.08.2021 16:20:01	17.08.2021 18:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8379	14	2	18.08.2021 16:40:01	18.08.2021 18:20:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8380	14	2	19.08.2021 15:00:01	19.08.2021 16:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8381	14	2	20.08.2021 17:00:01	20.08.2021 18:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8382	14	2	20.08.2021 20:20:01	20.08.2021 22:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100
8383	14	2	21.08.2021 13:40:01	21.08.2021 15:20:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				100

Abb. 5-16: Auszug Auftragsliste

In der Liste kann nachvollzogen werden, dass zwischen simulierter Start- und Endzeit der Auftragsauslösung ca. 1,5 Stunden liegen. Dieser Zeitraum stellt die Bearbeitungsdauer des Auftrags dar. Ebenfalls liefert die Auftragsliste die Information, dass die Aufträge nicht opportun ausgelöst wurde und auf der Entscheidung 100 basieren.

Die Funktionsfähigkeit der Auftragsauslösung, Quittierung und Dokumentation der Bearbeitungsdauer ist hiermit bestätigt.

5.4.4 Opportune Leistungserbringung

Zur Prüfung der Funktionsfähigkeit der opportunen Leistungserbringung werden Simulation 1 und Simulation 3 ausgeführt und die Simulationsergebnisse anschließend gegenübergestellt. Die Simulationen nutzen identische Eingangsparameter. Es werden die Entscheidungen der Befüllung von Seifen- und Hygienespendern in den Sanitärräumen betrachtet. Die Befüllung der Spender ist jeweils als eine MITTELWERT-Entscheidung, basierend auf je einer Sensormesswertauswertung und einem Auslöseerfüllungsgrad von 100 % definiert.

In Tabelle 5-2 sind die relevanten Auftrags-IDs sowie dazugehörigen Auftragsbezeichnungen sowie die Aufträge-auslösenden Entscheidungs-IDs dargestellt. In den folgenden Ausführungen werden die IDs verwendet.

Auftrags-ID	Auftragsbezeichnung	Entscheidungs-ID
56	Befüllung des Seifenspenders-05 WC Herren EG	50
58	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG	46
60	Befüllung des Seifenspenders-11 WC Damen EG	52
88	Befüllung des Hygienespenders-35 WC Damen	48

Tabelle 5-2: Auftrags-IDs und Auftragsbezeichnungen

In Simulation 1 sollen die Spender in dem jeweils anderen Sanitärraum ebenfalls befüllt werden, wenn dazu bereits ein Bedarf von 70 % besteht. Simulation 3 verfügt über keine Verknüpfungen opportuner Entscheidungen.

Die Funktionsfähigkeit der opportunen Auftragsauslösung in der Simulationsumgebung ist durch die Markierung der Aufträge als „opportun“ in der Auftragsliste gegeben. In Abb. 5-17 ist die Auftragsliste der Simulation 1 mit opportunen Zuordnungen abgebildet.

ID_AufLiEir	Auftrags_	Dienstleis:	SimulierteStartZe	SimulierteEndZeit	Erledigt	Opportu	AusloesendeEnt
8350	56	2	20.08.2021 21:40:01	20.08.2021 22:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50
8346	58	2	18.08.2021 14:20:01	18.08.2021 14:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	46
8348	58	2	20.08.2021 18:40:01	20.08.2021 19:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	46
8349	60	2	20.08.2021 21:40:01	20.08.2021 22:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	52
8345	88	2	18.08.2021 14:20:01	18.08.2021 14:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48
8347	88	2	20.08.2021 18:40:01	20.08.2021 19:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48

Abb. 5-17: Auftragsliste auf Basis opportuner Entscheidungen

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, werden die Aufträge 56 und 58 ausschließlich opportun ausgelöst. Der Auftrag 58 wird am 18.08.2021 und 20.08.2021 jeweils opportun zu Auftrag 88 ausgelöst. Die erste opportune Auslösung des Auftrags 58 erfolgt am 18.08.2021 um 14:40 Uhr auf Basis der Entscheidung 88. Zu diesem Zeitpunkt beträgt der EEG der Entscheidung 58 ca. 81 %, und liegt somit oberhalb des definierten opportunen EEG von 70 %.

Wird nun die Auftragsliste von Simulation 3, d. h. die Betrachtung von Entscheidungen ohne opportune Verknüpfungen, betrachtet (vgl. Abb. 5-18), so ist zu erkennen, dass die Aufträge 58 und 88 ebenfalls zweimal ausgelöst werden.

ID_AufLiEir	Auftrag	Dienstl.	SimulierteStartZeit	SimulierteEndZeit	Erledigt	Opportur	AusloesendeEntsch
5139	58	2	19.08.2021 10:20:01	19.08.2021 10:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46
5141	58	2	20.08.2021 21:20:01	20.08.2021 21:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46
5142	60	2	20.08.2021 21:40:01	20.08.2021 22:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	52
5138	88	2	18.08.2021 14:20:01	18.08.2021 14:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48
5140	88	2	20.08.2021 18:40:01	20.08.2021 19:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48

Abb. 5-18: Auftragsliste auf Basis nicht opportuner Verknüpfungen

Die Betrachtung der Zeitpunkte der Auslösungen verdeutlicht jedoch, dass die Reinigungsfachkraft bei nicht opportuner Beauftragung vier Wegestrecken zu absolvieren hat, wohingegen bei opportuner Beauftragung nur zwei Wegestrecken entstehen. Auftrag 56 wird bei nicht opportuner Verknüpfung nicht ausgelöst. Da die diesen Auftrag begründende Entscheidung am 20.08.2021 jedoch bereits einen EEG von mindestens 70 % zeigt, resultiert aus der nicht opportunen Verknüpfung, dass eine Beauftragung zeitnah erfolgen wird. Daraus resultieren erneute Wegestrecken für die Reinigungsfachkraft.

In Abb. 5-19 sind die EEG der betrachteten Entscheidungen dargestellt.

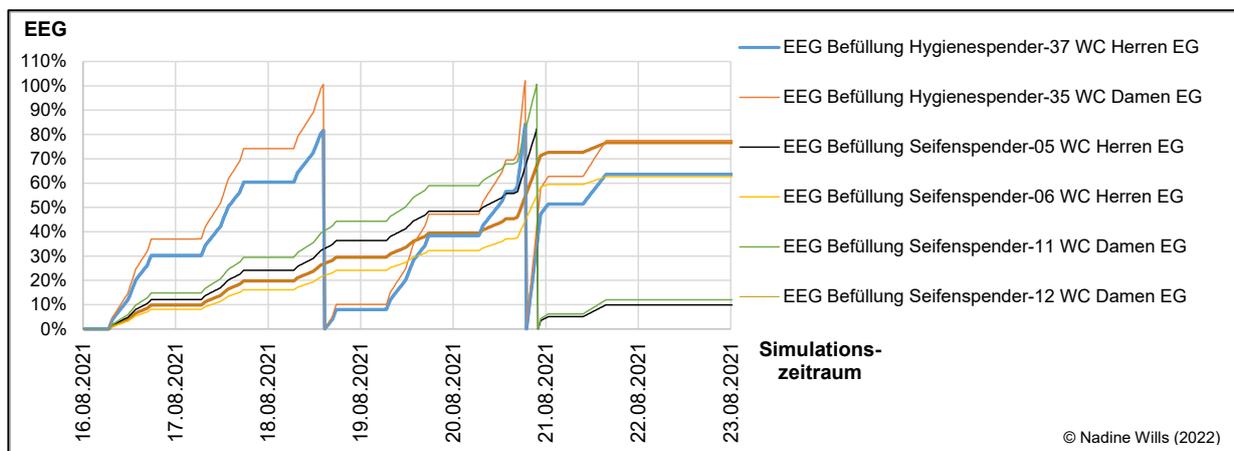


Abb. 5-19: EEG opportuner Leistungsbeauftragung

Der Nachweis, dass opportune Leistungserbringung im WEIMAR realisiert werden kann, ist somit erfolgt.

5.4.5 Verfügbarkeit der Elemente der Leistungserbringung

Zur Evaluierung der Verfügbarkeit von Räumen und den darin enthaltenen Elementen auf die Leistungserbringung soll die Eingangshalle im Simulationszeitraum zwischen dem 18.08.2021 um 16:20 Uhr bis zum 20.08.2021 um 08:00 Uhr aufgrund von Bauarbeiten nicht verfügbar sein. Eine Reinigung soll in diesem Zeitraum nicht erfolgen. Der Raum wird daher in der DB

auf „nicht verfügbar“ gesetzt. In der Auftragsliste (vgl. Abb. 5-20) ist zu erkennen, dass im Zeitraum der nicht Verfügbarkeit der Eingangshalle keine Aufträge ausgelöst werden.

ID_AufLiEini	Auftrags	Dienstle	StartZeit	EndZeit	SimulierteStartZeit	SimulierteEndZeit	Erledigt	Temp	Opportun	AusloesendeEnt
6438	14	1	04.09.2021 16:31:30	04.09.2021 16:31:30	16.08.2021 16:00:01	16.08.2021 17:40:01	<input checked="" type="checkbox"/>	16.08.2021 17:32:25	<input type="checkbox"/>	100
6439	14	1	04.09.2021 16:31:34	04.09.2021 16:31:35	17.08.2021 15:40:01	17.08.2021 17:20:01	<input checked="" type="checkbox"/>	17.08.2021 17:12:25	<input type="checkbox"/>	100
6440	14	1	04.09.2021 16:31:38	04.09.2021 16:31:38	18.08.2021 13:20:01	18.08.2021 15:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	18.08.2021 14:52:25	<input type="checkbox"/>	100
6441	14	1	04.09.2021 16:33:21	04.09.2021 16:33:21	20.08.2021 08:40:01	20.08.2021 10:20:01	<input checked="" type="checkbox"/>	20.08.2021 10:12:25	<input type="checkbox"/>	100
6442	14	1	04.09.2021 16:33:22	04.09.2021 16:33:23	20.08.2021 17:20:01	20.08.2021 19:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	20.08.2021 18:52:25	<input type="checkbox"/>	100
6443	14	1	04.09.2021 16:33:23	04.09.2021 16:33:23	20.08.2021 19:20:01	20.08.2021 21:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	20.08.2021 20:52:25	<input type="checkbox"/>	100
6444	14	1	04.09.2021 16:33:23	04.09.2021 16:33:23	20.08.2021 21:20:01	20.08.2021 23:00:01	<input checked="" type="checkbox"/>	20.08.2021 22:52:25	<input type="checkbox"/>	100

Abb. 5-20: Auftragsliste bei Nicht-Verfügbarkeit der Eingangshalle

In Abb. 5-21 ist der Bedarf zur Durchführung der Unterhaltsreinigung dargestellt. Erkennbar ist, dass der Bedarf, d. h. der EEG, während des Zeitraums die zuvor definierte Bedarfsgrenze aufgrund der Bauarbeiten und einhergehenden Staubentwicklung von 100 % deutlich übersteigt. Unmittelbar, nachdem der Raum wieder verfügbar ist, wird der Auftrag zur Reinigung ausgelöst und ausgeführt. Während der Nicht-Verfügbarkeit eines Raums werden die Aufträge trotz bestehenden Bedarfs nicht ausgelöst.

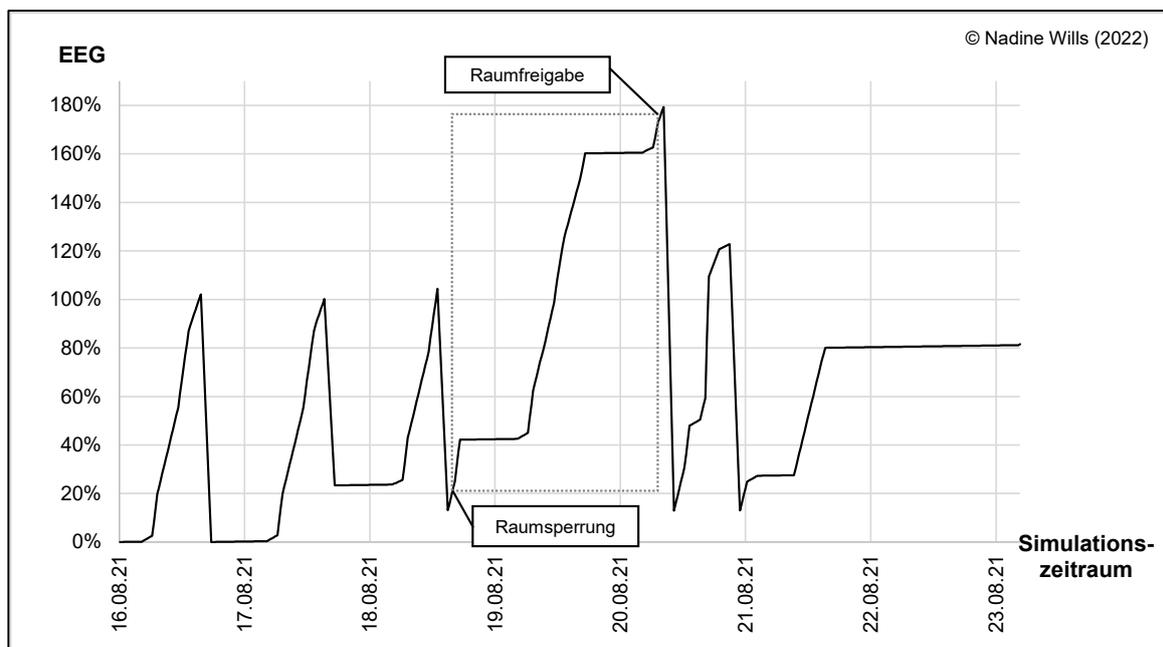


Abb. 5-21: EEG bei Nicht-Verfügbarkeit von Räumen und Elementen

5.4.6 Zusammenfassende Betrachtung der Simulationen

Die durchgeführten Simulationen weisen folgende Ergebnisse auf:

1. Der Bedarf einer Leistungserbringung kann durch Sensormesswerte ermittelt, Aufträge können ausgelöst und quittiert werden. Dabei können Entscheidungen auf Grundlage eines oder mehrerer Sensoren getroffen werden. Entscheidungen können die Ausführung einer oder mehrerer Tätigkeiten initiieren.
2. Opportune Leistungserbringung bei bereits bestehenden Bedarfen ist möglich.

3. Auftragnehmer erhalten bei Auftragsauslösung die für die Tätigkeitsausführung relevanten Informationen: Ort und Art der Tätigkeitsausführung, Oberflächenmaterialien sowie ergänzende Hinweise.
4. Die Verfügbarkeit von Räumen und Elementen wird im WEIMAR berücksichtigt. Eine Störung des Geschäftsbetriebs aufgrund eines bestehenden Bedarfs zur Leistungserbringung wird auf diese Weise verhindert.

Leistungen, die nur eine Tätigkeit enthalten und direkt von einem dem Element zugehörigen Sensor ausgelöst werden, führen erwartungsgemäß dazu, dass der Bedarf sofort nach Erreichen des Grenzwerts und der Leistungserbringung gestillt ist. Werden mehrere Sensoren und Auswertungen für eine Entscheidung gebündelt, können einzelne Bedarfe der Leistungserbringung über- oder unterschritten werden. In diesem Fall ist eine Bewertung der Gesamtsituation vorzunehmen. Sind einzelne Bedarfe, d. h. einzelne AEG, stark überschritten, obwohl der Gesamtzustand des zu reinigenden Raums den Qualitätsanforderungen des Auftraggebers entspricht, können Grenzwerte verändert werden. Hierbei ist für jeden Fall eine Einzelentscheidung vorzunehmen.

Durch die opportune Leistungserbringung werden Tätigkeiten vor dem eigentlichen Bestehen eines Bedarfs erbracht, jedoch nur in einem Maß, in dem in einem absehbaren Zeitraum eine Auftragsauslösung erfolgt wäre. In Abhängigkeit der Qualitätsstandards einer Leistungserbringung, also z. B. ob ein Raum besondere Reinigungskriterien erfüllen muss, kann die Anzahl der Auftragsauslösungen erhöht oder verringert werden. Im betrachteten Simulationszeitraum werden mehr Aufträge ausgelöst, als dies ohne opportune Leistungserbringung der Fall ist. Direkte und offensichtliche Einsparungen im Sinne von Personal- oder Materialeinsparungen gehen aus der opportunen Leistungserbringung der Evaluation nicht hervor. Allerdings reduziert sich die Anzahl der Auslösezeitpunkte durch die opportune Auftragsauslösung. Durch die zeitgleiche Vergabe mehrerer, territorial benachbarter Tätigkeiten könnte eine Reduzierung von Wegzeiten erzielt werden, die jedoch in der Simulation nicht quantifiziert werden. Ferner ist davon auszugehen, dass eine Qualitätssteigerung aufgrund häufigerer und dabei bedarfsorientierter Reinigung eintritt.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse WEIMAR-basierter und verrichtungsorientierter Leistungserbringung (Simulation 1 und Simulation 2) hat bereits gezeigt, dass bei verrichtungsorientierter Leistungserbringung der Zeitpunkt der Tätigkeitsausführung nicht dem Zeitpunkt eines bestehenden Bedarfs entspricht. Unter der Annahme, dass bei einer verrichtungsorientierten Leistungserbringung im Simulationszeitraum Tätigkeiten sechs Mal wöchentlich ausgeführt werden (mit Ausnahme der Nassreinigung von Sitzmöbeln), ist in der Gegenüberstellung der Anzahl ausgelöster Aufträge der WEIMAR-basierten und verrichtungsorientierten Simulation (vgl. Abb. 5-22 und Anhang A18 für vergrößerte Darstellung) zu erkennen, dass die Anzahl der beauftragten Tätigkeiten voneinander abweichen.

Im betrachteten Simulationszeitraum wurden für das gesamte Simulationsobjekt 260 Aufträge der WEIMAR-basierten Leistungserbringung und 327 Aufträge basierend auf verrichtungsorientierter Leistungserbringung ausgelöst. Wird die reine Bearbeitungsdauer der beauftragten Tätigkeiten auf Grundlage von Leistungskennziffern der Gebäudereinigung¹⁵ summiert, werden für die WEIMAR-basierte Reinigung 16,36 Stunden und für die verrichtungsorientierte Reinigung 20,58 Stunden erbracht, woraus eine Einsparung von 20,5 % resultiert. Auch, wenn die Reinigungsfachkraft Spendersysteme bei der täglichen Reinigung um 18:00 Uhr nicht auffüllt, da diese noch ausreichend Inhalt besitzen, so hat die Prüfung trotzdem zu erfolgen, was Zeitressourcen beansprucht.¹⁶

In der Einleitung dieser Arbeit wurde aufgeführt, dass der Auftragnehmer bei der klassischen bedarfsorientierten Leistungserbringung dazu verpflichtet ist, den Bedarf einer Leistung zu erkennen. Dies kann auch in der trivialen Überprüfung des Vorhandenseins eines Bedarfs bestehen, was wiederum Personalkapazitäten in Anspruch nimmt. Die opportune Leistungserbringung erweist sich an dieser Stelle als probater Ansatz für die Einsparung von Wegezeiten der Reinigungsfachkräfte.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das WEIMAR funktionsfähig ist. Die Ermittlung eines Bedarfs, Beauftragung und Quittierung einer Leistung ist durch den Einsatz des WEIMAR möglich.

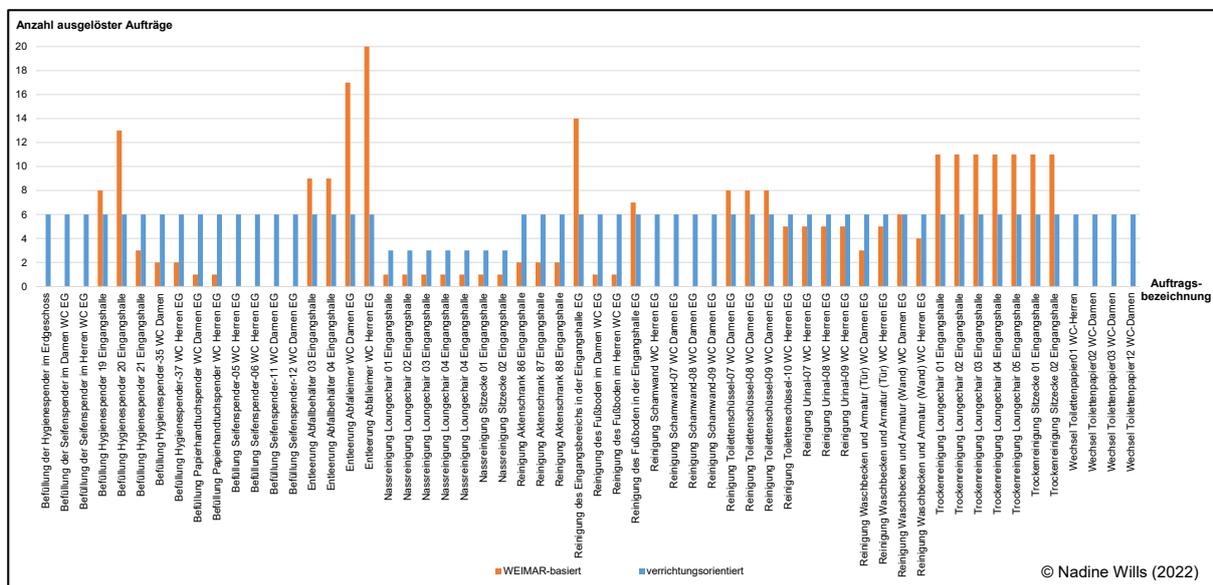


Abb. 5-22: Anzahl WEIMAR-basierter und verrichtungsorientierter Auftragsauslösungen

¹⁵ Die Referenzwerte des Bundesinnungsverbands des Gebäudereiniger-Handwerkes wurden auf die Flächengrößen und Anzahl der Elemente des Evaluierungsgebäudes angepasst (Bundesinnungsverband des Gebäudereiniger-Handwerkes o.J.).

¹⁶ Der Berechnung liegt die Annahme zugrunde, dass der Zeitaufwand von Füllstands- und Zustandsüberprüfungen der Bearbeitungszeit zur Tätigkeitsausführung entspricht.

6 Fazit und Ausblick

Mit dieser Arbeit wurde aufgezeigt, dass die Bedarfsorientierung, die bereits in vielen Bereichen der Gesellschaft unverzichtbar ist, im Dienstleistungssektor des Gebäudebetriebs noch Defizite aufweist. Die Nachteile verrichtungsorientierter Leistungserbringung in Kombination mit nur in Ansätzen erforschten integralen Ansätzen von BIM und Sensortechnologien im FM verdeutlichen, dass die sukzessive Digitalisierung des Bau- und Immobiliensektors hinter den Ansprüchen der derzeitigen Gesellschaft liegt. Der Wunsch, Leistungen im Gebäudebetrieb bedarfsorientiert zu erbringen, um auf diese Weise Personal, Kosten und Material zu sparen, erfordert vom Auftragnehmer zunächst das Erkennen eines Bedarfs. Während der manuellen Ermittlung von Bedarfen, z. B. durch Sichtkontrollen, kann durch die ausführende Fachkraft nicht zusätzlich zeitgleich eine Leistungserbringung erfolgen. Die Anforderungen zur Leistungserbringung von Auftragnehmern in der Gebäudenutzungsphase sind in der Planungsphase teilweise bekannt, werden jedoch in nicht adäquater Weise zur Verfügung gestellt. Die durch digitale Technologien generierte hohe Informationsdichte in der Planungs- und Errichtungsphase erfordert ein vielfaches Aufbereiten von Informationen. Herkömmliche Ansätze der sensorbasierten Zustandserfassung von gebäudetechnischen Anlagen lassen den Dienstleistungsbereich des FM außer Acht, was zur Nutzung proprietärer und kundenspezifisch angefertigter Softwareprodukte führt. Die Komplexität eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM ergibt sich durch die Vielzahl von FM-Leistungen sowie die Heterogenität von Gebäuden.

6.1 Zusammenfassung der Arbeit

Wie in den Teilforschungsfragen dieser Arbeit zusammenfassend aufgezeigt, stellen die derzeitigen Arten der FM-Leistungserbringung suboptimale Situationen für Auftragnehmer und Auftraggeber dar. Durch die Darstellung des Forschungsstands im zweiten Kapitel dieser Arbeit wurden die in der Einleitung aufgeführten Probleme der aktuellen Art der FM-Leistungserbringung sowie der dafür erforderlichen, jedoch unzureichenden, Informationsbereitstellung wissenschaftlich unterlegt. Die Definition der relevanten Informationen einer bedarfsorientierten FM-Leistungserbringung wurde im dritten Kapitel auf Grundlage einer Literatur- und Richtlinienrecherche sowie einer quantitativen Analyse von Leistungsverzeichnissen ausgearbeitet. Die Formulierung von FM-Anforderungen an die BIM-basierte Gebäudeplanungs- und Errichtungsphase verdeutlicht, welche Informationen im Gebäudelebenszyklus durch verschiedene Akteure zur Verfügung zu stellen sind. Die Strukturierung relevanter Informationen zu einem Informationsmodell in Form einer Datenbank im dritten Kapitel bildet die Grundlage zur Ermittlung des Bedarfs einer Leistungserbringung. Im vierten Kapitel dieser Arbeit erfolgt die Betrachtung des Bedarfs sowie die Entwicklung von Algorithmen zur Normierung unterschiedli-

cher Sensormesswertdaten, zum Treffen von Entscheidungen und zur opportunen Tätigkeitsausführung. Die Darstellung des Programmablaufs in Form von Struktogrammen beschreibt, wie mithilfe der entwickelten Entscheidungsalgorithmen auf das WEIMAR zugegriffen wird, um auf diese Weise den Bedarf einer Leistungserbringung durch den Einsatz von Sensortechnologien zu ermitteln. In Kapitel 5 wird das entwickelte WEIMAR in Form einer Simulation geprüft. Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass das WEIMAR mitsamt den Algorithmen zur Bedarfsermittlung, Auftragsauslösung und -quittierung funktionsfähig ist. Ebenfalls erfolgt die Evaluierung der Anwendbarkeit opportuner Leistungserbringung.

Das entwickelte WEIMAR stellt eine Alternative der derzeitigen Formen der Leistungserbringung dar und bildet eine Möglichkeit, wie die Leistungserbringung im FM auf Grundlage von Sensortechnologien bedarfsorientiert und zweckbedingt vorausschauend erfolgen kann.

Das generische Datenmodell kann in beliebige relationale DB skalierbar eingebunden werden. Durch die allgemeine Beschreibung der Berechnungsmethoden und Algorithmen ist das entwickelte Modell offen und beliebig erweiterbar. So sind beispielsweise weitere Entscheidungsarten, Sensorabfragen oder Notationsmedien in die Algorithmen implementierbar. Das Modell kann auf beliebigen Software-Plattformen implementiert werden.

6.2 Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick

Die Entwicklung eines Modells bedarfsorientierter Leistungserbringung im FM kann nur ein aktueller, wenngleich auch grundlegender Meilenstein für eine bedarfsorientierte Leistungserbringung im FM sein. Die Fokussierung auf den tatsächlichen Bedarf einer Leistungserbringung ermöglicht eine effektive Form der Gebäudebewirtschaftung, z. B. durch vermeidbare Kosten oder die Steigerung der Kundenzufriedenheit. Mit dem Modell verfügen Auftragnehmer über das Potenzial, den Anforderungen einer Bedarfsorientierung gerecht zu werden, ohne während des laufenden Gebäudebetriebs Ressourcen für Personalaufwand, Koordination und Planung zu investieren.

Unter Einsatz des entwickelten Modells und derzeit am Markt verfügbarer Sensortechnologien können allgemeine Bedarfe ermittelt werden. In der Simulation wurden beispielsweise keine partiellen Verunreinigungen, z. B. durch ein herunterfallendes Glas, betrachtet. Im Hinblick auf aktuelle, interdisziplinäre Forschungsaktivitäten im Bereich von Sensortechnologien ist jedoch davon auszugehen, dass Sensoren zur Identifikation partieller Verunreinigungen entwickelt werden und für das Modell zukünftig nutzbar sein könnten.

Das entwickelte Modell wurde am Beispiel der Reinigungs- und Pflegedienste erläutert und evaluiert. Die Funktionsfähigkeit wurde in Form einer Simulation getestet. Eine lohnende Aufgabe für die nahe Zukunft zur Überprüfung der vollumfänglichen Anwendbarkeit in der Praxis ist die Implementierung des Modells in bestehende CAFM-Systeme und die Modellanwendung an realen Gebäuden durchzuführen. Eine vollständige Antwort auf die Frage, ob opportune

Leistungserbringung eine effizientere Gebäudebewirtschaftungseffizienz darstellt, kann nicht gegeben werden. Das entwickelte WEIMAR stellt jedoch eine Möglichkeit dar, den Gebäudebetrieb effizienter zu gestalten.

Es wurde nachgewiesen, dass Aufträge zweckmäßig vorausschauend ausgelöst und Tätigkeiten somit vor dem Auftreten des eigentlichen Bedarfs ausgeführt werden können, insofern territorial beieinanderliegende Tätigkeiten ausgeführt werden. Die praktische Erprobung, ob die durch die Fachkraft des Auftragnehmers eingesparten Wegstrecken zu einer Effizienzsteigerung führen, ist eine wünschenswerte Aufgabe für künftige Fallstudien. Ebenso sollten in diesem Zusammenhang Untersuchungen zur Anwendbarkeit tätigkeits-gleichartiger Opportunitätsbereiche durchgeführt werden. Weitere Studien über die Priorisierung von Tätigkeiten, d. h. die Gewichtung einzelner Bedarfe, sind denkbar und wünschenswert.

Die Implementierung der Gebäudeinformationen in die DB erfolgte in der Arbeit durch das Einlesen von Tabellen. Um die erforderlichen Informationen im Sinne der BIM-Methode nicht nur definieren, sondern auch offen austauschen zu können, sollten sich zukünftige Forschungsaktivitäten mit der Entwicklung einer Model-View-Definition (MVD) zum Datenaustausch der in der Arbeit entwickelten Gebäudeinformationen befassen. Auf diese Weise sollte ein Austausch der definierten Informationen im offenen Datenaustauschformat IFC künftig realisierbar sein.

Auch die Visualisierung der Bedarfe in digitalen Gebäudemodellen stellt eine Aufgabe für zukünftige Forschungsaktivitäten dar. Auf diese Weise kann der Bedarf einer Leistungserbringung sowie die Bedarfsermittlung unmittelbar im digitalen Gebäudemodell dargestellt werden. Ferner kann die in dieser Arbeit entwickelte Simulation als Grundlage zu Optimierungszwecken in der Praxis genutzt werden. Dafür sollten weitere Faktoren die ausführenden Fachkräfte betreffend, z. B. Wegzeiten zwischen dem Ort der Tätigkeitsausführung sowie dem Ausgangsaufenthaltort der Fachkraft, ermittelt und in das Modell implementiert werden. Auf diese Weise ist die Entwicklung optimaler Wegeführung der Fachkräfte in Verbindung mit zu definierenden Opportunitätsbereichen denkbar.

7 Literatur

- (Abel 2018)** Abel, Jochen: *Outputorientierte Leistungsbeschreibung*. In: Kaiser, Christoph; Nusser, Jens; Schrammel, Florian (Hrsg.): *Praxishandbuch Facility Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 117–140
- (Aengenvort, Dickmann 2014)** Aengenvort, Klaus; Dickmann, Marcel: *Immobiliendaten kompatibel austauschen*. In: F.A.Z.-Institut für Management, Markt- und Medieninformationen GmbH (Hrsg.): *Facility Management 2014/15: Das Branchenjahrbuch*. Frankfurt am Main: F.A.Z.-Institut, 2014, S. 118–123
- (Akbarnezhad et al. 2014)** Akbarnezhad, Ali; Ong, Khim Chye Gary; Chandra, Lado Riannevo; (Keine Angabe): *Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling*. In: *Automation in Construction* 37 (2014), S. 131–144
- (Al Dakheel et al. 2020)** Al Dakheel, Joud; Del Pero, Claudio; Aste, Niccolò; Leonforte, Fabrizio: *Smart buildings features and key performance indicators: A review*. In: *Sustainable Cities and Society* 61 (2020), S. 102328
- (Alda, Hirschner 2016)** Alda, Willi; Hirschner, Joachim: *Projektentwicklung in der Immobilienwirtschaft*. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016
- (Alisch, Arentzen, Winter 2004)** Alisch, Katrin; Arentzen, Ute; Winter, Eggert: *Bedarf*. In: Alisch, Katrin; Arentzen, Ute; Winter, Eggert (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2004, S. 332
- (Altmannshofer 2020)** Altmannshofer, Robert: *Marktübersicht CAFM-Software 2021: Implementierung und Datenerfassung /GEFMA, Deutscher Verband für Facility Management e.V.* Merching, 2020
- (Arndt 2018)** Arndt, Alexander: *Der Facility Management-Vertrag*. In: Kaiser, Christoph; Nusser, Jens; Schrammel, Florian (Hrsg.): *Praxishandbuch Facility Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 141–241
- (Atta, Talamo 2020)** Atta, Nazly; Talamo, Cinzia: *Digital Transformation in Facility Management (FM). IoT and Big Data for Service Innovation*. In: Daniotti, Bruno; Gianinetto, Marco; Della Torre, Stefano (Hrsg.): *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. Cham: Springer International Publishing, 2020 (Research for Development), S. 267–278
- (Baldwin 2019)** Baldwin, Mark: *Der BIM-Manager: Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement*. 2. überarbeitete Auflage. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH, 2019 (Building SMART)
- (Ballard 2021)** Ballard, Allison: *A Sensible Approach: Using sensor tech as a tool for safe reopening*. In: *Facility Management Journal* 31 (2021), Nr. 1, S. 26–31
- (Bargstädt, Steinmetzger 2008)** Bargstädt, Hans-Joachim; Steinmetzger, Rolf: *Grundlagen des Baubetriebswesens: Skriptum zur Vorlesung*. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2008
- (Bartels 2020)** Bartels, Niels: *Strukturmodell zum Datenaustausch im Facility Management*. 1st ed. 2020: Springer Vieweg, 2020 (Baubetriebswesen und Bauverfahrenstechnik)
- (Baumer Holding AG 2021)** Baumer Holding AG: *Funktionsweise und Technologie von Lichtschranken und Lichttastern*. Verfügbar unter: <https://www.bau->

mer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-lichtschranken-und-lichttastern/a/Know-how_Function_Lichtschranken-Lichttaster – Zugriff am: 17.05.2021

- (Beale, Uchiyama, Clifton 2021)** Beale, Martin; Uchiyama, Hiromasa; Clifton, John Chris: *IoT Evolution: What's Next?* In: IEEE Wireless Communications (IEEE Wireless Communications) 28 (2021), Nr. 5, S. 5–7
- (Becerik-Gerber et al. 2012)** Becerik-Gerber, Burcin; Jazizadeh, Farrokh; Li, Nan; Calis, Gulben: *Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management*. In: Journal of Construction Engineering and Management 138 (2012), Nr. 3, S. 431–442
- (Beetz, Borrmann, Weise 2015)** Beetz, Jakob; Borrmann, André; Weise, Matthias: *Prozessgestützte Definition von Modellinhalten*. In: Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hrsg.): Building Information Modeling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 129–147
- (Bender et al. 2018)** Bender, Thomas; Härtig, Michael; Jaspers, Erik; Krämer, Markus; May, Michael; Schlundt, Maik; Turianskyj, Nino: *Building Information Modeling*. In: May, Michael (Hrsg.): CAFM-Handbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 295–324
- (Bergische Universität Wuppertal 2021)** Bergische Universität Wuppertal: *BIM-Anwendungen //Grundlagen*. Verfügbar unter: <https://biminstitut.uni-wuppertal.de/de/forschung/download-bereich/bim-anwendungen.html>. – Aktualisierungsdatum: 2021 – Zugriff am: 29.09.2021
- (Bernstein 2014)** Bernstein, Herbert: *Messelektronik und Sensoren*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014
- (Bibri 2018)** Bibri, Simon Elias: *The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability*. In: Sustainable Cities and Society 38 (2018), S. 230–253
- (BMVI 2015)** BMVI: *Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*. Berlin, 2015
- (BMVI 2019)** BMVI: *Bundesregierung treibt Digitalisierung des Bauwesens voran: BMVI und BMI starten gemeinsames Kompetenzzentrum*. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/051-scheuer-bim-kompetenzzentrum.html>. – Aktualisierungsdatum: 28.06.2019 – Zugriff am: 05.05.2021
- (Bogenstätter 2008)** Bogenstätter, Ulrich: *Property management und facility management*. München: Oldenbourg, 2008
- (Borrmann et al. 2015a)** Borrmann, André; Beetz, Jakob; Koch, Christian; Liebich, Thomas: *Industry Foundation Classes – Ein herstellerunabhängiges Datenmodell für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks*. In: Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hrsg.): Building Information Modeling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 83–127
- (Borrmann et al. 2015b)** Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob: *Einführung*. In: Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hrsg.): Building Information Modeling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 1–21
- (Borrmann et al. 2019)** 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: *Steckbrief der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle: Teil 6*. Berlin, 2019

- (Braun, Pütter 2007)** Braun, Hans-Peter; Pütter, Johannes: *Facility Management: Erfolg in der Immobilienbewirtschaftung*. 5., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007 (Facility management)
- (buildingSMART International Ltd. 2021)** buildingSMART International Ltd.: *Information Delivery Manual (IDM)*. Verfügbar unter: <https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/> – Zugriff am: 23.09.2021
- (Bundesinnungsverband des Gebäudereiniger-Handwerks o.J.)** Bundesinnungsverband des Gebäudereiniger-Handwerks: *Leistungskennziffern im Gebäudereiniger-Handwerk: Ein Wegweiser für Ausschreibungen und Auftragsvergaben*. o.J.
- (CAFM Ring e.V. 2017)** CAFM Ring e.V.: *Erste BIM-Umfrage liefert interessante Zahlen*. *Facility Management*. Verfügbar unter: http://www.facility-management.de/artikel/fm_Erste_BIM-Umfrage_liefert_interessanten_Zahlen_2753712.html. – Aktualisierungsdatum: 2017 – Zugriff am: 03.12.2021
- (Cavka, Staub-French, Poirier 2017)** Cavka, Hasan Burak; Staub-French, Sheryl; Poirier, Erik A.: *Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management*. In: *Automation in Construction* 83 (2017), S. 169–183
- (Chen 1976)** Chen, Peter Pin-Shan: *The entity-relationship model—toward a unified view of data*. In: *ACM Transactions on Database Systems* 1 (1976), Nr. 1, S. 9–36
- (Chen et al. 2014)** Chen, Jianli; Bulbul, Tanyel; Taylor, John E.; Olgun, Guney: *A Case Study of Embedding Real-time Infrastructure Sensor Data to BIM*. In: Castro-Lacouture, Daniel; Irizarry, Javier; Ashuri, Baabak (Hrsg.): *Construction Research Congress 2014*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2014, S. 269–278
- (Cigada et al. 2010)** Cigada, Alfredo; Moschioni, Giovanni; Vanali, Marcello; Caprioli, Alessandro: *The measurement network of the San Siro Meazza Stadium in Milan: origin and implementation of a new data acquisition strategy for structural health monitoring*. In: *Experimental Techniques* 34 (2010), Nr. 1, S. 70–81
- (Cigolini et al. 2008)** Cigolini, Roberto; Fedele, Lorenzo; Garetti, Marco; Macchi, Marco: *Recent advances in maintenance and facility management*. In: *Production Planning & Control* 19 (2008), Nr. 4, S. 279–286
- (DGUV-REGEL 101-018)** DGUV-Regel 101-018. 2001-10. *Umgang mit Reinigungs- und Pflegemitteln*
- (DGUV-REGEL 101-605)** DGUV-Regel 101-605. 2020-02. *Branche Gebäudereinigung*
- (Dias, Ergun 2020)** Dias, Priscila Daher Russo; Ergun, Semiha: *Owner requirements in as-built BIM deliverables and a system architecture for FM-specific BIM representation*. In: *Canadian Journal of Civil Engineering* 47 (2020), Nr. 2, S. 215–227
- (Dibley et al. 2011)** Dibley, Michael; Li, Haijiang; Miles, John; Rezgui, Yacine: *Towards intelligent agent based software for building related decision support*. In: *Advanced Engineering Informatics* 25 (2011), Nr. 2, S. 311–329

- (Dibley et al. 2012)** Dibley, Michael; Li, Haijiang; Rezgui, Yacine; Miles, John: *An ontology framework for intelligent sensor-based building monitoring*. In: *Automation in Construction* 28 (2012), S. 1–14
- (Dibley et al. 2013)** Dibley, Michael; Li, Haijiang; Rezgui, Yacine; Miles, John: *Software agent reasoning supporting non-intrusive building space usage monitoring*. In: *Computers in Industry* 64 (2013), Nr. 6, S. 678–693
- (Diederichs 2006)** Diederichs, Claus Jürgen: *Immobilienmanagement im Lebenszyklus: Projektentwicklung, Projektmanagement, Facility Management, Immobilienbewertung. 2.*, erweiterte und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006
- (DIN 13015)** DIN 13015. 2017-02. *Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen*
- (DIN 1319-1)** DIN 1319-1. 1995-01. *Grundlagen der Meßtechnik Teil 1: Grundbegriffe*
- (DIN 19650-3)** DIN 19650-3. 2021-03. *Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 3: Betriebsphase der Assets (ISO 19650-3:2020); Deutsche Fassung EN ISO 19650-3:2020*
- (DIN 32736)** DIN 32736. 2000-08. *Gebäudemanagement*
- (DIN 32736-BI.1)** DIN 32736-BI.1. 2000-08. *Gebäudemanagement Begriffe und Leistungen Bl. 1*
- (DIN 32835-1)** DIN 32835-1. 2007-01. *Technische Produktdokumentation – Dokumentation für das Facility Management –*
- (DIN 32835-2)** DIN 32835-2. 2007-01. *Technische Produktdokumentation – Dokumentation für das Facility Management*
- (DIN 66261)** DIN 66261. 11-1985. *Sinnbilder für Strukturgramme nach Nassi-Shneiderman*
- (DIN EN 13306)** DIN EN 13306. 2018-02. *Instandhaltung-Begriffe der Instandhaltung*
- (DIN EN 13549)** DIN EN 13549. 10-2001. *Reinigungsdienstleistungen - Grundanforderungen und Empfehlungen für Qualitätssysteme*
- (DIN EN 15221-5)** DIN EN 15221-5. 2011-12. *Facility Management*
- (DIN EN ISO 19650-1)** DIN EN ISO 19650-1. 2019-08. *Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze (ISO 19650-1:2018)*
- (DIN EN ISO 41011)** DIN EN ISO 41011. 2019-04. *Facility Management – Begriffe (ISO 41011:2017)*
- (Dixit et al. 2019)** Dixit, Manish K.; Venkatraj, Varusha; Ostadalimakhmalbaf, Mohammadreza; Pariafsai, Fatemeh; Lavy, Sarel: *Integration of facility management and building information modeling (BIM)*. In: *Facilities* 37 (2019), 7/8, S. 455–483
- (Edirisinghe, Woo 2020)** Edirisinghe, Ruwini; Woo, Jin: *BIM-based performance monitoring for smart building management*. In: *Facilities ahead-of-print* (2020), ahead-of-print
- (EN 15221-4)** EN 15221-4. 2012-12. *Facility Management – Teil 4: Taxonomie, Klassifikation und Strukturen im Facility Management;*

- (Farghaly et al. 2018)** Farghaly, Karim; Abanda, Fonbeyin Henry; Vidalakis, Christos; Wood, Graham: *Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability*. In: Journal of Management in Engineering 34 (2018), Nr. 4, S. 4018012
- (Fauth, Bargstädt 2019)** Fauth, Judith; Bargstädt, Hans-Joachim: *The building permit - how to standardize traditionally established processes*. In: International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) (Hrsg.): *The Evolving Metropolis : IABSE Symposium Report Volume 114*. New York: Curran Associates, Inc., 2019, S. 1561–1565
- (Fialho, Codinhoto, Fabricio 2020)** Fialho, Beatriz Campos; Codinhoto, Ricardo; Fabricio, Márcio Minto: *BIM and IoT for the AEC Industry: A systematic literature mapping*. In: Iberoamerican Society of Digital Graphics ((SIGraDi)) (Hrsg.): *Proceedings of the 24th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 2020*, S. 392–399
- (Fuchs-Kittowski 2000)** Fuchs-Kittowski, Klaus: *Wissens-Ko-Produktion: Verarbeitung, Verteilung und Entstehung von Informationen in kreativ lernenden Organisationen*. Verfügbar unter: <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~graebe/Texte/Fuchs-02.pdf>
- (GEFMA 100-1)** GEFMA 100-1. 2004-07. *Facility Management*
- (GEFMA 100-2)** GEFMA 100-2. 2004-07. *Facility Management*
- (GEFMA 190)** GEFMA 190. 2004-01. *Betreiberverantwortung im Facility Management*
- (GEFMA 198-1)** GEFMA 198-1. 2013-11. *Dokumentation im Facility Management*
- (GEFMA 198-2)** GEFMA 198-2. 11-2013. *Dokumentation im Facility Management - Einzeldokumente (Dokumentenliste)*
- (GEFMA 2020)** GEFMA: *GEFMA – Gewachsene Verlässlichkeit mit Zukunftsstrategie*. Verfügbar unter: <https://www.gefma.de/der-verband/> – Zugriff am: 22.11.2020
- (GEFMA 400)** GEFMA 400. 2013-03. *Computer Aided Facility Management CAFM*
- (GEFMA 470)** GEFMA 470. 2017-09. *Austausch digitaler Daten im FM - Grundlagen und technische Einordnung*
- (GEFMA 520)** GEFMA 520. 2019-06. *Standardisierung von Leistungsverzeichnis und Vertrag Facility Services (Standardleistungsbuch Facility Services)*
- (GEFMA 922-01)** GEFMA 922-01. 2017-02. *Übersicht zu Daten & Dokumenten im Lebenszyklus des Facility Managements*
- (GEFMA 924)** GEFMA 924. 2017-09. *Datenmodell, Kataloge und Ordnungsrahmen für das FM*
- (GEFMA 926)** GEFMA 926. 2019-12. *Building Information Modeling im Facility Management*
- (Giel, Issa 2016)** Giel, Brittany; Issa, Raja R. A.: *Framework for Evaluating the BIM Competencies of Facility Owners*. In: Journal of Management in Engineering 32 (2016), Nr. 1, S. 4015024
- (Gomes-Jauregui et al. 2019)** Gomes-Jauregui, Valentin; Manchado, Christina; Del-Castillo-Igardea, Jesús; Otero, Cesar: *Quantitative evaluation of overlaying discrepancies in mobile augmented reality applications for AEC/FM*. In: *Advances in Engineering Software* 127 (2019), S. 124–140
- (Gondring, Wagner 2018a)** Gondring, Hanspeter; Wagner, Thomas: *11 Ausschreibung und Vergabe von Facility Management-Leistungen*. In: Gondring, Hanspeter;

- Wagner, Thomas (Hrsg.): Facility Management: Verlag Franz Vahlen GmbH, 2018, S. 353–383
- (Gondring, Wagner 2018b)** Gondring, Hanspeter; Wagner, Thomas: *2 Begriff und organisatorische Einordnung des Facility Managements*. In: Gondring, Hanspeter; Wagner, Thomas (Hrsg.): Facility Management: Verlag Franz Vahlen GmbH, 2018, S. 13–35
- (Gondring, Wagner 2018c)** Gondring, Hanspeter; Wagner, Thomas: *Flächenmanagement*. In: Gondring, Hanspeter; Wagner, Thomas (Hrsg.): Facility Management: Verlag Franz Vahlen GmbH, 2018, S. 207–238
- (GUV-I 659)** GUV-I 659. 1999-06. *Gebäudereinigungsarbeiten*
- (Hanhart 2008)** Hanhart, Daniel: *Mobile Computing und RFID im Facility Management: Anwendungen, Nutzen und serviceorientierter Architekturvorschlag*. Berlin: Springer, 2008 (Facility management)
- (Hansemann, Hübner 2021)** Hansemann, Thomas; Hübner, Christof: *Gebäudeautomation: Kommunikationssysteme mit EIB/KNX, LON und BACnet*. 4. Aufl. München: Hanser, 2021
- (Hauptmann, Lucklum 2003)** Hauptmann, Peter; Lucklum, Ralf: *Sensoren - Aktueller Stand und Herausforderungen*. Magdeburger Wissenschaftsjournal, ISSN 0949-5304, 2003, Heft 1-2 (2003)
- (Heinrich, Linke, Glöckler 2017)** Heinrich, Berthold; Linke, Petra; Glöckler, Michael: *Grundlagen Automatisierung: Sensorik, Regelung, Steuerung*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017 (Lehrbuch)
- (Hellerforth 2006)** Hellerforth, Michaela: *Handbuch Facility Management für Immobilienunternehmen*. Berlin: Springer, 2006
- (Helmus et al. 2020a)** Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Feller, Daiki John; Klusmann, Brian; Hort, Gamze; Meng, Zhiwei; Kelm, Agnes (Mitarb.); Zibell, Michael (Mitarb.); Eilers, Maike (Mitarb.); Pütz, Carla (Mitarb.); Kesting, Holger (Mitarb.); Koch to Krax, Nils (Mitarb.); Kaufhold, Matthias (Mitarb.); Radisch, Tom (Mitarb.) : *Anhang 2: Template zum Leitfaden zur Strukturierung und Aufbau von BIM-Anwendungen*. Wuppertal, 2020
- (Helmus et al. 2020b)** Helmus, Manfred; Meins-Becker, Anica; Feller, Daiki John; Klusmann, Brian; Hort, Gamze; Meng, Zhiwei; Kelm, Agnes (Mitarb.); Zibell, Michael (Mitarb.); Eilers, Maike (Mitarb.); Pütz, Carla (Mitarb.); Kesting, Holger (Mitarb.); Koch to Krax, Nils (Mitarb.); Kaufhold, Matthias (Mitarb.); Radisch, Tom (Mitarb.) : *Anwendungsfall Reinigungsmanagement Merkmale*. Wuppertal, 2020
- (Hering, Schönfelder 2018)** Hering, Ekbert; Schönfelder, Gert: *Sensoren in Wissenschaft und Technik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018
- (Heß 2004)** Heß, Peter: *Bestandsdatenerfassung und Dokumentation*. In: Lutz, Ulrich; Galenza, Kerstin (Hrsg.): *Industrielles Facility Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, S. 93–128
- (Hirschner, Hahr, Kleinschrot 2018)** Hirschner, Joachim; Hahr, Henric; Kleinschrot, Katharina: *Facility Management im Hochbau*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018
- (Hofmann, Jaspers, May 2018)** Hofmann, Marco; Jaspers, Erik; May, Michael: *Big Data und Analytics im Facility Management*. In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 377–398

- (Höpping 2019)** Höpping, Ingo: *Assoziation, Aggregation und Komposition*. Verfügbar unter: <https://info-wsf.de/assoziation-aggregation-und-komposition/>. – Aktualisierungsdatum: 2019 – Zugriff am: 02.10.2021
- (Hossenfelder, Zscheile, Köhler 2019)** Hossenfelder, Jörg; Zscheile, Enrico; Köhler, Benedikt: *Digitales Facility Management: Sensorik in Immobilie, Industrie und Infrastruktur als Basis für das digitale Facility Management*. Mindelheim, 2019
- (Hu et al. 2018)** Hu, Zhen-Zhong; Tian, Pei-Long; Li, Sun-Wei; Zhang, Jian-Ping: *BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase*. In: *Advances in Engineering Software* 115 (2018), S. 1–16
- (Hunt 2016)** Hunt, Glenn: *Comprehensive Facility Operation & Maintenance Manual*. Verfügbar unter: <https://www.wbdg.org/facilities-operations-maintenance/comprehensive-facility-operation-maintenance-manual>. – Aktualisierungsdatum: 09.12.2016 – Zugriff am: 21.11.2020
- (ISO/IEC 20924)** ISO/IEC 20924. 2021-03. *Informationstechnik - Internet der Dinge (IoT) - Vokabular*
- (Jaspers et al. 2018)** Jaspers, Erik; Härtig, Michael; Hofmann, Marco; May, Michael; Turianskyj, Nino: *IoT im FM*. In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 337–375
- (Jedlitzke et al. 2018)** Jedlitzke, Marco; Kalweit, Thomas; Marchionini, Michael; May, Michael; Opić, Marko; Schlundt, Maik: *IT-Grundlagen für Facility Manager*. In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 153–209
- (Jeon et al. 2018)** Jeon, Yunwan; Cho, Chanho; Seo, Jongwoo; Kwon, Kyunglag; Park, Hansaem; Oh, Seungkeun; Chung, In-Jeong: *IoT-based occupancy detection system in indoor residential environments*. In: *Building and Environment* 132 (2018), S. 181–204
- (Kappes 2013)** Kappes, Martin: *Netzwerke und Netzwerkprotokolle*. In: Kappes, Martin (Hrsg.): *Netzwerk- und Datensicherheit*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013, S. 107–139
- (Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2018)** Karlsruher Institut für Technologie: *Katalog der BIM-Anwendungsfälle*. 2018
- (Kassem et al. 2015)** Kassem, Mohamad; Kelly, Graham; Dawood, Nashwan; Serginson, Michael; Lockley, Steve: *BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex*. In: *Built Environment Project and Asset Management* 5 (2015), Nr. 3, S. 261–277
- (Kazado, Kavgic, Eskicioglu 2019)** Kazado, Daniel; Kavgic, Miroslava; Eskicioglu, Rasit: *Integrating Building Information Modeling (BIM) and sensor technology for Facility Management*. In: *Journal of Information Technology in Construction* 24 (2019), S. 440–458
- (Koch, May, Schauer 2013)** Koch, Stefan; May, Michael; Schauer, Alwin: *CAFM-Software und CAFM-Systeme*. In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 251–268
- (Kochendörfer, Liebchen, Viering 2021)** Kochendörfer, Bernd; Liebchen, Jens H.; Viering, Markus G.: *Bau-Projekt-Management*. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

- (Kral, Perschel 2018)** Kral, Thomas; Perschel, Wolfgang: *Facility Management und Building Information Modeling: Positionspapier der IFMA Schweiz*. Zürich, 2018
- (Kranz 2013)** Kranz, Hans Rudolf: *BACnet Gebäudeautomation 1.12: Grundlagen in deutscher Sprache ; mit CD-ROM ; [mit Zitaten aus der Weltnorm DIN EN ISO 16484-5. 3., vollst. überarb. Aufl., Januar 2013*. Karlsruhe: cci Dialog, 2013 (cci-Buch Beraten + Planen)
- (Landestalsperrenverwaltung Freistaat Sachsen 2021)** Landestalsperrenverwaltung Freistaat Sachsen: *Leistungsbeschreibung für das Reinigungsobjekt Dienstgebäude Eibenstock*. Verfügbar unter: <https://www.evergabe.de/unterlagen/2441296>. – Aktualisierungsdatum: 29.07.2021 – Zugriff am: 31.07.2021
- (Lassmann 2006)** Lassmann, Wolfgang: *Wirtschaftsinformatik*. Wiesbaden: Gabler, 2006
- (Lavikka et al. 2018)** Lavikka, Rita; Kallio, Johanna; Casey, Thomas; Airaksinen, Miimu: *Digital disruption of the AEC industry: technology-oriented scenarios for possible future development paths*. In: *Construction Management and Economics* 36 (2018), Nr. 11, S. 635–650
- (Lee, Lee 2020)** Lee, Haesung; Lee, Byungsung: *The Development of a State-Aware Equipment Maintenance Application Using Sensor Data Ranking Techniques*. In: *Sensors* (Basel, Switzerland) 20 (2020), Nr. 11
- (Lerch 2010)** Lerch, Reinhard: *Elektrische Messtechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010
- (Lin, Cheung 2020)** Lin, Yu-Cheng; Cheung, Weng-Fong: *Developing WSN/BIM-Based Environmental Monitoring Management System for Parking Garages in Smart Cities*. In: *Journal of Management in Engineering* 36 (2020), Nr. 3, S. 4020012
- (Lin et al. 2016)** Lin, Yu-Cheng; Chen, Yen-Pei; Huang, Wan-Ting; Hong, Chia-Chun: *Development of BIM Execution Plan for BIM Model Management during the Pre-Operation Phase: A Case Study*. In: *Buildings* 6 (2016), Nr. 1, S. 8
- (Litau 2015)** Litau, Oksana: *Lebenszykluskosten (LzK) einer Immobilie*. In: *Nachhaltiges Facility Management im Wohnungsbau: Lebenszyklus - Zertifizierungssysteme - Marktchancen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 23–27
- (Liu, Issa 2014)** Liu, Rui; Issa, Raja: *Design for maintenance accessibility using BIM tools*. In: *Facilities* 32 (2014), 3/4, S. 153–159
- (Lu et al. 2020)** Lu, Qiuchen; Xie, Xiang; Parlikad, Ajith Kumar; Schooling, Jennifer Mary: *Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance*. In: *Automation in Construction* 118 (2020), S. 103277
- (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020a)** Lünendonk & Hossenfelder GmbH: *Digitales Facility Management: Mit datengetriebenen Servicemodellen zum strategischen Partner*. Lünendonk-Whitepaper 2020. Mindelheim, 2020. – Lünendonk-Whitepaper 2020
- (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2020b)** Lünendonk & Hossenfelder GmbH: *Wechselwirkung von Personal, Qualität und Preis im Facility Management*. Mindelheim, 2020
- (Lünendonk & Hossenfelder GmbH 2021)** Lünendonk & Hossenfelder GmbH: *Facility-Service-Unternehmen in Deutschland: Eine Analyse des Facility-Management-Marktes für infrastrukturelles und technisches Gebäudemanagement*. Lünendonk-Studie 2021. Mindelheim, 2021. – Lünendonk-Studie 2021

- (Mannino, Dejaco, Re Cecconi 2021)** Mannino, Antonino; Dejaco, Mario Claudio; Re Cecconi, Fulvio: *Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management—Literature Review and Future Needs*. In: *Applied Sciences* 11 (2021), Nr. 7, S. 3062
- (Marchionini, Hohmann, May 2018)** Marchionini, Michael; Hohmann, Joachim; May, Michael: *Zum Verhältnis von Facility Management und CAFM*. In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 5–14
- (Marmo et al. 2020)** Marmo, Rossella; Polverino, Francesco; Nicoletta, Maurizio; Tibaut, Andrej: *Building performance and maintenance information model based on IFC schema*. In: *Automation in Construction* 118 (2020), S. 103275
- (Marzouk, Abdelaty 2014a)** Marzouk, Mohamed; Abdelaty, Ahmed: *BIM-based framework for managing performance of subway stations*. In: *Automation in Construction* 41 (2014), S. 70–77
- (Marzouk, Abdelaty 2014b)** Marzouk, Mohamed; Abdelaty, Ahmed: *Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling*. In: *Energy and Buildings* 84 (2014), S. 252–257
- (Matarneh et al. 2019)** Matarneh, Sandra T.; Danso-Amoako, Mark; Al-Bizri, Salam; Gaterell, Mark; Matarneh, Rana T.: *BIM for FM*. In: *Facilities* 38 (2019), 5/6, S. 378–394
- (May et al. 2018)** May, Michael; Bender, Thomas; Härtig, Michael; Hofmann, Marco; Lojek, Marcel; Ninbo Turianskyj; Jaspers, Erik; Mosig, Matthias; Schipper, Jan; Krämer, Markus: *Building Information Modeling im Facility Management, White Paper GEFMA 926*. 2018
- (Mayo, Issa 2016)** Mayo, Glenda; Issa, Raja R. A.: *Nongeometric Building Information Needs Assessment for Facilities Management*. In: *Journal of Management in Engineering* 32 (2016), Nr. 3, S. 4015054
- (Molnar 2020)** Molnar, David Bese: *Methods and Framework for Data-Driven Building Service Analytics*. Wien, Technische Universität Wien, E191 - Institut für Computer Engineering. Thesis. 2020
- (Müller 2017)** Müller, Christian: *Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich: Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen*. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/rolle-der-digitalisierung-im-gebaeudebereich.html>. – Aktualisierungsdatum: 2018 – Zugriff am: 19.11.2020
- (MWM Software & Beratung GmbH 2017)** MWM Software & Beratung GmbH: *Das Freie GAEB Buch: Informationen zum Thema GAEB Datenträgeraustausch im Bauwesen*. Bonn, 2017
- (Nävy 2018)** Nävy, Jens: *Grundlagen*. In: Nävy, Jens (Hrsg.): *Facility Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, S. 1–60
- (North 2016)** North, Klaus: *Wissensorientierte Unternehmensführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016
- (Pärn, Edwards 2017)** Pärn, E. A.; Edwards, D. J.: *Conceptualising the FinDD API plug-in: A study of BIM-FM integration*. In: *Automation in Construction* 80 (2017), S. 11–21
- (Pärn, Edwards, Draper 2016)** Pärn, Erika A.; Edwards, David J.; Draper, Richard: *A Case Study of Building Information Modelling Enabled 'Information Totem' for Op-*

- erations and Maintenance Integration, Bd. 5.* In: Achour, Nebil (Hrsg.): *Advancing products and services.* Tampere: Tampere University of Technology Department of Civil Engineering, 2016 (Report / Tampere University of Technology, Department of Civil Engineering, Construction Management and Economics, 18,5), S. 892–903
- (Parn et al. 2019)** Parn, Erika A.; Edwards, David; Riaz, Zainab; Mehmood, Fahad; Lai, Joseph: *Engineering-out hazards: digitising the management working safety in confined spaces.* In: *Facilities* 37 (2019), 3/4, S. 196–215
- (Pilling, Gerrits 2021)** Pilling, André; Gerrits, Paul: *BIM-Glossar.* In: Pilling, André; Gerrits, Paul (Hrsg.): *Das neue Bauen mit BIM und Lean : Praxisbeispiel eines mittelständischen Bauprojekts der öffentlichen Hand.* 1. Auflage. Berlin, Wien, Zürich, Berlin: Beuth Verlag GmbH; bSD Verlag, 2021, S. 209–218
- (Potpara et al. 2017)** Potpara, Milena; Franke, Lisa; Herter, Leonid; Silbe, Katja: *BIM im Einsatz - Modellbasiertes Arbeiten.* In: Silbe, Katja; Díaz, Joaquín (Hrsg.): *BIM-Ratgeber für Bauunternehmer : Grundlagen, Potenziale, erste Schritte.* Köln: Rudolf Müller, 2017 (Hoch- und Tiefbau), S. 65–116
- (Preuß et al. 2016)** Preuß, Norbert; Schöne, Lars Bernhard; Nehrhaupt, Alexander; Maier, Hermann; Schropp, Edgar: *Real Estate und Facility Management: Aus Sicht der Consultingpraxis.* 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016
- (Rafsanjani, Ghahramani 2020)** Rafsanjani, Hamed Nabizadeh; Ghahramani, Ali: *Towards utilizing internet of things (IoT) devices for understanding individual occupants' energy usage of personal and shared appliances in office buildings.* In: *Journal of Building Engineering* 27 (2020), S. 100948
- (RealFM e.V., SVIT FM Schweiz, FMA Facility Management Austria 2015)** RealFM e.V.; SVIT FM Schweiz; FMA Facility Management Austria: *Funktions- und Leistungsmodell im Facility Management.* Berlin, 2015
- (Rotermund 2016)** Rotermund, Uwe: *fm.Benchmarking Bericht 2016. Vergleichen Sie Ihre Immobilienkennzahlen.* Höxter, 2016
- (Rupp, Queins 2012)** Rupp, Chris; Queins, Stefan: *UML 2 glasklar: Praxiswissen für die UML-Modellierung.* 4. Aufl. München: Hanser, 2012
- (Schlundt et al. 2018)** Schlundt, Maik; Hofmann, Marco; Hohmann, Joachim; May, Michael; Turianskyj, Nino: *Trends und Perspektiven im CAFM.* In: May, Michael (Hrsg.): *CAFM-Handbuch.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 511–533
- (Schneider 2016)** Schneider, Christin Marie: *Effizienzsteigerungen im Lebenszyklus durch den Einsatz von Facility Information Management (FIM): Entwicklung eines Decision-Support-Guides.* [1. Auflage]. Aachen: Shaker Verlag, 2016 (Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg-Essen)
- (Schrammel, Wilhelm 2016)** Schrammel, Florian; Wilhelm, Ernst: *Rechtliche Aspekte im Building Information Modeling (BIM): Schnelleinstieg für Architekten und Bauingenieure.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016 (essentials)
- (Schuster et al. 2018)** Schuster, Björn; Aßmann, Uwe; Korzetz, Mandy; Kühn, Romina: *Smart Rooms - Effizienter Betrieb von Gebäuden durch IoT.* In: Messago Messe Frankfurt GmbH (Hrsg.): *INservFM : Messe und Kongress für Facility Management und Industrieservice : Frankfurt am Main, 27.02.-01.03.2018 : Tagungsband.* 1. Auflage. Auerbach/V., Germany: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2018, S. 231–240

- (Seifert 1998)** Seifert, Frank: *Was ist Facility Management?* In: Lochmann, Hans-Dieter; Köllgen, Rainer (Hrsg.): *Facility Management*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1998, S. 23–30
- (Sharmin, Gül, Al-Hussein 2017)** Sharmin, Tanzia; Gül, Mustafa; Al-Hussein, Mohamed: *A user-centric space heating energy management framework for multi-family residential facilities based on occupant pattern prediction modeling*. In: *Building Simulation* 10 (2017), Nr. 6, S. 899–916
- (Shen et al. 2010)** Shen, Weiming; Hao, Qi; Mak, Helium; Neelamkavil, Joseph; Xie, Helen; Dickinson, John; Thomas, Russ; Pardasani, Ajit; Xue, Henry: *Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review*. In: *Advanced Engineering Informatics* 24 (2010), Nr. 2, S. 196–207
- (Smarsly 2019)** Smarsly, Kay: *BIM-Lehre – die Basis der Digitalisierung*. In: *Der Entwurf* 4 (2019), S. 20–21. Verfügbar unter: https://www.dbz.de/download/1424582/DBZ_04_2019_online_gesamt.pdf – Zugriff am: 19.11.2020
- (SparxSystems Software GmbH 2021)** SparxSystems Software GmbH: *Klassendiagramm (Class Diagram)*. Verfügbar unter: <https://www.sparxsystems.de/resources/literatur/leseprobe-zu-projektentwicklung-mit-uml-und-enterprise-architect/klassendiagramm-class-diagram/> – Zugriff am: 25.05.2021
- (Stadlöder 2013)** Stadlöder, Paul: *Weltweites FM-Verständnis*. In: *Der Facility Manager* (2013), Nr. 3, S. 5
- (Staud 2005)** Staud, Josef L.: *Datenmodellierung und Datenbankentwurf: Ein Vergleich aktueller Methoden*. Berlin: Springer, 2005
- (Steiner 2017)** Steiner, René: *Allgemeines über Datenbanken*. In: Steiner, René (Hrsg.): *Grundkurs Relationale Datenbanken*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017, S. 5–11
- (Streit 2017)** Streit, Matthias: *Digitalisierung in der Immobilienbranche: Zwischen Bits und Beton*. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/finanzen/immobilien/digitalisierung-in-der-immobilienbranche-zwischen-bits-und-beton/20415728.html>. – Aktualisierungsdatum: 2017 – Zugriff am: 19.11.2020
- (Succar 2009)** Succar, Bilal: *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. In: *Automation in Construction* 18 (2009), Nr. 3, S. 357–375
- (Sun et al. 2021)** Sun, Wanli; Liu, Yu; Ma, Lei; Zhang, Ruopu: *Research on Life Extension Method of Transmission Line Intelligent Sensing System Based on Environmental Energy Harvesting*. In: *Journal of Sensors* 2021 (2021), S. 1–9
- Teicholz, Paul M. (Hrsg.): *BIM for facility managers*. Hoboken, NJ: Wiley, 2013
- (Thabet, Lucas 2017)** Thabet, Walid; Lucas, Jason D.: *A 6-step systematic process for model-based facility data delivery*. In: *Journal of Information Technology in Construction* 22 (2017), S. 104–131. Verfügbar unter: <https://www.itcon.org/2017/6>
- (van Treeck 2016)** van Treeck, C.: *Building Information Modeling*. In: van Treeck, Christoph; Elixmann, Robert; Rudat, Klaus; Hiller, Sven; Herkel, Sebastian; Berger, Markus (Hrsg.): *Gebäude. Technik. Digital: Building Information Modeling*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016 (VDI-Buch), S. 7–90
- (VDI 2552 Bl. 1)** VDI 2552 Bl. 1. 2020-07. *Building Information Modeling Grundlagen*
- (VDI 2552 Bl. 2)** VDI 2552 Bl. 2. 2021-04. *Building Information Modeling Begriffe*

- (VDI 3810 Bl. 6)** VDI 3810 Bl. 6. 2020-10. *Betreiben und Instandhalten von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen Aufzüge*
- (Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) 2018)** Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.: *Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0: Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen*. Frankfurt am Main, 2018
- (Viering, Kochendörfer, Liebchen 2007)** Viering, Markus G.; Kochendörfer, Bernd; Liebchen, Jens H.: *Managementleistungen im Lebenszyklus von Immobilien*. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2007 (Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft)
- (Volk, Stengel, Schultmann 2014)** Volk, Rebekka; Stengel, Julian; Schultmann, Frank: *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*. In: *Automation in Construction* 38 (2014), S. 109–127
- (Vornholz 2019)** Vornholz, Günther: *3. Megatrend Digitalisierung*. In: Vornholz, Günter (Hrsg.): *Digitalisierung der Immobilienwirtschaft*: De Gruyter, 2019, S. 23–65
- (Watson 2011)** Watson, Alastair: *Digital buildings – Challenges and opportunities*. In: *Advanced Engineering Informatics* 25 (2011), Nr. 4, S. 573–581
- (Weber 1996)** Weber, Heinrich: *Rechnergestützte Meßverfahren: Grundlagen, Sensoren, Meßschaltungen, Bussysteme, Prozeßdatenerfassung und Meßautomatisierung*. 1. Aufl. Würzburg: Vogel, 1996 (Vogel-Fachbuch Elektronik)
- (Westphal, Herrmann 2015)** Westphal, Tim; Herrmann, Eva: *BIM - Building Information Modeling | Management*. 1. Auflage, Stand Oktober 2015. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2015 (DETAIL research)
- (Wetzel, Walid 2018)** Wetzel, Eric; Walid, Thabet: *A case study towards transferring relevant safety information for facilities maintenance using BIM*. In: *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* 23 (2018), S. 53–74
- (Wills, Bartels 2021)** Wills, Nadine; Bartels, Niels: *Bedarfsorientierte FM-Leistungserbringung im Rahmen der lebenszyklusübergreifenden BIM-Methode unter Berücksichtigung offener Datenaustauschformate*. In: Disser, Michael; Hoffmann, André; Kuhn, Luisa; Scheich, Patrick (Hrsg.): *32. Forum Bauinformatik 2021, 2021*, S. 207–215
- (Wills, Fauth, Smarsly 2020)** Wills, Nadine; Fauth, Judith; Smarsly, Kay: *Zur Anwendbarkeit des Building Information Modeling von Nachhaltigkeitskriterien im Facility Management*. Verfügbar unter: <https://smarsly.files.wordpress.com/2020/03/smarsly2020j.pdf> – Zugriff am: 23.09.2021
- (Wills, Ponnewitz, Smarsly 2018)** Wills, Nadine; Ponnewitz, Judith; Smarsly, Kay: *A BIM/FM interface analysis for sustainable facility management*. In: Mela, Kristo; Pajunen, Sami; Raasakka, Ville (Hrsg.): *17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering Conference Proceedings*, 2018, S. 161–168
- (Wong, Ge, He 2018)** Wong, Johnny Kwok Wai; Ge, Janet; He, Sean Xiangjian: *Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions*. In: *Automation in Construction* 92 (2018), S. 312–326
- (Wu et al. 2015)** Wu, Wei; Li, Wenjia; Law, Deify; Na, Woonki: *Improving Data Center Energy Efficiency Using a Cyber-physical Systems Approach: Integration of Building Information Modeling and Wireless Sensor Networks*. In: *Procedia Engineering* 118 (2015), S. 1266–1273
- (Xu et al. 2019)** Xu, Jinying; Chen, Ke; Zetkovic, Anna Elizabeth; Xue, Fan; Lu, Weisheng; Niu, Yuhan: *Pervasive sensing technologies for facility management: a critical review*. In: *Facilities* 38 (2019), 1/2, S. 161–180

- (Yang, Ergan 2017)** Yang, Xue; Ergan, Semiha: *BIM for FM: Information Requirements to Support HVAC-Related Corrective Maintenance*. In: Journal of Architectural Engineering 23 (2017), Nr. 4, S. 4017023
- (Zaballos et al. 2020)** Zaballos, Agustín; Briones, Alan; Massa, Alba; Centelles, Pol; Caballero, Víctor: *A Smart Campus' Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring*. In: Sustainability 12 (2020), Nr. 21, S. 9196
- (Zhang, Seet, Lie 2015)** Zhang, Jianchao; Seet, Boon-Chong; Lie, Tek: *Building Information Modelling for Smart Built Environments*. In: Buildings 5 (2015), Nr. 1, S. 100–115
- (Zhong et al. 2018)** Zhong, Botao; Gan, Chen; Luo, Hanbin; Xing, Xuejiao: *Ontology-based framework for building environmental monitoring and compliance checking under BIM environment*. In: Building and Environment 141 (2018), S. 127–142
- (Zweckverband Staatliches Gymnasium Oberhaching 20.07.2021)** Zweckverband Staatliches Gymnasium Oberhaching: *Systembeschreibung Qualitätsmanagement für Reinigungsleistungen: Gymnasium Oberhaching*. 20.07.2021

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: CAFM-Software, CAFM-System und weitere Systeme	18
Abb. 2-2: GEFMA-Richtlinienwerk von 1996-2019.....	21
Abb. 2-3: Prozess der Sensordatenübertragung und Anwendung	34
Abb. 2-4: Breite des BIM-Einsatzes mit möglichen BIM-Konstellationen	40
Abb. 3-1: Wissenspyramide	44
Abb. 3-2: Erläuterung der UML-Notationsform	46
Abb. 3-3: Methodisches Vorgehen zur Entwicklung einer Informationsstruktur	47
Abb. 3-4: Strukturierung von Gebäudeinformationen	56
Abb. 3-5: Quellen von Gebäudeinformationen	57
Abb. 3-6: Strukturierung von Prozessinformationen.....	58
Abb. 3-7: Quellen von Prozessinformationen	59
Abb. 3-8: Strukturierung von Sensoren zur Ermittlung dynamischer Informationen	60
Abb. 3-9: Vorgehen der indirekten Bedarfsermittlung	62
Abb. 3-10: Informationsmodell	64
Abb. 3-11: Definition der FM-Anforderungen an BIM	65
Abb. 4-1: Zusammenhang zwischen Sensoren und Entscheidungen	68
Abb. 4-2: Definition von Grenzwerten und Bedarfsentwicklung	71
Abb. 4-3: Formeln und Darstellung zur Berechnung eines Bedarfs durch AEG	72
Abb. 4-4: Exemplarisches Beispiel einer UND-Entscheidung	75
Abb. 4-5: Exemplarisches Beispiel einer ODER-Entscheidung	76
Abb. 4-6: Exemplarisches Beispiel einer MEHRHEITS-Entscheidung.....	77
Abb. 4-7: Exemplarisches Beispiel einer MITTELWERT-Entscheidung	77
Abb. 4-8: Matrix zur Definition von Opportunitätsbereichen.....	81
Abb. 4-9: Entitätstypen und Beziehungen zur Auswertung von Sensormesswerten	85
Abb. 4-10: Entitätstypen und Beziehungen zu Entscheidungen und Aufträgen.....	86
Abb. 4-11: Struktogramm Parallelprozesse.....	87
Abb. 4-12: Struktogramm Programmablauf Entscheidungszyklus	89
Abb. 4-13: Struktogramm Programmablauf Auswertungsdurchführung.....	90
Abb. 4-14: Struktogramm Programmablauf Sensorabfrage	90
Abb. 4-15: Struktogramm Programmablauf Auftragsauslösung	91
Abb. 4-16: Struktogramm Programmablauf Auftragsüberwachungs-Zyklus	92
Abb. 5-1: Ablaufbeschreibung der Implementierung bis Evaluierung	94
Abb. 5-2: Exemplarischer EEG-Verlauf über 24 Stunden	95
Abb. 5-3: Grundriss EG Evaluierungsgebäude und Darstellung Eingangshalle	97
Abb. 5-4: Szenarien der Ausgangssituation im Simulationszeitraum	98
Abb. 5-5: Füllstandsverläufe der Ausgangssituation im Simulationszeitraum	99

Abb. 5-6: Transfer Informationsstruktur in Datenbank	100
Abb. 5-7: Evaluierung mehrerer Sensoren für eine Entscheidung	101
Abb. 5-8: Evaluierung eines Sensormesswerts für eine Entscheidung	102
Abb. 5-9: EEG Unterhaltsreinigung Eingangshalle	103
Abb. 5-10: AEG betrachteter Sensormesswerte für Entscheidung 100	105
Abb. 5-11: EEG WEIMAR-basierte und verrichtungsorientierte Reinigung.....	106
Abb. 5-12: WEIMAR-basierte u. verrichtungsorientierte Entleerung Abfall WC Damen	107
Abb. 5-13: WEIMAR-basierte u. verrichtungsorientierte Reinigung Urinale Herren WC	107
Abb. 5-14: Auftragsnotation.....	108
Abb. 5-15: Auftragserledigung.....	109
Abb. 5-16: Auszug Auftragsliste	109
Abb. 5-17: Auftragsliste auf Basis opportuner Entscheidungen	110
Abb. 5-18: Auftragsliste auf Basis nicht opportuner Verknüpfungen	111
Abb. 5-19: EEG opportuner Leistungsbeauftragung	111
Abb. 5-20: Auftragsliste bei Nicht-Verfügbarkeit der Eingangshalle.....	112
Abb. 5-21: EEG bei Nicht-Verfügbarkeit von Räumen und Elementen	112
Abb. 5-22: Anzahl WEIMAR-basierter und verrichtungsorientierter Auftragsauslösungen ..	114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Regelwerke des FM	21
Tabelle 2-2: Kategorisierung von FM-Prozessdaten	23
Tabelle 2-3: Arten der Leistungserbringung im FM am Beispiel von Reinigungsleistungen ..	24
Tabelle 2-4: Relevante Angaben zur Beauftragung und Ausführung von FS	26
Tabelle 2-5: Richtlinien und Regelwerke zu BIM im FM.....	32
Tabelle 3-1: Recherchequellen zur Informationsdefinition von FM-Leistungserbringungen ..	48
Tabelle 3-2: Informationen zur Leistungserbringung von Reinigungs- und Pflegediensten ...	49
Tabelle 3-3: Reinigungstätigkeiten der Unterhaltsreinigung von Innenräumen.....	50
Tabelle 3-4: Übersicht von Informationslieferant, -empfänger und -nutzer	51
Tabelle 3-5: Kategorisierung der für die Leistungserbringung relevanten Informationen.....	53
Tabelle 4-1: Exemplarische Darstellung von AEG mit praktischen Beispielen	73
Tabelle 4-2: Auszug eines Auftragsportfolios	83
Tabelle 5-1: Eingangs- und Simulationsparameter	97
Tabelle 5-2: Auftrags-IDs und Auftragsbezeichnungen.....	110

Anhangverzeichnis

Anhang A1: Übersicht der Aufgabenbereiche des TFM, KFM, IFM und FLM	135
Anhang A2: GEFMA-Richtlinienwerk	138
Anhang A3: Sensortypen und Funktionen.....	139
Anhang A4: Übersicht analysierter Leistungsverzeichnisse.....	140
Anhang A5: Übersicht von Faktoren und Sensoren indirekter Bedarfsermittlung	142
Anhang A6: Ausschnitte der Simulations Quellcodes	144
Anhang A7: Simulationssensoren	147
Anhang A8: Zeitplan der Simulation.....	148
Anhang A9: Ausgangssituation im Simulationszeitraum	149
Anhang A10: Transfer Informationsstruktur in Datenbank	150
Anhang A11: Übersicht evaluierter Aufträge, Tätigkeiten und Tätigkeitsgruppen	151
Anhang A12: Evaluierete Entscheidungen	155
Anhang A13: Auswirkung der Entscheidungsart auf Bedarfsentwicklung	162
Anhang A14: Relationen Auftrag zu Entscheidung	163
Anhang A15: Elemente der Elementgruppen	165
Anhang A16: EEG Unterhaltsreinigung Eingangshalle (vergrößerte Darstellung)	166
Anhang A17: AEG betrachteter Sensormesswerte für Entscheidung 100	166
Anhang A18: Anzahl WEIMAR-basierter u. verrichtungsorientierter Auftragsauslösungen .	168

Anhang A1: Übersicht der Aufgabenbereiche des TFM, KFM, IFM und FLM

Technisches FM wird durch Leistungen der DIN 32736 und FM-Prozessen nach GEFMA 100-2 definiert und umfasst folgende Tätigkeiten:

- Betreiben: Übernehmen; Inbetriebnehmen, Bedienen; Überwachen; Messen; Steuern; Regeln; Leiten; Optimieren; Beheben von Störungen, Außerbetriebnahme; Wiederinbetriebnehmen; Ausmustern; Wiederholungsprüfungen; Erfassen von Verbrauchswerten; Einhalten von Betriebsvorschriften.
- Dokumentieren: Bestandsunterlagen, Verbrauchsdaten, Betriebsprotokolle; Betriebsanweisungen; Abnahmeprotokolle; Wartungsprotokolle.
- Energiemanagement: gewerkeübergreifende Analyse der Energieverbraucher; Ermitteln von Optimierungspotentialen; Planen der Maßnahmen unter betriebswirtschaftlichen Aspekten; Berechnen der Rentabilität; Umsetzen der Einsparungsmaßnahmen; Nachweisen der Einsparungen.
- Informationsmanagement: Gebäudeautomation (GA); Computer Aided Facility Management (CAFM); Brandmeldesystem/Zugangskontrolle (BM/ZK); Einbruchmeldesysteme (EM); Kommunikation; Telefon; Video.
- Modernisierung
- Sanierung
- Umbau
- Sachmängelhaftung (Verfolgung der technischen Gewährleistung): Begleiten von Abnahmen und Übergaben; Übernehmen von Mängelmeldungen aus der technischen Betriebsführung; Erfassen der Mängel; Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen; Verfolgung der Mängelbeseitigung; Unterstützen bei Beweissicherungen (DIN 32736).

Infrastrukturelles FM umfasst folgende Tätigkeiten:

- Verpflegungsdienste: Beschaffen und Zubereiten von Nahrungsmitteln für Haupt- und Zwischenverpflegung; Ausstatten und Unterhalten von Restaurants/Kantinen oder Pausenräume.
- Datenverarbeitungsdienste: Sichern von Daten; Installieren von Software und neuen Programmversionen (Updates); Anpassen von DV-Systemen an neue Anwendungen; Pflegen der DV-Systeme; Schulungen; Einweisungen und Hotline-Dienste; Beheben von Störungen an Hard- und Software; Inbetriebnehmen der Hardware.
- Gärtnerdienste: Wässern; Düngen; Pflanzenschutz; Säubern der Flächen; Schneiden; Ausputzen; Aufbinden von Pflanzen; Auswechseln von Pflanzen/Nachpflanzen; Mähen; Vertikutieren; Aerifizieren; Besanden; Bodenbearbeitung; Überprüfen der technischen Einrichtungen für Vegetation; Überprüfen der Verkehrssicherheit von Bäumen; Winterschutzmaßnahmen.
- Hausmeisterdienste: Sicherheitsinspektionen; Aufzugswärterdienste; Sicherstellen der Objektsauberkeit; Einhalten der Hausordnung; kleinere Instandsetzung.
- Interne Postdienste: An- und Abtransportieren; Verteilen; Entgegennehmen und Weiterleiten; Kuvertieren und Frankieren.
- Kopier- und Druckdienste: Ausstatten, Versorgen, Entsorgen und Reinigen von Kopierstellen und drucktechnischer Maschinen; Ermitteln und Zuordnen der Kopier- und Druckkosten, Druck- und Kopierarbeiten.
- Reinigungs- und Pflegedienste: Unterhaltsreinigung; Glasreinigung; Fassadenreinigung; reinigen der Außenanlagen; Pflegemaßnahmen für Böden und Flächen.
- Parkraumbetreiberdienste: Abrechnen und Verwalten der Kassenautomaten; Verwalten des Parkraumes.
- Sicherheitsdienste: Zutrittskontrollen; Objektbewachung; Revierdienste; Schließdienste, Personenschutz; Sonderbewachung; Feuerwehr; vorbeugender Brandschutz.

- Umzugsdienste: Ermittlung der erforderlichen Transport- und Installationsleistungen; Festlegung sowie Koordination der Umzugs- und Installationstermine; ggf. Auslagerung von Einrichtungsgegenständen sowie Schaffung von Provisorien und Übergangslösungen; Demontage, Transport, Ausbau und Inbetriebnahme der Büroeinrichtungen und informationstechnischen Geräte; Abnahme der Transport- und Installationsleistungen.
- Waren- und Logistikdienste: Warenannahme; Wareneingangskontrolle; Verwalten von Lieferunterlagen; Verpacken und ausgehenden Frachtgütern; Erstellung von Lieferunterlagen; Bestellen von Spediteuren; Warenversand.
- Winterdienste: Schneeräumen und Streudienst; Erstellen eines Prioritätenplanes nach Raumzonen; Bereitstellen von Räumgeräten; detailliertes Protokollieren der Einsätze.
- zentrale Kommunikationsdienste: Betreiben einer Telefonzentrale/eines Vermittlungsdienstes; Erstellen, Fortschreiben; Pflege eines (internen) Telefonbuches; Erfassen von Gebühren; Call Center.
- Entsorgen: Einsammeln, Sortieren; Befördern; Behandeln und Zwischenlagern; Zuführen zur Wiederverwertung oder Endlagerung.
- Versorgen: Disponieren; Lagern/Bevorraten; Zuführen von Warmwasser, Energie zur Beheizung, Strom)(DIN 32736-BI.1).

Wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit beschrieben, entfallen ca. 50% der Kosten im Bereich IFM auf Reinigungs- und Pflegedienstleistungen: der Anteil der Reinigungskosten an den Gesamtkosten in Bürogebäuden beläuft sich auf 63%, in Handelsimmobilien auf 50% und in Sporthallen auf 73% (Rotermund 2016).

Kaufmännisches FM umfasst die Tätigkeiten:

- Beschaffungsmanagement: Auswählen der Lieferanten; Vergeben der Aufträge; Prüfen des Wareneingangs; Überwachen der Liefertermine; Prüfen der Rechnungen.
- Kostenplanung und -kontrolle: Erstellen des Kostenplans (Wirtschaftsplans); laufendes Erfassen der Istkosten, Vergleichen der Soll- und Istkosten; Hinweis auf notwendige Korrekturmaßnahmen.
- Objektbuchhaltung: Erfassen und Pflegen aller Bestands- und Vertragsdaten; Führen von Konten; Erstellen und Abschlüssen (Miete, Mietnebenkosten, sonstige Kosten); Veranlassen und Überwachen der Zahlungsvorgänge (Mahnwesen).
- Vertragsmanagement: Gestalten von Verträgen; Überwachen von Verträgen; Ändern von Verträgen

Flächenmanagement:

Das Flächenmanagement wird an dieser Stelle als separater Unterpunkt und zugleich eigenständiger FM-Funktionsbereich dargestellt. Gemäß der klassischen Sichtweise besteht das Gebäudemanagement aus den Funktionsbereichen technisches FM, kaufmännisches FM und infrastrukturelles FM. Auf dieser Sichtweise ausgehend wird das Flächenmanagement als ein Facility Service des IFM angesehen (Gondring, Wagner 2018c). Eine neuere Definition des Gebäudemanagements der DIN 32376 weist das Flächenmanagement jedoch als ein eigenständiges und zugleich vierten Funktionsbereich des GM aus (DIN 32736). Wiederum differenziert betrachtet die GEFMA den Bereich FLM als Querschnittsaufgabe im Gebäudemanagement, das sich als Grundlage der drei Funktionsbereiche versteht und nicht explizit untergeordnet ist. Laut DIN 32736 gliedern sich die Leistungen des FLM wie folgt auf:

- Nutzerorientiertes Flächenmanagement: Nutzungsplanung, räumliche Organisation von Arbeitsprozessen und Arbeitsplätzen, ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, flächenökonomische Optimierung, Optimierung von Wegebeziehungen; Planung von Belegungs-/Umbelegungsprozessen.

- Anlagenorientiertes Flächenmanagement: Flächen- und raumbezogene Analyse im Hinblick auf Baukonstruktionen (bauliche Anlagen) und technische Gebäudeausrüstung (insbesondere raumbezogene Sollwerte für Lufttemperatur, Luftfeuchte und geforderte Netzanschlüsse; Verknüpfung von raumbezogenen Nutzungsanforderungen mit den Leistungen des technischen Gebäudemanagements).
- Immobilienwirtschaftlich orientiertes Flächenmanagement: Verknüpfung von Flächen und Räumen zu vermieteten Einheiten; Belegungsberatung und Belegungssteigerung; Erfassen und Bewerten von Leerständen; Kopplung raumbezogener Bedarfsanforderungen und Servicelevels an Mietverträge und Mietnebenkostenabrechnungen.
- Serviceorientiertes Flächenmanagement: Zeitmanagement von Raumbelegungen; Verpflegungs-Logistik in Liegenschaften; Verpflegungs-Bewirtschaftung von Konferenzräumen, Schulungsräumen und dergleichen; Medien- und konferenztechnischer Service für Büro-, Konferenz-, Veranstaltungsräume und dergleichen; flächen- bzw. raumbezogene Reinigungsleistungen; flächen- bzw. raumbezogene Sicherheitsleistungen.
- Dokumentation und Einsatz informationstechnischer System im Flächenmanagement: Dokumentation von Plänen und alphanumerischen Daten für das Flächenmanagement (verfügbare Belegungspläne, Dokumentation von Belegungszuständen bzw. Mietflächen, Nutzungslayouts, Reinigungspläne, Schlüsselpläne usw.); Einbindung der flächenorientierten Dokumentation in ein geeignetes CAFM-System; Einbindung von immobilienwirtschaftlichen Geschäftsprozessen in zugehörige informationstechnische Systeme (Mietvertragsverwaltung, flächenorientierte Umlagen und Verrechnungssysteme) (DIN 32736).

Aufgrund der Vielfältigkeit der Aufgaben des FLM, die stark in den Bereich des IFM hereinreichen, ist das FLM Grundlage und Verknüpfungspunkt für Dienstleistungsbereiche im FM, Umzugs-, Belegungs-, Reinigungs- oder Mietmanagement (Gondring, Wagner 2018c).

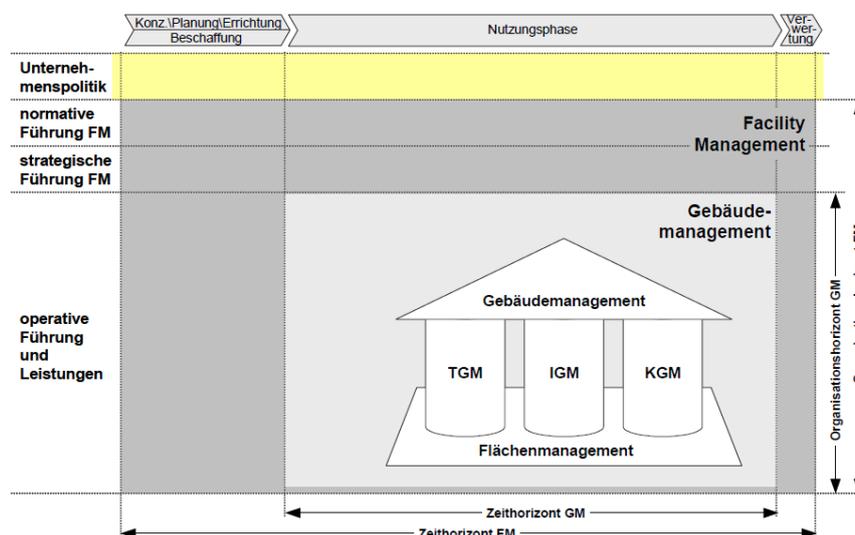
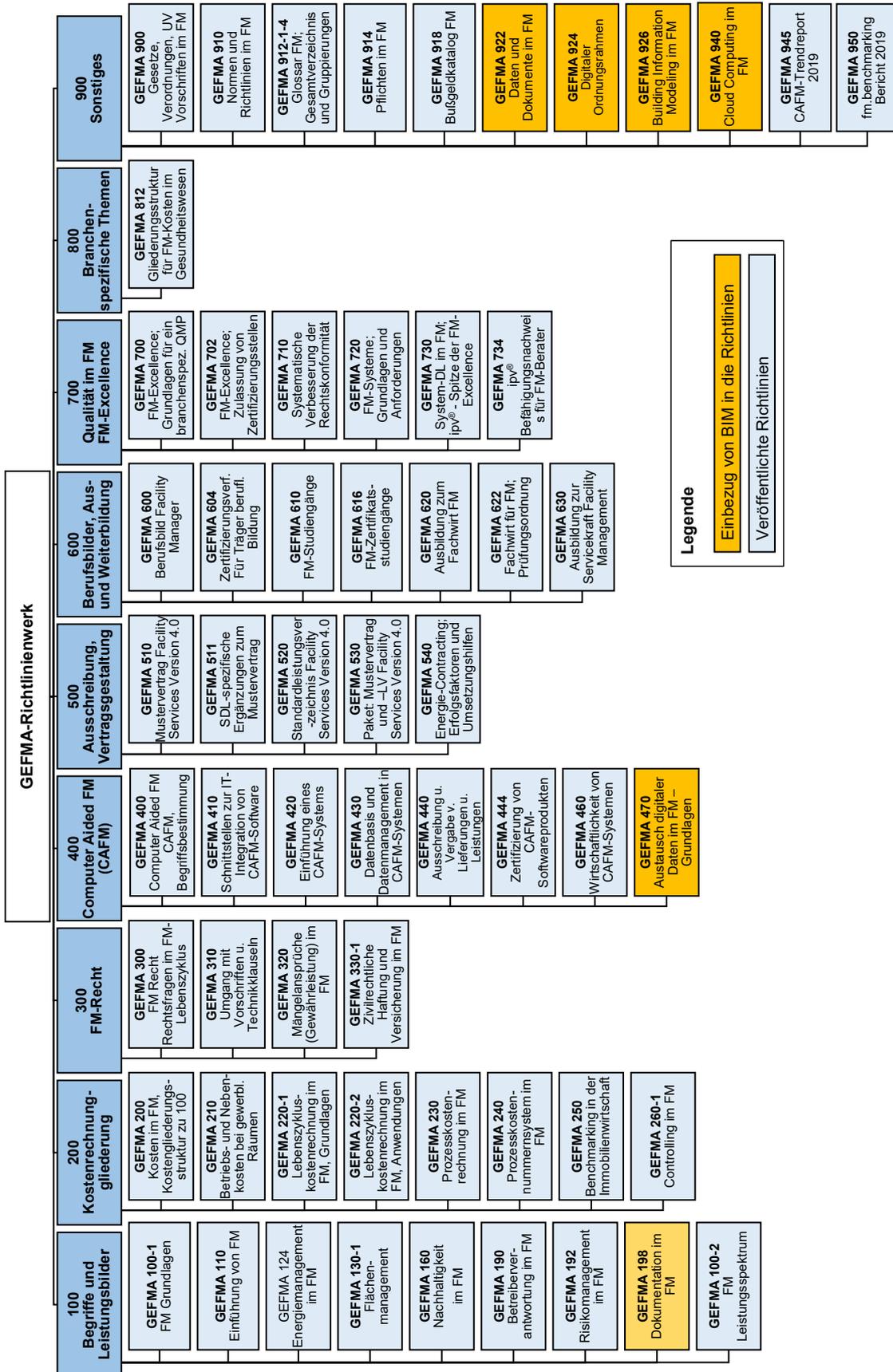


Abb. A-1: Einordnung des Gebäudemanagements innerhalb des Facility Managements (GEFMA 100-1, S. 12)

Anhang A2: GEFMA-Richtlinienwerk



Legende

Einbezug von BIM in die Richtlinien

Veröffentlichte Richtlinien

Anhang A3: Sensortypen und Funktionen

Das Forschungs- und Entwicklungsumfeld von Sensoren erweitert sich täglich. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten zu kategorisieren bzw. zu typisieren (Heinrich, Linke, Glöckler 2017). Eine Möglichkeit der Typisierung besteht in der Unterscheidung in aktive Sensoren und passive Sensoren. Bei aktiven Sensoren erfolgt die Transformation der Messgröße in eine elektronische Größe ohne externe Hilfsspannung. Bei passiven Sensoren werden für die Umwandlung der Messgröße in eine elektronische Größe äußere Hilfsspannungen benötigt (Hering, Schönfelder 2018). Ferner ist zu unterscheiden in Sensorelemente, welche die eigentliche Messfühler darstellen, die physikalische Größen in elektronische Signale umsetzen und in Sensorsysteme, die neben dem Messfühler auch Elektronik für den Betrieb und die Aufbereitung des Signals enthalten (Bernstein 2014). Eine weitere Möglichkeit der Typisierung von Sensoren ist in „Binärsensor“ (erfassender Sensor) und „Analogsensor“ (messender Sensor). Binärsensoren sind zweiwertige Sensoren, Analogsensoren liefern permanent physikalische Messwerte (Heinrich, Linke, Glöckler 2017). Sensoren lassen sich anhand von physikalischen, chemischen bzw. biologischen und geometrischen Größen unterteilen. Es existiert eine Vielzahl von Sensoren, wobei sich die Anzahl von Sensoren täglich erhöht. In dieser Arbeit sind nun zunächst die wesentlichen Messgrößen aufgelistet und um die entsprechenden Sensortypen, Messprinzipien und Anwendungen ergänzt.

Messgröße	Sensortypen und Aktoren (Beispiele)
Durchfluss	Durchflusssensoren, Ultraschall-Durchflusssensoren, Differenzdruckbestimmer, Schwebekörper-Durchflusssensoren, magnetisch-induktive Durchflusssensoren, Wassermelder, Druck- und Differenzdrucktransmitter
Luftqualität	Thermostate, Hygrostate, Gas- und Rauchsensoren, Mischgas-sensoren (VOC), CO ₂ - und O ₂ -Sensoren, Luftfeuchtigkeitssensoren
Luftfeuchte	Taupunktwärter, Temperatur- und Feuchte-Kombifühler, Licht-, Sonnen-, Regensensoren
Strömung	Luftgeschwindigkeitsfühler, Strömungswächter
Licht	Lichtsensor
Druck	Piezoresistiver Drucksensor
Krafteinwirkung	Piezoresistiver Sensor
Beschleunigung	Kapazitiver Sensor, piezoelektrischer Sensor
Hörschall, Körperschall	Piezo-Mikrophon, Kondensator-Mikrophon, Membran-Spule-Mikrophon
Position, Abstand, Geschwindigkeitsänderungen	Lineare oder rotatorische Encoder, Bildsensoren, Ultraschallsensoren, Kapazität Sensoren, induktive Sensoren, Indoor-GPS, optische Sensoren (Lichtschanke, Lichtgitter), Radar- und Lidar-Sensoren, Magnetfeldsensoren, Laserinterferometer, Neigungssensoren
Füllstände	Schwimmer, Ultraschallsensoren, Radar, Mikrowelle, Leitfähigkeitsmesser, hydrostatische Messungen (Druck, Wassersäule), gravimetrische Messung (Behältergewicht), Kapazitiver Sensor, Infrarotsensoren
Identifikation von Objekten und Personen	Bildsensoren, Barcode-Scanner, QR-Scanner, RFID, NFC, Farbsensoren, Gesichts-, Iris-, Fingerabdruckscanner, Gesichtserkennung
Temperatur	Widerstandsthermometer, Infrarot Temperaturmessung, Thermoelemente, Temperaturfühler, Hygrostate, Hygrometer
Wärmestrahlung	
Feuchtigkeitsmessung	

Tabelle A-1: Übersicht im FM genutzter Messgrößen und Sensortypen

Anhang A4: Übersicht analysierter Leistungsverzeichnisse

Gebäudeart	Objekt	Objektadresse	Ort	Herausgeber
Betriebsgelände	Bauhof Kisdorf	Dorfstraße 25	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Bibliothek	Stadtbibliothek	Heinrich-Heine-Platz 10	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Büro	Dienstgebäude Klaus-von Klitzing-Str. 2	Klaus-von Klitzing-Str. 2	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Arzheim	Arzheimer Hauptstraße 42	76829 Arzheim	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Godramstein	Godramsteiner Hauptstraße 96	76829 Godramstein	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Mörlheim	Mörlheimer Hauptstraße 49	76829 Mörlheim	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Mörzheim	Mörzheimer Hauptstraße 31	76829 Mörzheim	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Nußdorf	Kirchstraße 36	76829 Nußdorf	Stadtverwaltung Landau
Büro	OVB Queichheim	Queichheimer Hauptstraße 79	76829 Queichheim	Stadtverwaltung Landau
Büro	Landeskriminalamt der Berliner Polizei	Martin-Luther-Straße 105	10825 Berlin	Land Berlin (Sondervermögen Immobilien des Landes Berlin)
Büro	Niederlassung Westfalen Bus GmbH	Rösnerstraße 13	48143 Münster	Deutsche Bahn AG (BRS Busverk. Ruhr-Sieg)
Büro	Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung	Martin-Luther-Straße 105	10825 Berlin	Land Berlin (Sondervermögen Immobilien des Landes Berlin)
Büro (Fahreremelderaum)	Einsatzstelle Warendorf	Laer 2	59872 Meschede	Deutsche Bahn AG (WB Westfalen Bus GmbH)
Büro + Werkstatt	Betriebshof Lennestadt	Laer 2	59872 Meschede	Deutsche Bahn AG (WB Westfalen Bus GmbH)
Büro- und Verwaltungsräume	Landesstudio Sachsen	Königstraße 5a	01097 Dresden	Zweites Deutsches Fernsehen
Büro- und Verwaltungsräume	Dienstgebäude Eibenstock	Muldenstraße 3	08309 Eibenstock	
DGH	Dorfgemeinschaftshaus Arzheim	Arzheimer Hauptstraße 46	76829 Arzheim	Stadtverwaltung Landau
Feuerwehr	Feuerwehrhaus Anbau Kisdorf	Achter de Hof 2	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Feuerwehr	Feuerwache Landau	Haardtstr. 4	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Feuerwehr	Feuerwehrgerätehaus Arzheim	Bischof-von-Weis-Str. 10	76829 Arzheim	Stadtverwaltung Landau
Feuerwehr	Feuerwehrgerätehaus Godramstein	Bahnhofstraße 10	76829 Godramstein	Stadtverwaltung Landau
Feuerwehr	Feuerwehrgerätehaus Nußdorf	Kirchstraße 18	76829 Nußdorf	Stadtverwaltung Landau
Flughafen	Flughafen Frankfurt	Flughafen Frankfurt	60547 Frankfurt/M.	Fraport AG
Friedhof	Friedhofshalle Kisdorf	Etzberg 63	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Kindergarten	Kindergarten Wakendorf II	Sandbergstraße 22	24558 Wakendorf II	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Kultur (Büro, Lager)	Städtische Galerie Villa Streccius	Südring 20	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Schule	Schule Kisdorf	Grootredder 19	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Schule	Grundschule Wakendorf II,	Naher Str. 1	24558 Wakendorf II	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Schule	Schule Struvenhütten	Schulstraße 12	24643 Struvenhütten	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Schule	Schule Winterbachsroth, Förderschule Geistige Entwicklung Sbr.-Dudweiler	Winterbachsroth 9	66125 Saarbrücken	Regionalverband Saarbrücken

Gebäudeart	Objekt	Objektadresse	Ort	Herausgeber
Schule	Gemeinschaftsschule Rastbachtal	Weißbürger Straße 23	66113 Saarbrücken	Regionalverband Saarbrücken
Schule+Sporthalle	Oberschule Cossebau	Erna-Berger-Straße 1	01156 Dresden	Landeshauptstadt Dresden, GB Bildung und Jugend, Schulverwaltungsamt
Schule+Sporthalle	Grundschule Friedrich-Frank-Bogen	Friedrich-Frank-Bogen 25	21033 Hamburg	Finanzbehörde Hamburg
Schule+Sporthalle	Staatlichen Gymnasiums Oberhaching	Kastanienallee 20	82041 Oberhaching	Zweckverband Staatliches Gymnasium Oberhaching
Schule+Sporthalle	Gemeinschaftsschule Sulzbachtal in Dudweiler	An der Mühlenschule 3	66125 Saarbrücken	Regionalverband Saarbrücken
Schule+Sporthalle	Gymnasium am Schloss Saarbrücken	Spichererbergstraße 15	66119 Saarbrücken	Regionalverband Saarbrücken
Turn+Sporthalle	Sporthalle Wakendorf II	Sandbergstraße 24	24558 Wakendorf II	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Turn+Sporthalle	Sporthalle Kattendorf	Sievershüttener Str. 18 a	24568 Kattendorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Versamlungsstätte	Mehrzweckhalle Kisdorf	Am Sportplatz 2 d	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Versamlungsstätte	Integrationshaus Kisdorf	Sengel 5a	24629 Kisdorf	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Versamlungsstätte	Kulturzentrum Wakendorf II	Sandbergstraße 24	24558 Wakendorf II	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Versamlungsstätte	Halle für Alle	Am Sportfeld 9	24641 Sievershütten	Amt Kisdorf (Gebäudemanagement Schlesweig-Holstein)
Versamlungsstätte	Frank-Loebches-Haus	Kaufhausgasse 9	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Versamlungsstätte	Jugendtreff Horst	Danziger Platz 14	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Versamlungsstätte	Mehrgenerationenhaus	Danziger Platz 18	76829 Landau	Stadtverwaltung Landau
Versamlungsstätte	Vereinsraum Mörnheim	Hofgasse 9a	76829 Mörnheim	Stadtverwaltung Landau
Versamlungsstätte	Vereinsräume beim FWGH Godramstein	Bahnhofstrasse 10	76829 Godramstein	Stadtverwaltung Landau

Anhang A5: Übersicht von Faktoren und Sensoren indirekter Bedarfsermittlung

Tätigkeit	Faktor	Nutzendefinition	Auswahl
Textilbeläge saugen inkl. Fleckenentfernung	Flächenfrequentierung	Ermittlung der Objekte, die eine Fläche frequentieren	Lichtschanke/Bewegungsmelder
	Witterungsbedingungen	Ist es im Gebäude Außenbereich trocken oder nass? Ermittlung der rel. Luftfeuchte	Hygrometer
	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gummipollen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.	Flächenfrequentierung	Ermittlung der Objekte die eine Fläche frequentieren	Lichtschanke/Bewegungsmelder
	Witterungsbedingungen	Ist es im Gebäude Außenbereich trocken oder nass, Ermittlung der rel. Luftfeuchte	Hygrometer
	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken	Füllstand	Füllhöhe des Abfalls	Füllstandssensor
Beleuchtungskörper, Lichtleisten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen	Sitzflächennutzungen	Anzahl der Sitzflächennutzung	Gewichtssensor zur Erkennung der Sitzflächennutzung
Innenfensterbänke nass reinigen	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
	Witterungsbedingungen	Sind Regentropfen auf die Fensterbank gelangt?	Hygrometer
Monitore, Touchscreens inkl. Verkleidung/Gestell unterschiedlicher Art/Beschaffenheit feucht/nass reinigen	Berührungserfassung	Anzahl der Berührungen	Resistive Touchscreen
	Witterungsbedingungen	Ist es im Gebäude Außenbereich trocken oder nass, Ermittlung der rel. Luftfeuchte	Hygrometer
Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen nass reinigen	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
Wände unterschiedlicher Art/Beschaffenheit je nach Beschaffenheit nass reinigen	Staubkonzentration der Luft	Höhe der Feinstaubkonzentration der Luft	Infrarotstaubsensor
	Witterungsbedingungen	Ist es im Gebäude Außenbereich trocken oder nass, Ermittlung der rel. Luftfeuchte	Hygrometer
	Flächenfrequentierung	Ermittlung von Objekten/Personen, die losen Schmutz ins Gebäudeinnere transportiert haben	Lichtschanke/Bewegungsmelder
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen	Anzahl der Berührungen	Ermittlung der Nutzungen je Element	Infrarotarmaturen
Fliesen-, Trenn- und Schamwände nass reinigen	Anzahl der Näherungen je Element	Ermittlung der Personen, die in unmittelbarer Nähe der Elemente waren.	Spültastensensor

Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen	Verschmutzung auf Spiegelfläche	Identifikation von Schmutzpartikeln und Streifen auf Spiegelfläche	Schmutzpartikelsensor (Reflexion) in Spiegeln
Spritzbereich nass reinigen	Spritzer und sonstige Verschmutzungen	Identifikation von Feuchtepartikeln	Schmutzpartikelsensor (Reflexion) in Spiegeln
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen	Anzahl der Nutzungen	Ermittlung der Nutzungen je Element	Infrarotarmaturen
WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen	Spülungsfrequenz	Ermittlung der Nutzungsfrequenz	Spültastensensor
WC-Bürste nass reinigen	Nutzungshäufigkeit	Ermittlung der Nutzungshäufigkeit durch Berührung mit Wasser/Feuchtigkeit	WC-Bürstensensor, der Feuchtigkeit an den Bürsten identifiziert
WC-Bürste austauschen	Nutzungshäufigkeit	Ermittlung der Nutzungshäufigkeit durch Berührung mit Wasser/Feuchtigkeit	WC-Bürstensensor, der Feuchtigkeit an den Bürsten identifiziert
Hygienespender befüllen	Füllstand	Ermittlung der Füllhöhe in Spender	Füllstandssensor
Seifenspender befüllen und feucht reinigen	Füllstand	Ermittlung der Füllhöhe in Spender	Füllstandssensor
Papierhandtuchspender befüllen	Papiermenge	Ermittlung der Papiermenge in Toilettenpapierhalterung	Füllstandssensor
Toilettenpapier auffüllen	Papiermenge	Ermittlung der Papiermenge in Toilettenpapierhalterung	Füllstands-/Abstandssensor in Toilettenpapierhalterung integriert

Anhang A6: Ausschnitte der Simulationsquellcodes

```

Option Compare Database
Option Explicit
Public Const ASCII_Linie As String = "+-----+" & vbCrLf

Public zaeherUp2(100) As New VirtuellerZaeherUp2
Public zaeherDown2(100) As New VirtuellerZaeherDown2

Public start_sim As Date
Public end_sim As Date
Public zeit_sim As Date

Sub Hauptprogramm()

    leere_historien (1)      ' listen leeren nach abfrage
    reset_fortlaufende (1)  ' fortlaufende sensorauswertungen auf "null" setzen
    DoCmd.Requery
    Rnd (-1)                ' immer gleiche reihenfolge von zufallszahlen verwenden
    'Randomize                ' immer neue zufallswerte verwenden
    OpenNewShell (1)

    zeit_sim = CDate("16.8.2021 00:00:01")
    start_sim = zeit_sim

    Call [99_InitVirtuelle].Init_Virtuelle(1)
    'Call [80_Hilfsfunktionen].Read_Virtuelle2(1)

    'end_sim = DateAdd("h", 8 * 24#, zeit_sim)
    'end_sim = DateAdd("d", 7, start_sim)
    end_sim = CDate("23.8.2021 05:00:00")

    shell_print ("##### Simulation gestartet #####")
    Debug.Print ("##### Simulation gestartet #####")
    Warten (0.1)

    While (zeit_sim <= end_sim)

        zeit_sim = DateAdd("n", 20, zeit_sim)

        Call [90_IntervallPlan].Intervalle(1)
        Call [10_Auftragsverwaltung].AuftragsUeberwachung(1)
        Call [10_Entscheidungen].Entscheidungszyklus(1)

        DoEvents

        Debug.Print (zeit_sim)

    Wend
    DoCmd.Requery
    shell_print ("##### Simulation beendet #####")
    Debug.Print ("##### Simulation beendet #####")
    'Call [80_Hilfsfunktionen].Write_Virtuelle2(1)

End Sub

```

Abb. A6-1: Quellcode VBA Hauptprogramm

```

Option Compare Database
Option Explicit

Sub AuftragsUeberwachung(a As Integer)
    Dim db As Database
    Dim rs As DAO.Recordset
    Dim SQLstr As String
    Dim Auftragsende As Date
    Dim Entscheidungs_ID As Integer
    Dim Listen_ID As Integer

    Set db = CurrentDb
    SQLstr = "SELECT tbl_Auftragsliste.ID_AufLiEintrag, tbl_Auftragsliste.Temp, tbl_Auftragsliste.AusloesendeEntscheidung, tbl_Auftragsliste.Erledigt " _
        & "FROM tbl_Auftragsliste WHERE (tbl_Auftragsliste.Erledigt=False);"

    Set rs = db.OpenRecordset(SQLstr)

    Do Until rs.EOF
        Listen_ID = rs![ID_AufLiEintrag]
        Auftragsende = rs![Temp]
        Entscheidungs_ID = rs![AusloesendeEntscheidung]
        If (zeit_sim > Auftragsende) Then Call AuftragBeenden(Listen_ID, Entscheidungs_ID)
        rs.MoveNext
    Loop

    rs.Close
    Set rs = Nothing
    db.Close
End Sub

'-----
Sub AuftragStarten(Entsch_ID As Integer, Auftrag_ID As Integer, opportun As Boolean)
    Dim ListenNummer As Integer
    Dim db As Database
    Dim rs As DAO.Recordset
    Dim SQLstr As String
    Dim Dauer As Double
    Dim Endzeit As Date
    Dim Ansprechpartner_ID As Integer

    Set db = CurrentDb
    SQLstr = "SELECT * " _
        & "FROM tbl_Auftraege " _
        & "WHERE ID_Auftrag = " & str(Auftrag_ID) & ";"
    Set rs = db.OpenRecordset(SQLstr)

    Ansprechpartner_ID = rs![Ansprechpartner_ID]
    Dauer = Str2Db1(CStr(rs![Bearbeitungszeit_min]))
    Endzeit = Ende_berechnen(Ansprechpartner_ID, Dauer)
    'Endzeit = DateAdd("n", (1 + Rnd()) * 0.0001) * Dauer, zeit_sim) ' sim-zeit + dauer +10% zufall

    SQLstr = "INSERT INTO tbl_Auftragsliste " & _
        "(Auftrags_ID, Dienstleister_ID, Opportun, StartZeit, SimulierteStartZeit, Erledigt, Temp, AusloesendeEntscheidung ) VALUES " & _
        "(" & Auftrag_ID & ", " & Ansprechpartner_ID & ", " & CInt(opportun) & ", " & CInt(Now()) & ", " & zeit_sim & ", " & CInt(False) & ", " & E
    db.Execute SQLstr

```

Abb. A6-2: Ausschnitt Quellcode VBA Auftragsüberwachung

```

Option Compare Database

Dim db As Database
Dim Entscheidungen As DAO.Recordset
Dim Auswertungen As DAO.Recordset
Dim SQLstr As String
Dim EEG As Single
Dim MW_Ausloesung As Single
Dim EntscheidungsArt As Integer, AnzahlAuswertungen As Integer
Dim Ausloesen As Boolean

Set db = CurrentDb
SQLstr = "SELECT * FROM tbl_Entscheidungen;"
Set Entscheidungen = db.OpenRecordset(SQLstr)

If Entscheidungen.EOF Then
    MsgBox ("Keine Regeln in tbl_Entscheidungen vorhanden.")
    Exit Sub
End If

Do Until Entscheidungen.EOF
    'MsgBox (Entscheidungen![Beschreibung])
    If Entscheidungen![Aktiv] Then

        SQLstr = "SELECT AuswertungSensor_ID " _
            & "FROM rel_Entscheidung_Sensorauswertung " _
            & "WHERE Entscheidung_ID = " & str(Entscheidungen![ID_Entscheidung]) & ";"

        Set Auswertungen = db.OpenRecordset(SQLstr)

        If Auswertungen.RecordCount > 0 Then
            Auswertungen.MoveFirst
        Else
            'MsgBox ("Für Entscheidung '" & Entscheidungen![Beschreibung] & "' sind keine Auswertungen angegeben.")
        End If

        Do Until Auswertungen.EOF
            'MsgBox (Auswertungen![SensorAuswertung_ID])
            [20_Auswertung].AuswertungSensor (Auswertungen![AuswertungSensor_ID])
            Auswertungen.MoveNext
        Loop

        EntscheidungsArt = Entscheidungen![EntscheidungsArt_ID]
        Ausloesen = False

        If Auswertungen.RecordCount > 0 Then
            Select Case EntscheidungsArt
                Case 1
                    EEG = Entsch_UND_ODER(Auswertungen, EntscheidungsArt)
                    If EEG >= 1 Then Ausloesen = True
                Case 2
                    EEG = Entsch_UND_ODER(Auswertungen, EntscheidungsArt)
                    If EEG >= 1 Then Ausloesen = True
                Case 3
                    EEG = Entsch_UND_ODER(Auswertungen, EntscheidungsArt)
                    If EEG >= 1 Then Ausloesen = True
                Case 4
                    EEG = Entsch_Mittel(Auswertungen)
                    MW_Ausloesung = Cdbl(CStr(Entscheidungen![AusloeserErfuellungsGrad]))
                    If EEG > MW_Ausloesung Then Ausloesen = True
            End Select
        End If

        Entscheidungen.Edit
        Entscheidungen![EntscheidungsErfuellungsGrad].Value = EEG
        Call EEGSpeichern(Entscheidungen![ID_Entscheidung], EEG)
    End If
End Do

```

Abb. A6-3: Ausschnitt Quellcode VBA Entscheidungen

```

Private Function EG_oberhalb(UG As Single, OG As Single, MW As Single) As Single
    nenner = (OG - UG)
    If nenner = 0 Then
        MsgBox ("Fehler EG-Berechnung unterhalb: div0")
        EG_oberhalb = 666
    Else
        EG_oberhalb = (MW - UG) / nenner
    End If
End Function

Private Function EG_unterhalb(UG As Single, OG As Single, MW As Single) As Single
    nenner = (OG - UG)
    If nenner = 0 Then
        MsgBox ("Fehler EG-Berechnung unterhalb: div0")
        EG_unterhalb = 666
    Else
        EG_unterhalb = 1 - (MW - UG) / nenner
    End If
End Function

Private Function EG_innerhalb(UG As Single, OG As Single, MW As Single) As Single
    nenner = (OG - UG)
    If nenner = 0 Then
        MsgBox ("Fehler EG-Berechnung unterhalb: div0")
        EG_innerhalb = 666
    Else
        EG_innerhalb = 1 - Abs(2 * (MW - UG) / nenner - 1)
    End If
End Function

Private Function EG_ausserhalb(UG As Single, OG As Single, MW As Single) As Single
    nenner = (OG - UG)
    If nenner = 0 Then
        MsgBox ("Fehler EG-Berechnung unterhalb: div0")
        EG_ausserhalb = 666
    Else
        EG_ausserhalb = Abs(2 * (MW - UG) / nenner - 1)
    End If
End Function

Private Function EG_berechnen(art As Integer, UG As Single, OG As Single, MW As Single) As Single
    Select Case art
        Case 1
            EG_berechnen = EG_oberhalb(UG, OG, MW)
        Case 2
            EG_berechnen = EG_unterhalb(UG, OG, MW)
        Case 3
            EG_berechnen = EG_innerhalb(UG, OG, MW)
        Case 4
            EG_berechnen = EG_ausserhalb(UG, OG, MW)
    End Select
End Function

Public Sub AuswertungSpeichern(Auswertungs_ID As Integer, messwert As Single, Summe As Single, EG As Single)

    Dim db As Database
    Set db = OpenDatabase(CurrentDb.Name)
    Dim SQLstr As String

    SQLstr = " INSERT INTO tbl_AuswertungSensorHistorie " & _
        "(Auswertungs_ID, LaufZeit, SimulierteZeit, ISTMesswert, Erfüllungsgrad) VALUES " & _
        "(" & Auswertungs_ID & ", " & Now() & ", " & zeit_sim & ", " & str(messwert) & ", " & str(EG) & ");"

    db.Execute SQLstr
    db.Close

End Sub

Public Sub AuswertungSensor(ID As Integer)
    Dim rs As DAO.Recordset
    Dim db As Database
    Dim SQLstr As String
    Dim messwert As Single, OG As Single, UG As Single, EG As Single, Summe As Single
    Dim IDSensor As Integer, IDArt As Integer
    Dim fortlaufend As Boolean

    Set db = CurrentDb
    SQLstr = "SELECT tbl_AuswertungSensor.* FROM tbl_AuswertungSensor WHERE ID_Auswertung = " & str(ID) & ";"
    Set rs = db.OpenRecordset(SQLstr)

    OG = CSng(rs![OG])
    UG = CSng(rs![UG])
    IDSensor = CInt(rs![Sensor_ID])
    IDArt = CInt(rs![AuswertungsArt_ID])
    fortlaufend = CBool(rs![fortlaufend])
    messwert = [30_Sensoren].SensorEinlesen(IDSensor)

    EG = EG_berechnen(IDArt, UG, OG, messwert)

    rs.Edit
    rs![ISTwert].Value = messwert
    rs![Erfüllungsgrad].Value = EG
    rs.Update

```

Abb. A6-4: Ausschnitt Quellcode VBA Auswertungen

Anhang A7: Simulationssensoren

Sensoren mit zunehmenden Messwerten

ID-Sensor	Sensorname
112	Sens_StaubPL31_105
256	Sens_FüllstandAbf31_105
257	Sens_FüllstandAbf32_105
258	Sens_FüllstandAbf33_105
259	Sens_StaubPL31_105
260	Sens_Bewegung22_105
264	Sens_FüllstandAbf34_106
265	Sens_FüllstandAbf35_106
266	Sens_FüllstandAbf36_106
267	Sens_StaubPL32_106
268	Sens_Bewegung23_106
270	Sens_FüllstandAbf37_107
271	Sens_StaubPL34_107
272	Sens_Bewegung24_107
274	Sens_FüllstandAbf38_108
275	Sens_StaubPL34_108
276	Sens_Bewegung25_108
277	Sens_FüllstandAbf39_109
278	Sens_Bewegung26_109
280	Sens_FüllstandAbf40_110
281	Sens_StaubPL35_110
282	Sens_Bewegung27_110
285	Sens_FüllstandAbf41_115
286	Sens_FüllstandAbf42_115
287	Sens_StaubPL36_115
288	Sens_Bewegung28_115
289	Sens_FüllstandAbf03_101
290	Sens_FüllstandAbf04_101
298	Sens_StaubLFL01_101
301	Sens_GewichtLounge01_101
302	Sens_GewichtLounge02_101
303	Sens_GewichtLounge03_101
304	Sens_GewichtLounge04_101
305	Sens_GewichtLounge05_101
306	Sens_GewichtSE01_101
307	Sens_GewichtSE02_101
317	Sens_FüllstandAbf46_124
318	Sens_resTouch_03_124
319	Sens_StaubPL72_124
320	Sens_Bewegung37_124
325	Sens_StaubDLr_30_112
334	SensInfraWaschbe03_112
335	SensInfraWaschbe04_112
336	Sens_WCBürste07_112
337	Sens_WCBürste08_112
338	Sens_WCBürste12_112
339	Sens_Tastspül04_112
340	Sens_Tastspül05_112
341	Sens_Tastspül06_112

342	Sens_StaubDLr_71_111
346	Sens_Tastspül15_111
350	Sens_Tastspül01_111
351	Sens_Tastspül02_111
352	Sens_Tastspül03_111
353	SensInfraWaschbe01_111
354	SensInfraWaschbe02_111
355	Sens_WCBürste11_111
392	Sens_rellFAussen
397	Sens_SchmutzpartSpie05_112
398	Sens_SchmutzpartSpie06_112
399	Sens_SchmutzpartSpie07_111
400	Sens_SchmutzpartSpie08_111
409	Sens_FüllstandAbf50_111
410	Sens_FüllstandAbf51_112

Sensoren mit abnehmenden Messwerten

ID-Sensor	Sensorname
292	Sens_FüllstandDes_20_101
293	Sens_FüllstandDes_21_101
309	Sens_FüllstandDes_27_124
326	Sens_FüllstandDes_35_112
327	Sens_FüllstandPH02_112
329	Sens_FüllstandSeife11_112
330	Sens_FüllstandSeife12_112
331	Sens_FüllstandToilet02_111
332	Sens_FüllstandToilet03_112
333	Sens_FüllstandToilet12_112
343	Sens_FüllstandDes_37_111
344	Sens_FüllstandPH01_111
347	Sens_FüllstandSeife05_111
348	Sens_FüllstandSeife06_111
349	Sens_FüllstandToilet01_112

Anhang A8: Zeitplan der Simulation

Legende:		sehr wenig bis kaum Bewegung	
Sonne	viel Bewegung		
Regen	sehr viel Bewegung		
keine Bewegung	wenig Staub		
wenig Bewegung	viel Staub		
Montag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Dienstag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude; Wetterwechsel (Regen)
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Mittwoch	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Donnerstag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	in Betrieb, keine Personen im Gebäude; Wetterwechsel	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Freitag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude; Wetterwechsel (Regen)
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Samstag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	erste Gäste verlassen die Feier	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude
Witterung			
Bewegung			
Staub			
Sonntag	00:00:00 01:00:00 02:00:00 03:00:00 04:00:00 05:00:00 06:00:00 07:00:00 08:00:00 09:00:00 10:00:00 11:00:00 12:00:00 13:00:00 14:00:00 15:00:00 16:00:00 17:00:00 18:00:00 19:00:00 20:00:00 21:00:00 22:00:00 23:00:00 24:00:00	kein Betrieb, keine Personen im Gebäude	kein Betrieb, keine Mitarbeiter im Gebäude
Witterung			
Bewegung			
Staub			

Anhang A9: Ausgangssituation im Simulationszeitraum

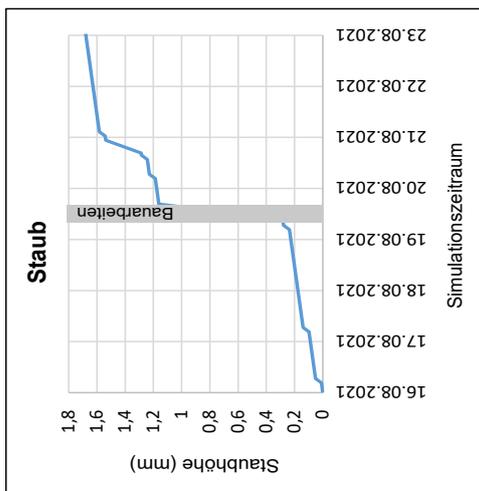
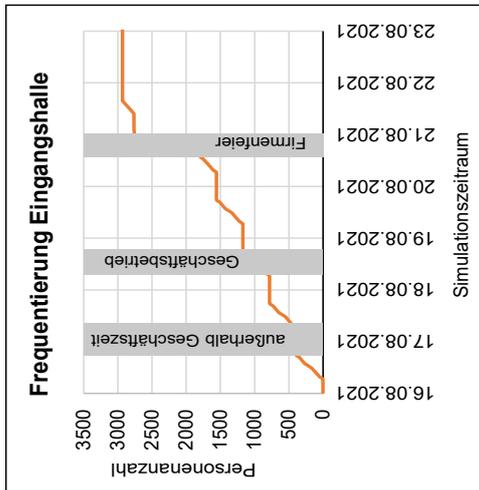
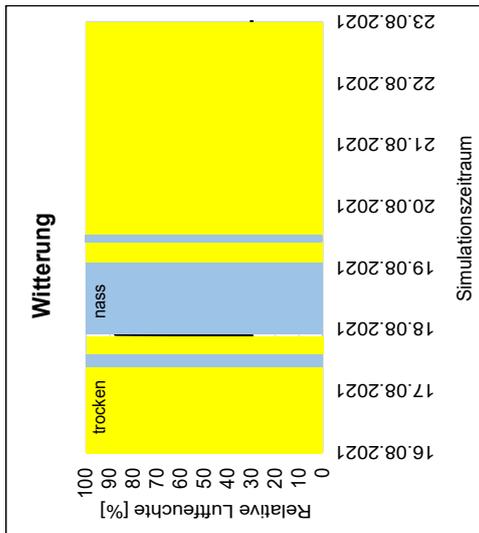


Abb. A9-1: Szenarien der Ausgangssituation im Simulationszeitraum

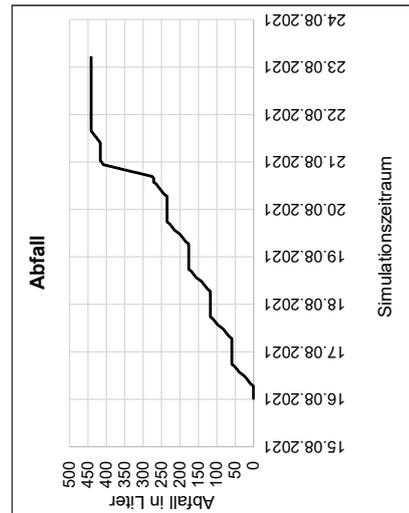
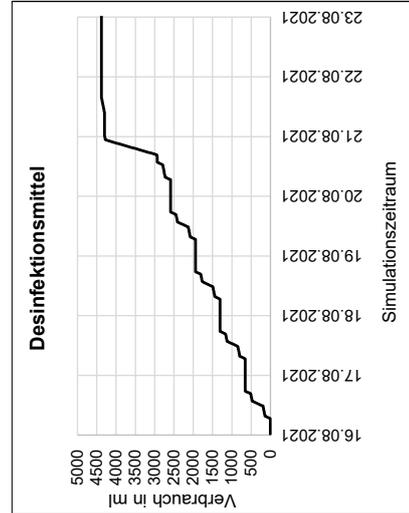
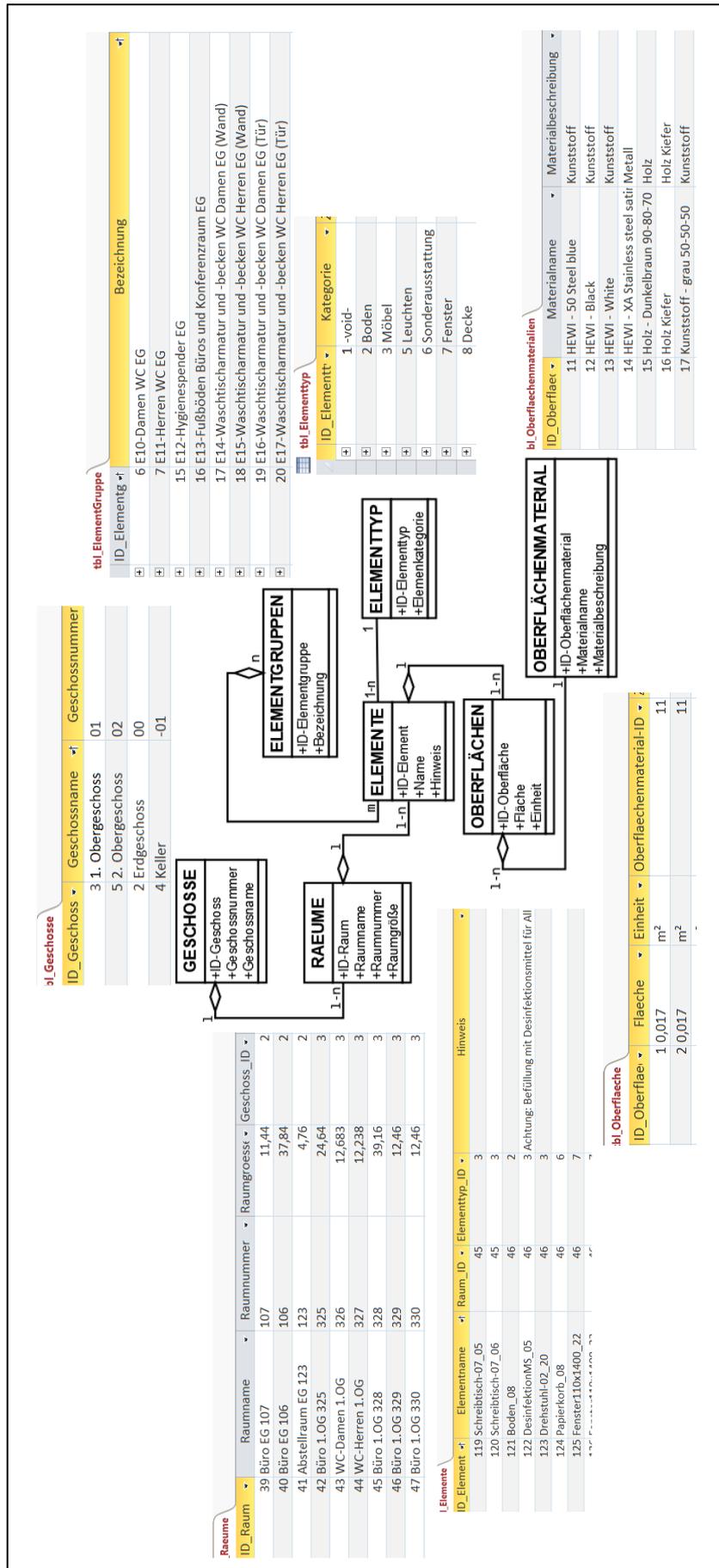


Abb. A9-2: Füllstandsverläufe der Ausgangssituation im Simulationszeitraum

Anhang A10: Transfer Informationsstruktur in Datenbank



Anhang A11: Übersicht evaluierter Aufträge, Tätigkeiten und Tätigkeitsgruppen

ID	Auftrag (Beschreibung)	ID	Tätigkeitsart (Beschreibung)
81	Befüllung Hygienespender 19 Eingangshalle	10	Hygienespender befüllen
82	Befüllung Hygienespender 20 Eingangshalle	10	Hygienespender befüllen
83	Befüllung Hygienespender 21 Eingangshalle	10	Hygienespender befüllen
58	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG	10	Hygienespender befüllen
41	Befüllung Papierhandtuchspender WC Damen EG	12	Papierhandtuchspender befüllen
42	Befüllung Papierhandtuchspender WC Herren EG	12	Papierhandtuchspender befüllen
56	Befüllung Seifenspender-05 WC Herren EG	11	Seifenspender befüllen und feucht reinigen
57	Befüllung Seifenspender-06 WC Herren EG	11	Seifenspender befüllen und feucht reinigen
60	Befüllung Seifenspender-11 WC Damen EG	11	Seifenspender befüllen und feucht reinigen
61	Befüllung Seifenspender-12 WC Damen EG	11	Seifenspender befüllen und feucht reinigen
65	Entleerung Abfallbehälter 03 Eingangshalle	16	Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
66	Entleerung Abfallbehälter 04 Eingangshalle	16	Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
39	Entleerung Abfalleimer WC Damen EG	16	Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
40	Entleerung Abfalleimer WC Herren EG	16	Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
21	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	9	WC-Bürste austauschen
22	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC	9	WC-Bürste austauschen
24	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	9	WC-Bürste austauschen
23	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	9	WC-Bürste austauschen
72	Nassreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
73	Nassreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
74	Nassreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
75	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
76	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
79	Nassreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
80	Nassreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
84	Reinigung Aktenschrank 86 Eingangshalle	23	Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen, Leuchten nass reinigen
85	Reinigung Aktenschrank 87 Eingangshalle	23	Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen, Leuchten nass reinigen
86	Reinigung Aktenschrank 88 Eingangshalle	23	Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen, Leuchten nass reinigen
35	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	15	Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.

36	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	15	Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.
59	Reinigung Schamwand WC Herren EG	29	Nass wischen
62	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	29	Nass wischen
63	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	29	Nass wischen
64	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	29	Nass wischen
48	Reinigung Toilettenschüssel-07 WC Damen EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
49	Reinigung Toilettenschüssel-08 WC Damen EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
50	Reinigung Toilettenschüssel-09 WC Damen EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
51	Reinigung Toilettenschüssel-10 WC Herren EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
52	Reinigung Urinal-07 WC Herren EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
53	Reinigung Urinal-08 WC Herren EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
54	Reinigung Urinal-09 WC Herren EG	6	WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
67	Trockenreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
68	Trockenreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
69	Trockenreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
70	Trockenreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
71	Trockenreinigung Loungechair 05 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
77	Trockenreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
78	Trockenreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
28	Wechsel Toilettenpapier01 WC-Herren	20	Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
25	Wechsel Toilettenpapier02 WC-Damen	13	Toilettenpapier auffüllen
26	Wechsel Toilettenpapier03 WC-Damen	13	Toilettenpapier auffüllen
27	Wechsel Toilettenpapier12 WC-Damen	13	Toilettenpapier auffüllen
37	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG	15	Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.

87	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG	14	Textilbeläge saugen inkl. Fleckenentfernung
88	Befüllung Hygienespender-35 WC Damen	10	Hygienespender befüllen

Übersicht der Aufträge mit Tätigkeitsgruppen

ID	Auftrag (Beschreibung)	Tätigkeitsgruppe (Bezeichnung)
14	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	T1-Unterhaltsreinigung
20	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	T2-Unterhaltsreinigung Sanitär
29	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	T2-Unterhaltsreinigung Sanitär
44	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG	T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen
45	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG	T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen
46	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG	T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen
47	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG	T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen

Übersicht in Tätigkeitsgruppen enthaltene Tätigkeiten

T1-Unterhaltsreinigung
Spinnweben entfernen
Polstermöbel, Stühle, Couch, Sitzflächen/Sitzgelegenheiten je nach Beschaffenheit feucht/nass reinigen, Flecken entfernen, Gestelle und Unterseiten reinigen
Wandeinbauten, Wandschalter, Steckdosen, Bedienelemente je nach Beschaffenheit nass/feucht reinigen
Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.
Textilbeläge saugen inkl. Fleckenentfernung
Hygienespender befüllen
Oberflächen von Schreibtischen, Rollcontainern, Schränken, Regalen, Leuchten nass reinigen
T2-Unterhaltsreinigung Sanitär
Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
Spritzbereich nass reinigen
Fliesen-, Trenn- und Schamwände nass reinigen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
WC-Bürste nass reinigen
Hygienespender befüllen
Seifenspender befüllen und feucht reinigen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen
Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.
WC-Becken mit Sitz und Deckel, Urinale nass reinigen
WC-Bürste austauschen
Kalk entfernen
Papierhandtuchspender befüllen
Fliesen-, Trenn- und Schamwände nass reinigen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
WC-Bürste nass reinigen
Hygienespender befüllen
Seifenspender befüllen und feucht reinigen
Papierhandtuchspender befüllen
Alle Hart- und elastischen Bodenbeläge, Stein-, Kunststeinbodenbeläge, Gumminoppen, Holz-, Parkettbodenbeläge einschließlich der Sockelleisten inkl. unter den Einrichtungsgegenständen je nach Beschaffenheit maschinell polieren, cleanern, pflegen etc.

Inhalte von Abfallbehältern entleeren und mit Abfallsäcken bestücken
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Kalk entfernen
WC-Bürste austauschen
Spritzbereich nass reinigen
T3-Reinigung Waschbecken und Armaturen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Waschbecken, Spülbecken etc. nass reinigen
Armaturen, Halte- und Stützgriffe etc. nass reinigen und Kalkansätze entfernen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen
Spiegel, Ablagen und Auflagen nass reinigen

Anhang A12: Evaluierte Entscheidungen

ID	Entscheidung (Beschreibung)	Opportuner EEG	Auslöseerfüllungsgrad	Entscheidungsart
43	Befüllung Hygienespender 19 Eingangshalle	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
44	Befüllung Hygienespender 20 Eingangshalle	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
45	Befüllung Hygienespender 21 Eingangshalle	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
46	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
47	Befüllung Papierhandtuchspender WC Damen EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
48	Befüllung Hygienespender-35 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
49	Befüllung Papierhandtuchspender WC Herren EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
50	Befüllung Seifenspender-05 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
51	Befüllung Seifenspender-06 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
52	Befüllung Seifenspender-11 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
53	Befüllung Seifenspender-12 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
54	Entleerung Abfallbehälter 03 Eingangshalle	60,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
55	Entleerung Abfallbehälter 04 Eingangshalle	60,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
56	Entleerung Abfalleimer WC Damen EG	60,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
57	Entleerung Abfalleimer WC Herren EG	60,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
58	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
58	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
59	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
60	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
61	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
62	Nassreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
63	Nassreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
64	Nassreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
65	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
66	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
67	Nassreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
68	Nassreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
69	Reinigung Aktenschrank 86 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
70	Reinigung Aktenschrank 87 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
71	Reinigung Aktenschrank 88 Eingangshalle	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	60,00%	nicht erforderlich	MEHRHEITS-Entscheidung

73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	60,00%	nicht erforderlich	MEHRHEITS-Entscheidung
74	Reinigung Schamwand WC Herren EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
75	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
76	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
77	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	80,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
78	Reinigung Toilettenschüssel-07 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
79	Reinigung Toilettenschüssel-08 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
80	Reinigung Toilettenschüssel-09 WC Damen EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
81	Reinigung Toilettenschüssel-10 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
82	Reinigung Urinal-07 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
83	Reinigung Urinal-08 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
84	Reinigung Urinal-09 WC Herren EG	70,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
85	Trockenreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
86	Trockenreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
87	Trockenreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
88	Trockenreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
89	Trockenreinigung Loungechair 05 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
90	Trockenreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
91	Trockenreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	95,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
92	Wechsel Toilettenpapier01 WC-Herren	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
93	Wechsel Toilettenpapier02 WC-Damen	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
94	Wechsel Toilettenpapier03 WC-Damen	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
95	Wechsel Toilettenpapier12 WC-Damen	90,00%	100,00%	MITTELWERT-Entscheidung
96	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG	70,00%	nicht erforderlich	ODER-Entscheidung
97	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG	70,00%	nicht erforderlich	ODER-Entscheidung
98	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG	70,00%	nicht erforderlich	ODER-Entscheidung
99	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG	70,00%	nicht erforderlich	ODER-Entscheidung
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	70,00%	80,00%	MITTELWERT-Entscheidung
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	46,00%	60,00%	MITTELWERT-Entscheidung
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	70,00%	nicht erforderlich	MEHRHEITS-Entscheidung
103	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	65,00%	nicht erforderlich	MEHRHEITS-Entscheidung
104	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	65,00%	nicht erforderlich	UND-Entscheidung

105	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	65,00%	nicht erforderlich	UND-Entscheidung
106	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	65,00%	nicht erforderlich	UND-Entscheidung

Entscheidungen, zugehörige Auswertungen, UG, OG und Sensor

ID	Entscheidungen (Beschreibung)	Auswertung (Beschreibung)	UG	OG	Sensorname
43	Befüllung Hygienespender 19 Eingangshalle	Füllstand Desinfektion19 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_19_101
44	Befüllung Hygienespender 20 Eingangshalle	Füllstand Desinfektion20 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_20_101
45	Befüllung Hygienespender 21 Eingangshalle	Füllstand Desinfektion21 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_21_101
46	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG	Füllstand Desinfektion37 WC-Herren EG	10	500	Sens_Füllstand-Des_37_111
47	Befüllung Papierhandtuchspender WC Damen EG	Füllstand Papierspender01 WC-Damen EG	10	1000	Sens_FüllstandPH02_112
48	Befüllung Hygienespender-35 WC Damen EG	Füllstand Desinfektion35 WC-Damen EG	10	500	Sens_Füllstand-Des_35_112
49	Befüllung Papierhandtuchspender WC Herren EG	Füllstand Papierspender02 WC-Herren EG	10	1000	Sens_FüllstandPH01_111
50	Befüllung Seifenspender-05 WC Herren EG	Füllstand Seifenspender05 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife05_111
51	Befüllung Seifenspender-06 WC Herren EG	Füllstand Seifenspender06 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife06_111
52	Befüllung Seifenspender-11 WC Damen EG	Füllstand Seifenspender11 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife11_112
53	Befüllung Seifenspender-12 WC Damen EG	Füllstand Seifenspender12 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife12_112
54	Entleerung Abfallbehälter 03 Eingangshalle	Füllstand Abfalleimer03 Eingangshalle	0	40	Sens_FüllstandAbf03_101
55	Entleerung Abfallbehälter 04 Eingangshalle	Füllstand Abfalleimer04 Eingangshalle	0	40	Sens_FüllstandAbf04_101
56	Entleerung Abfalleimer WC Damen EG	Füllstand Abfalleimer WC-Damen EG 112	0	40	Sens_FüllstandAbf51_112
57	Entleerung Abfalleimer WC Herren EG	Füllstand Abfalleimer WC-Herren EG 111	0	40	Sens_FüllstandAbf50_111
58	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	Austausch WC-Bürste07 Damen EG	0	900	Sens_WCBürste07_112
58	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	0	1000	Sens_WCBürste07_112
59	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC	Austausch WC-Bürste08 Damen EG	0	900	Sens_WCBürste08_112
59	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste08 Damen WC	0	1000	Sens_WCBürste08_112
60	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	Austausch WC-Bürste11 Herren EG	0	900	Sens_WCBürste11_111
60	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	0	1000	Sens_WCBürste12_112
61	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	Austausch WC-Bürsten12 Damen EG	0	900	Sens_WCBürste12_112
61	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	0	1000	Sens_WCBürste11_111
62	Nassreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 01 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge01_101
63	Nassreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 02 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge02_101
64	Nassreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 03 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge03_101

65	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 04 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge04_101
66	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 05 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge05_101
67	Nassreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_01 Nassreinigung	0	200	Sens_GewichtSE01_101
68	Nassreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_01 Nassreinigung	0	200	Sens_GewichtSE02_101
69	Reinigung Aktenschrank 86 Eingangshalle	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
70	Reinigung Aktenschrank 87 Eingangshalle	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
71	Reinigung Aktenschrank 88 Eingangshalle	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Betätigung WC-Spülung04 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül04_112
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Betätigung WC-Spülung05 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül05_112
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Betätigung WC-Spülung06 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül06_112
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Armaturnutzung Sanitär Herren EG	0	40	SensInfraWaschbe01_111
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Armaturnutzung Sanitär04 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe04_112
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Füllstand Seifenspende11 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife11_112
72	Reinigung des Fußbodens im Damen WC EG	Füllstand Seifenspende12 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife12_112
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Betätigung WC-Spülung Herren EG	0	20	Sens_Tastspül15_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül01_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül02_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül03_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Armaturnutzung Sanitär Herren EG	0	40	SensInfraWaschbe02_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Armaturnutzung Sanitär03 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe03_112
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Füllstand Seifenspende05 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife05_111
73	Reinigung des Fußbodens im Herren WC EG	Füllstand Seifenspende06 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife06_111
74	Reinigung Schamwand WC Herren EG	Reinigung Schamwand WC-Herren EG	0	300	Sens_Tastspül15_111
75	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül06_112
76	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül04_112
77	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül05_112
78	Reinigung Toilettenschüssel-07 WC Damen EG	Betätigung WC-Spülung06 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül06_112
79	Reinigung Toilettenschüssel-08 WC Damen EG	Betätigung WC-Spülung04 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül04_112
80	Reinigung Toilettenschüssel-09 WC Damen EG	Betätigung WC-Spülung05 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül05_112
81	Reinigung Toilettenschüssel-10 WC Herren EG	Betätigung WC-Spülung Herren EG	0	20	Sens_Tastspül15_111
82	Reinigung Urinal-07 WC Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül01_111

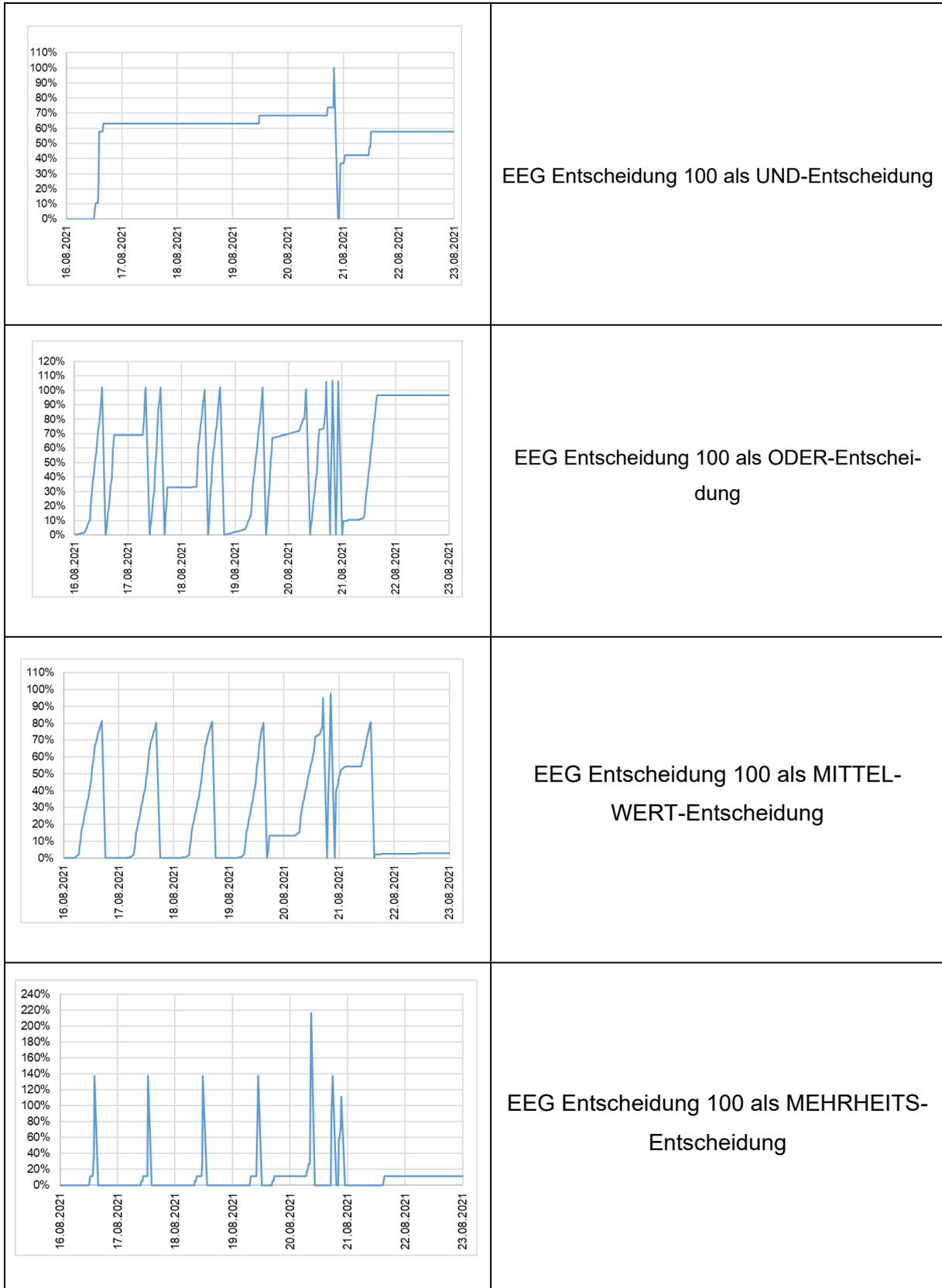
83	Reinigung Urinal-08 WC Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül03_111
84	Reinigung Urinal-09 WC Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül02_111
85	Trockenreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 01 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge01_101
86	Trockenreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 02 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge02_101
87	Trockenreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 03 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge03_101
88	Trockenreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 04 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge04_101
89	Trockenreinigung Loungechair 05 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 05 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge05_101
90	Trockenreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_01	0	20	Sens_GewichtSE01_101
91	Trockenreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_02	0	20	Sens_GewichtSE02_101
92	Wechsel Toilettenpapier01 WC-Herren	Füllstand Toilettenpapier01 WC-Herren EG	10	1000	Sens_FüllstandToilet02_111
93	Wechsel Toilettenpapier02 WC-Damen	Füllstand Toilettenpapier02 WC-Damen EG	10	1000	Sens_FüllstandToilet01_112
94	Wechsel Toilettenpapier03 WC-Damen	Füllstand Toilettenpapier03 WC-Damen EG	10	1000	Sens_FüllstandToilet03_112
95	Wechsel Toilettenpapier12 WC-Damen	Füllstand Toilettenpapier12 WC-Damen EG	10	1000	Sens_FüllstandToilet12_112
96	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG	Armaturnutzung Sanitär04 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe04_112
96	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG	Füllstand Seifenspende12 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife12_112
97	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG	Armaturnutzung Sanitär03 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe03_112
97	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG	Füllstand Seifenspende06 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife06_111
98	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG	Armaturnutzung Sanitär Herren EG	0	40	SensInfraWaschbe01_111
98	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG	Füllstand Seifenspende11 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife11_112
99	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG	Armaturnutzung Sanitär Herren EG	0	40	SensInfraWaschbe02_111
99	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG	Füllstand Seifenspende05 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife05_111
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Frequentierung Eingangshalle trocken	0	200	Sens_Bewegung29_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 01 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge01_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 02 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge02_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 03 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge03_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 04 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge04_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 05 Eingangshalle	0	20	Sens_Gewicht-Lounge05_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Füllstand Desinfektion19 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_19_101

100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Füllstand Desinfektion20 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_20_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Füllstand Desinfektion21 Eingangshalle	10	500	Sens_Füllstand-Des_21_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Füllstand Abfalleimer03 Eingangshalle	0	40	Sens_FüllstandAbf03_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Füllstand Abfalleimer04 Eingangshalle	0	40	Sens_FüllstandAbf04_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_01	0	20	Sens_GewichtSE01_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Sitzecke_02	0	20	Sens_GewichtSE02_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 01 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge01_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 02 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge02_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 03 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge03_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 04 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge04_101
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	Sitzflächenfrequentierung Loungechair 05 Nassreinigung	0	200	Sens_Gewicht-Lounge05_101
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Betätigung WC-Spülung04 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül04_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Betätigung WC-Spülung05 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül05_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Betätigung WC-Spülung06 WC Damen	0	20	Sens_Tastspül06_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Spiegelverschmutzung Damen EG	0	40	Sens_Schmutzpart-Spie05_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Spiegelverschmutzung Damen EG	0	40	Sens_Schmutzpart-Spie06_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Armaturennutzung Sanitär04 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe04_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Armaturennutzung Sanitär03 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe03_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Füllstand Desinfektion35 WC-Damen EG	10	500	Sens_Füllstand-Des_35_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Füllstand Seifenspender11 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife11_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Füllstand Seifenspender12 WC-Damen EG	10	500	Sens_FüllstandSeife12_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Füllstand Papierspender01 WC-Damen EG	10	1000	Sens_FüllstandPH02_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Füllstand Abfalleimer WC-Damen EG 112	0	40	Sens_FüllstandAbf51_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül06_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül04_112
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	0	300	Sens_Tastspül05_112
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Betätigung WC-Spülung Herren EG	0	20	Sens_Tastspül15_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül01_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül02_111

102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Betätigung Urinal-Spülung WC Herren EG	0	20	Sens_Tastspül03_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Spiegelverschmutzung Herren EG	0	40	Sens_Schmutzpart-Spie07_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Spiegelverschmutzung Herren EG	0	40	Sens_Schmutzpart-Spie08_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Armaturnutzung Sanitär Herren EG	0	40	SensInfraWaschbe02_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Armaturnutzung Sanitär04 Damen EG	0	40	SensInfraWaschbe04_112
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Füllstand Desinfektion37 WC-Herren EG	10	500	Sens_Füllstand-Des_37_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Füllstand Seifenspende05 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife05_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Füllstand Seifenspende06 WC-Herren EG	10	500	Sens_FüllstandSeife06_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Füllstand Abfalleimer WC-Herren EG 111	0	40	Sens_FüllstandAbf50_111
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	Reinigung Schamwand WC-Herren EG	0	300	Sens_Tastspül15_111
103	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	Frequentierung Eingangshalle trocken	0	200	Sens_Bewegung29_101
103	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	Witterung Außenbereich trocken	0	60	Sens_reILFAussen
103	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
104	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	Witterung Außenbereich trocken	0	60	Sens_reILFAussen
104	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	Frequentierung Eingangshalle Teppich trocken	0	200	Sens_Bewegung29_101
105	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Staub auf Elementen in Eingangshalle?	0	0,5	Sens_StaubLFL01_101
105	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Frequentierung Eingangshalle nass	0	120	Sens_Bewegung29_101
105	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Witterung Außenbereich nass	75	100	Sens_reILFAussen
106	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Frequentierung Eingangshalle nass	0	120	Sens_Bewegung29_101
106	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Witterung Außenbereich nass	75	100	Sens_reILFAussen
106	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	Frequentierung Teppich Eingangshalle nass	0	120	Sens_Bewegung29_101

Anhang A13: Auswirkung der Entscheidungsart auf Bedarfsentwicklung

Entscheidung 100 als MITTELWERT-Entscheidung mit einem Auslöseerfüllungsgrad von 80%.



Anhang A14: Relationen Auftrag zu Entscheidung

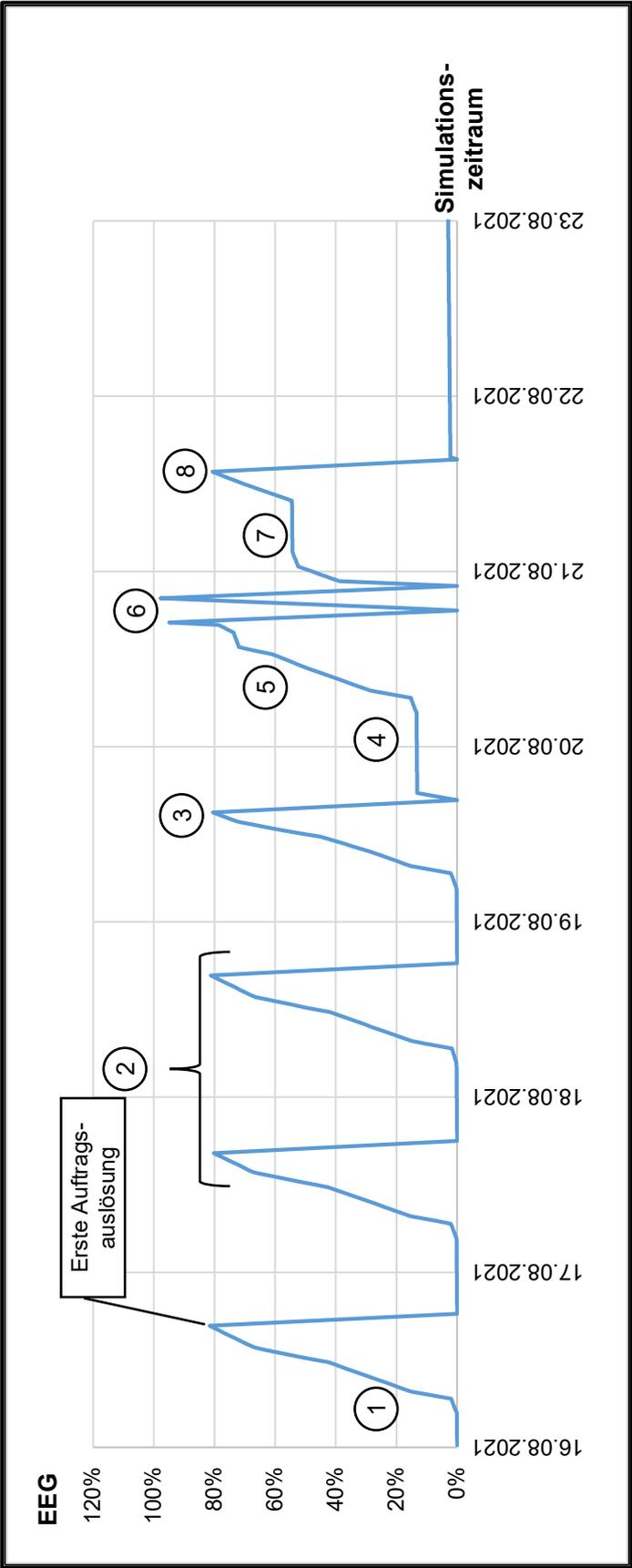
Auftrag		Entscheidung	
ID	Beschreibung	ID	Beschreibung
43	Befüllung Hygienespender 19 Eingangshalle	81	Befüllung Hygienespender 19 Eingangshalle
44	Befüllung Hygienespender 20 Eingangshalle	82	Befüllung Hygienespender 20 Eingangshalle
45	Befüllung Hygienespender 21 Eingangshalle	83	Befüllung Hygienespender 21 Eingangshalle
46	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG	58	Befüllung Hygienespender-37 WC Herren EG
47	Befüllung Papierhandtuchspender WC Damen EG	41	Befüllung Papierhandtuchspender WC Damen EG
48	Befüllung Hygienespender-35 WC Damen EG	88	Befüllung Hygienespender-35 WC Damen
49	Befüllung Papierhandtuchspender WC Herren EG	42	Befüllung Papierhandtuchspender WC Herren EG
50	Befüllung Seifenspender-05 WC Herren EG	56	Befüllung Seifenspender-05 WC Herren EG
51	Befüllung Seifenspender-06 WC Herren EG	57	Befüllung Seifenspender-06 WC Herren EG
52	Befüllung Seifenspender-11 WC Damen EG	60	Befüllung Seifenspender-11 WC Damen EG
53	Befüllung Seifenspender-12 WC Damen EG	61	Befüllung Seifenspender-12 WC Damen EG
54	Entleerung Abfallbehälter 03 Eingangshalle	65	Entleerung Abfallbehälter 03 Eingangshalle
55	Entleerung Abfallbehälter 04 Eingangshalle	66	Entleerung Abfallbehälter 04 Eingangshalle
56	Entleerung Abfalleimer WC Damen EG	39	Entleerung Abfalleimer WC Damen EG
57	Entleerung Abfalleimer WC Herren EG	40	Entleerung Abfalleimer WC Herren EG
58	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC	21	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste07 Damen WC
59	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC	22	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste09 Damen WC
60	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC	24	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste11 Herren WC
61	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC	23	Entsorgung und Wechsel WC-Bürste12 Damen WC
62	Nassreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	72	Nassreinigung Loungechair 01 Eingangshalle
63	Nassreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	73	Nassreinigung Loungechair 02 Eingangshalle
64	Nassreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	74	Nassreinigung Loungechair 03 Eingangshalle
65	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	75	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle
66	Nassreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	76	Nassreinigung Loungechair 05 Eingangshalle
67	Nassreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	79	Nassreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle
68	Nassreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	80	Nassreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle
69	Reinigung Aktenschrank 86 Eingangshalle	84	Reinigung Aktenschrank 86 Eingangshalle
70	Reinigung Aktenschrank 87 Eingangshalle	85	Reinigung Aktenschrank 87 Eingangshalle
71	Reinigung Aktenschrank 88 Eingangshalle	86	Reinigung Aktenschrank 88 Eingangshalle
72	Reinigung des Fußboden im Damen WC EG	35	Reinigung des Fußboden im Damen WC EG
73	Reinigung des Fußboden im Herren WC EG	36	Reinigung des Fußboden im Herren WC EG

74	Reinigung Schamwand WC Herren EG	59	Reinigung Schamwand WC Herren EG
75	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG	62	Reinigung Schamwand-07 WC Damen EG
76	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG	63	Reinigung Schamwand-08 WC Damen EG
77	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG	64	Reinigung Schamwand-09 WC Damen EG
78	Reinigung Toilettenschüssel-07 WC Damen EG	48	Reinigung Toilettenschüssel-07 WC Damen EG
79	Reinigung Toilettenschüssel-08 WC Damen EG	49	Reinigung Toilettenschüssel-08 WC Damen EG
80	Reinigung Toilettenschüssel-09 WC Damen EG	50	Reinigung Toilettenschüssel-09 WC Damen EG
81	Reinigung Toilettenschüssel-10 WC Herren EG	51	Reinigung Toilettenschüssel-12 WC Herren EG
82	Reinigung Urinal-07 WC Herren EG	52	Reinigung Urinal-07 WC Herren EG
83	Reinigung Urinal-08 WC Herren EG	53	Reinigung Urinal-08 WC Herren EG
84	Reinigung Urinal-09 WC Herren EG	54	Reinigung Urinal-09 WC Herren EG
85	Trockenreinigung Loungechair 01 Eingangshalle	67	Trockenreinigung Loungechair 01 Eingangshalle
86	Trockenreinigung Loungechair 02 Eingangshalle	68	Trockenreinigung Loungechair 02 Eingangshalle
87	Trockenreinigung Loungechair 03 Eingangshalle	69	Trockenreinigung Loungechair 03 Eingangshalle
88	Trockenreinigung Loungechair 04 Eingangshalle	70	Trockenreinigung Loungechair 04 Eingangshalle
89	Trockenreinigung Loungechair 05 Eingangshalle	71	Trockenreinigung Loungechair 05 Eingangshalle
90	Trockenreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle	77	Trockenreinigung Sitzecke 01 Eingangshalle
91	Trockenreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle	78	Trockenreinigung Sitzecke 02 Eingangshalle
92	Wechsel Toilettenpapier01 WC-Herren	28	Wechsel Toilettenpapier01 WC-Herren
93	Wechsel Toilettenpapier02 WC-Damen	25	Wechsel Toilettenpapier02 WC-Damen
94	Wechsel Toilettenpapier03 WC-Damen	26	Wechsel Toilettenpapier03 WC-Damen
95	Wechsel Toilettenpapier12 WC-Damen	27	Wechsel Toilettenpapier12 WC-Damen
96	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG	45	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Damen EG
97	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG	47	Reinigung Waschbecken und Armatur (Tür) WC Herren EG
98	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG	44	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Damen EG
99	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG	46	Reinigung Waschbecken und Armatur (Wand) WC Herren EG
100	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle	14	Unterhaltsreinigung EG-Eingangshalle
101	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG	20	Unterhaltsreinigung WC-Damen EG
102	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG	29	Unterhaltsreinigung WC-Herren EG
103	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	37	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG
104	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (trockenes Wetter)	87	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG
105	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	37	Reinigung des Fußbodens in der Eingangshalle EG
106	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG (nasses Wetter)	87	Reinigung des Eingangsbereichs in der Eingangshalle EG

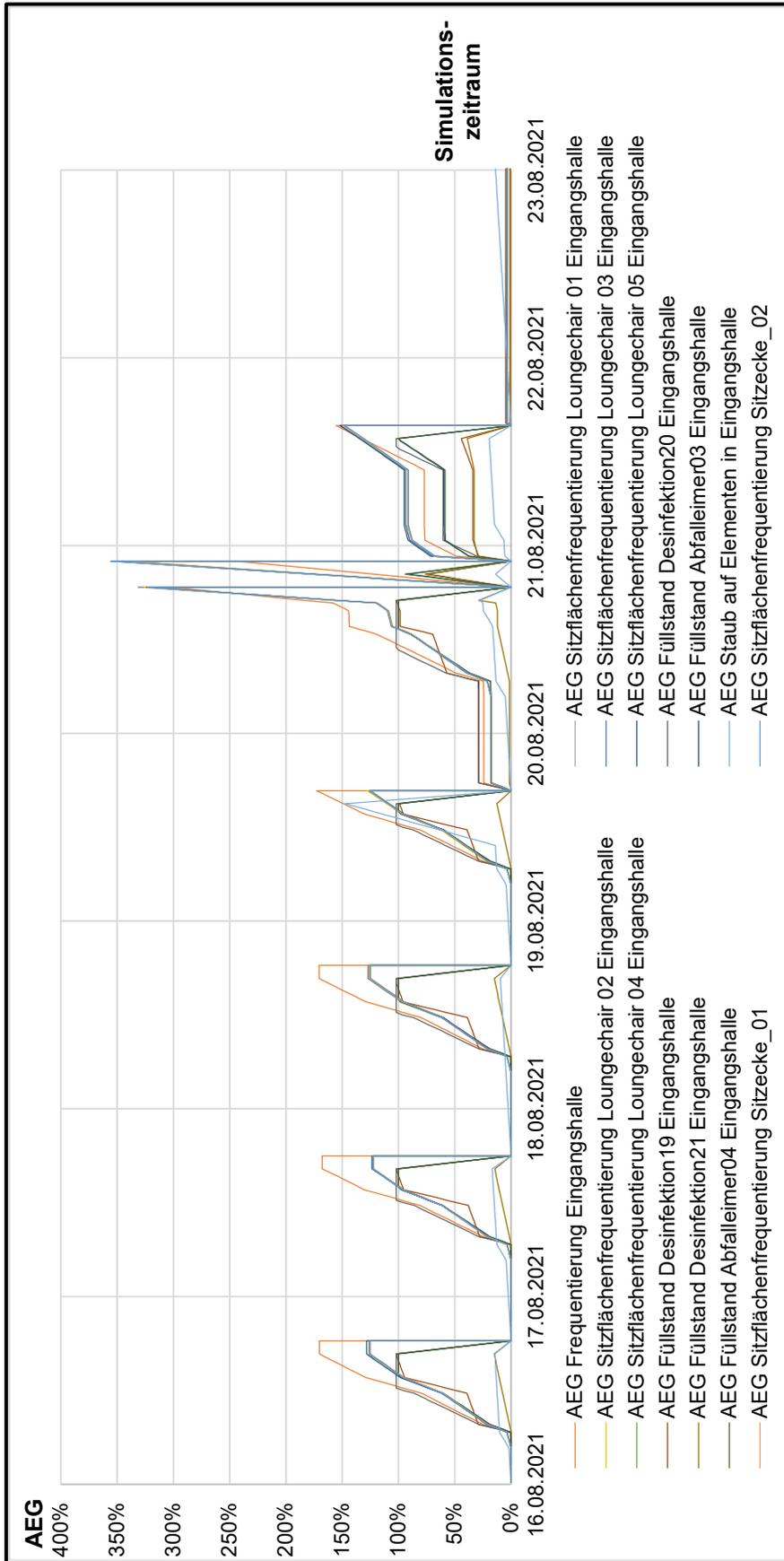
Anhang A15: Elemente der Elementgruppen

Elementgruppe: E1-Eingangshalle
DesinfektionMS_19
DesinfektionMS_20
DesinfektionMS_21
Abfallbehälter_03
Abfallbehälter_04
Loungechair_01
Loungechair_02
Loungechair_03
Loungechair_04
Loungechair_05
Sitzecke_01
Aktenschrank_86
Aktenschrank_87
Aktenschrank_88
Boden_30
Sitzecke_02
Boden_29
Elementgruppe: E10-Damen WC EG
Papierspender_02
Seifenspender_11
Seifenspender_12
Abfallbehälter_51
WC-Bürste_07
WC-Bürste_08
WC-Bürste_12
Schamwand_07
Schamwand_08
Schamwand_09
WC-Becken_07
WC-Becken_08
WC-Becken_09
Toilettenpapierspender_02
Toilettenpapierspender_03
Toilettenpapierspender_12
DesinfektionMS_35
Boden_57
Elementgruppe: E11-Herren WC EG
DesinfektionMS_37
Papierspender_01
Seifenspender_05
Seifenspender_06
Abfallbehälter_50
WC-Bürste_11
Boden_60
Schamwand_12
Urinal_07
Urinal_08
Urinal_09
Toilettenpapierspender_01
Elementgruppe: E14-Waschtischarmatur und -becken WC Damen EG (Wand)
Waschtischarmatur_01
WC-Waschbecken_11
Spiegel_07
Elementgruppe: E15-Waschtischarmatur und -becken WC Herren EG (Wand)
Waschtischarmatur_03
WC-Waschbecken_05
Spiegel_05
Elementgruppe: E16-Waschtischarmatur und -becken WC Damen EG (Tür)
Waschtischarmatur_02
WC-Waschbecken_12
Spiegel_08
Elementgruppe: E17-Waschtischarmatur und -becken WC Herren EG (Tür)
Waschtischarmatur_04
WC-Waschbecken_06
Spiegel_06

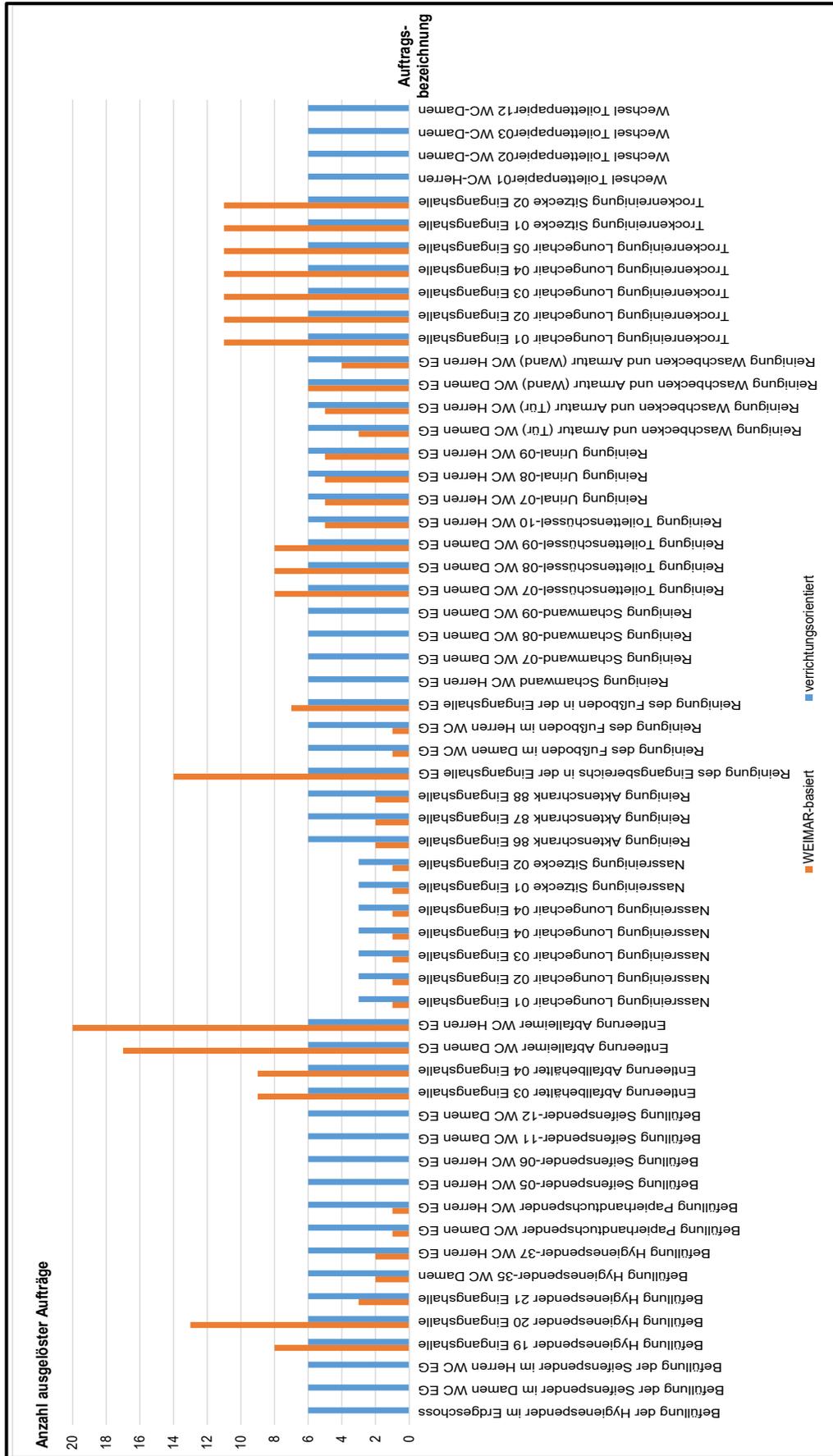
Anhang A16: EEG Unterhaltsreinigung Eingangshalle (vergrößerte Darstellung)



Anhang A17: AEG betrachteter Sensormesswerte für Entscheidung 100



Anhang A18: Anzahl WEIMAR-basierter u. verrichtungsorientierter Auftragsauslösungen



Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren

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

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

Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren