

Zur Anwendbarkeit des Building Information Modeling bei der Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien im Facility Management

Nadine Wills^{1*}, Judith Fauth² und Kay Smarsly¹

¹*Bauhaus-Universität Weimar, Professur Informatik im Bauwesen, Coudraystr. 7, 99423 Weimar*

E-Mail: nadine.wills@uni-weimar.de

²*Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Marienstraße 7A, 99423 Weimar*

Zusammenfassung

Nachhaltigkeit erlangt in vielen Bereichen eine immer größere Bedeutung. Besonders im Bauwesen, speziell im Facility Management (FM), ist ein Entwicklungstrend zu nachhaltigem Handeln deutlich erkennbar. Durch den gezielten Einsatz von Building Information Modeling (BIM) ergeben sich neue Chancen zur Erreichung von FM-Nachhaltigkeitszielen. Es fehlt jedoch an fundierten Analysen von Anwendungsmöglichkeiten zur Realisierung der FM-Nachhaltigkeitsziele durch BIM. In diesem Beitrag werden die Potenziale der Anwendbarkeit von BIM im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategien im Facility Management analysiert, die durch die GEFMA 160-FM-Nachhaltigkeitskriterien definiert werden. Den FM-Nachhaltigkeitskriterien werden BIM-Anwendungsfälle der Gebäudenutzungsphase gegenübergestellt, um die Anwendungsmöglichkeiten von BIM zur Realisierung der FM-Nachhaltigkeitsziele aufzuzeigen. Aus der Gegenüberstellung der BIM-Anwendungsfälle und der FM-Nachhaltigkeitskriterien resultieren Schnittstellen, die hinsichtlich der Anwendbarkeit bewertet werden. Die Anwendbarkeitspotenziale werden gewichtet und maßgebliche Schnittstellen im Detail untersucht. Im Ergebnis wird festgestellt, dass der Einsatz von BIM im Facility Management die Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen unterstützen und somit als Katalysator für die Implementierung von Nachhaltigkeitszielen im Bauwesen dienen kann.

Schlüsselwörter: Building Information Modeling (BIM), Facility Management (FM), Nachhaltigkeit, GEFMA 160, Schnittstellenanalyse

1 Einleitung

In Deutschland etabliert sich ein Leitmarkt für Energie- und Ressourceneffizienz in der Immobilienbranche und im Facility Management (Weixler 2013). Das Facility Management (FM) fokussiert alle Lebenszyklusphasen von Gebäuden, primär jedoch die Nutzungsphase, und hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die Verwirklichung der Ziele der Energiewende. Im Gebäudesektor werden beispielsweise 40% der Endenergie für Beheizung, Beleuchtung und Warmwasser aufgewendet. Ein ressourcenschonender Einsatz der Endenergie kann durch ein effizientes FM erreicht werden. FM ist hierbei als Gesamtheit aller Leistungen zur optimalen Nutzung der betrieblichen Infrastruktur auf der Grundlage einer ganzheitlichen Strategie zu verstehen, die alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes betrachtet (Diederichs 2006).

Aktivitäten in allen Lebenszyklusphasen von Gebäuden können durch Building Information Modeling (BIM) unterstützt werden. BIM ist eine Methode, die im Bausektor bereits vielfach Anwendung findet und in Deutschland bis zum Jahr 2020 stufenweise bei Großprojekten im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur eingeführt werden soll (BMVI 2015). Durch die BIM-Methode können Informationen von der Planungsphase über die Bauphase bis in die Nutzungsphase eines Gebäudes für die Gebäudebewirtschaftung genutzt werden. Die Anwendung von BIM soll einen durchgängigen Informationsaustausch zwischen allen Beteiligten über den Lebenszyklus von Gebäuden ermöglichen, um Informationsverluste und damit Fehler bei der Informationsübergabe zu vermeiden. Ferner soll die Produktivität des Planungs-, Errichtungs- und Bewirtschaftungsprozesses von Gebäuden gesteigert werden. Bei der Anwendung der BIM-Methode wird ein Bauwerksinformationsmodell, d.h. ein digitales Abbild eines bestehenden oder sich in Planung befindlichen Gebäudes, mit semantischen Informationen angereichert und im Idealfall später an das rechnergestützte FM übergeben. Alle für das Gebäude relevanten Informationen werden auf Basis digitaler Modelle verwaltet („Digitaler Zwilling“), womit eine durchgängige und transparente Kommunikation zwischen den Beteiligten erreicht werden kann (van Treeck et al. 2016).

Implementierungsansätze von BIM in das FM sind bislang kaum vorhanden. Eine wesentliche Zielsetzung des FM ist die Unterstützung von Nachhaltigkeit. Durch den Einsatz von BIM im FM können Synergien zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen genutzt werden. Hierbei fehlt es jedoch an fundierten Analysen von Anwendungsmöglichkeiten von BIM zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen.

In diesem Beitrag werden die Wechselwirkungen zwischen BIM und FM im Bereich der Nachhaltigkeitsthematik vorgestellt und mögliche Schnittstellen zwischen BIM und FM unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit aufgezeigt. Auf Basis dieser Schnittstellen wird untersucht, ob bzw. wie der Einsatz von

BIM zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen Anwendung finden kann. Zur Analyse der potenziellen Einsatzgebiete von BIM für die Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen wird eine Schnittstellenanalyse erstellt und Übereinstimmungspotenziale von BIM-Anwendungsfällen und FM-Nachhaltigkeitskriterien analysiert und diskutiert.

Dieser Beitrag ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 2 werden die für diesen Beitrag erforderlichen Grundlagen aus den Gebieten BIM, FM und Nachhaltigkeit herausgearbeitet. Kapitel 3 beschreibt das methodische Vorgehen des Beitrags: Die BIM-Anwendungsfälle und die FM-Nachhaltigkeitskriterien werden definiert, gefolgt von einer Definition und Bewertung der Schnittstellen. Es erfolgt eine Bewertung der Schnittstellen in Form einer Gewichtung mit Punkteverteilung, die basierend auf Literaturrecherchen und Erfahrungswissen entwickelt wurde. Die Ergebnisse der Bewertung werden in Kapitel 4 diskutiert. Eine allgemeine Erläuterung der Schnittstellen mit Betrachtung der BIM-Anwendungsfälle erfolgt hierbei auf Basis der FM-Nachhaltigkeitskriterien. Neben einer allgemeinen Einschätzung der Potenziale der Nachhaltigkeitskriterien wird außerdem exemplarisch eine Betrachtung der FM-Nachhaltigkeitskriterien „Betreiben (DIN 32736)“ und „Catering“ vorgestellt. Der Beitrag schließt mit einem Fazit und einem kurzen Ausblick auf zukünftige Forschungs- und Entwicklungsbedarfe.

2 Stand der Forschung

Dieses Kapitel beschreibt den Stand der Forschung zu BIM und FM im Kontext der Nachhaltigkeit, der die Grundlage für die Durchführung der Schnittstellenanalyse der BIM-Anwendungsfälle und FM-Nachhaltigkeitskriterien bildet. Neben allgemeinen Informationen zu BIM und zu FM bezieht sich dieses Kapitel deshalb insbesondere auf Nachhaltigkeitsaspekte.

2.1 Building Information Modeling

Die Digitalisierung in der Bau- und Gebäudewirtschaft erfährt gegenwärtig national und international hohe Aufmerksamkeit (Streich 2017, Bauer 2018, BMWE 2018, BMVI 2019). Dem voran steht die Implementierung der BIM-Methode in die Gebäudewirtschaft. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bezeichnet BIM im „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ als eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle von Bauwerken die für den Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden können (BMVI 2017). Durch den Einsatz von BIM sollen die Gebäudeplanung (insbesondere Termin- und Kostensicherheit) verbessert, die Transparenz erhöht, die Risiken während der Gebäudeplanung minimiert, und die Kommunikation sowie Schnittstellenkoordination zwischen den Projektbe-

teiligten zuverlässiger gestaltet werden, was schließlich zu einer Senkung von Gesamtprojektkosten führen kann (BMVI 2018). Digitale Gebäudemodelle bilden die physikalischen und funktionellen Eigenschaften von Gebäuden konsistent in Informationsgehalt und -qualität ab und dienen der Entscheidungsfindung während des Lebenszyklus eines Gebäudes. BIM ermöglicht es, Gebäude zunächst digital zu planen, sodass Gebäudemodelle durch die digitale Planung zunächst inhaltlich überprüft, Planungsvarianten visualisiert, Kollisionen erkannt, Kosten ermittelt und (Bau-)Abläufe simuliert werden können (van Treeck et al. 2016). Idealzustand ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Beteiligten an einem digitalen Gebäudemodell in den unterschiedlichen Wertschöpfungsphasen. Abbildung 1 zeigt die Struktur der folgenden Absätze dieses Kapitels anhand der BIM-Einordnung.

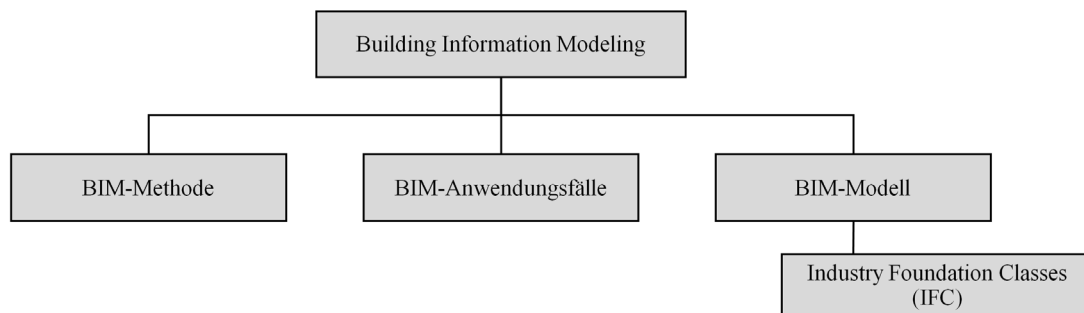


Abbildung 1: BIM-Einordnung.

Die **BIM-Methode** kann nicht nur die Optimierung von Planung und Bauausführung unterstützen, sondern dient auch der Projektsteuerung sowie dem Betrieb von Gebäuden (Westphal und Herrmann 2015). BIM ermöglicht, dreidimensionale Gebäudemodelle durch digitale Informationen zu beschreiben. Weiterführende Informationen wandeln 3D-Gebäudemodelle in 4D-Gebäudemodelle (durch das Hinterlegen von Terminen) und in 5D-Gebäudemodelle (durch das Hinterlegen von Kosten) um. Ferner kann BIM in der Betriebsphase von Gebäuden eingesetzt werden, um den Gebäudebetrieb zu unterstützen, wie bspw. Optimierung von Reinigungszyklen oder Flächenauslastungen (6D-Modell) (Silbe et al. 2017). Die unterschiedlichen Fachplaner eines Gebäudes können die für ihr Gewerk erforderlichen Fachmodelle erstellen und diese über einheitliche Schnittstellen zusammenführen (Schrammel und Wilhelm 2016). Die BIM-Methode dient somit der ganzheitlichen Gebäudeplanung durch alle an der Gebäudeplanung Beteiligten (Smarsly 2019). BIM wird im Zusammenhang mit digitalen Methoden im Management, mit Kooperationskonzepten, mit Kollisionserkennungen in 3D-Modellen oder mit visueller Programmierung angewendet (Smarsly et al. 2017).

BIM-Anwendungsfälle werden in verschiedenen Bereichen der Gebäudeplanung betrachtet. Beispielsweise ergeben sich durch die Kopplung von BIM und innovativer Sensortechnologie im Bereich des Brandschutzes und im Bauwerksmonitoring BIM- und sensorbasierte Methoden zur Ortung von Gebäudenutzern und Rettungskräften sowie zur Wegeberechnung zwischen Brandherd und eingeschlossenen Personen innerhalb von Gebäuden (Rüppel und Smarsly 2019). Einen weiteren BIM-Anwendungsfall

stellt die sog. „digitale Straße“ dar, bei der BIM-standardisierte Datenformate, wie die Industry Foundation Classes (IFC) genutzt werden, um verkehrsbedingte Informationen formal zu beschreiben und einen konsistenten Informationsaustausch zu ermöglichen (Mirboland und Smarsly 2019). Ebenso können Prozesse und Steuerungen von Betondruck mit BIM durchgeführt werden: So werden derzeit Anwendungen im Betondruck erprobt, um spezifische Herstellungsparameter BIM-basiert vorzuhalten und hochwertige, additiv gefertigte Betonbauteile zu produzieren (Peralta et al. 2019). BIM-Anwendungsfälle sind jedoch nicht nur in der Planungs- und Errichtungsphase von Gebäuden vorhanden, sondern ebenso in der Betriebsphase. BIM- Anwendungsfälle (in der Betriebsphase von Gebäuden) werden in Kapitel 3.1.1 ausführlich beschrieben.

BIM-Modelle dienen der digitalen Beschreibung von Bauwerksgeometrien, angereichert mit zusätzlicher Semantik. Die Forschung und die Entwicklung im BIM-Bereich verfolgen aktuell, neben der klassischen Beschreibung von Bauwerksinformationen, unterschiedliche Ziele; beispielsweise ist die Beschreibung von Sensorinformationen von besonderem Interesse (Theiler et al. 2018). Eine standardisierte, BIM-basierte Beschreibung von Sensorinformationen würde es ermöglichen, Sensorsysteme – beispielsweise für das sensorgestützte FM – einheitlich zu beschreiben und zu dokumentieren (Theiler und Smarsly 2018). Generell ist das Ziel, die standardisierte, BIM-basierte Beschreibung von Bauwerken des klassischen Hochbaus auf andere Bauwerke und Infrastruktursysteme, wie Kläranlagen, zu übertragen (Söbke et al. 2018).

Die **Industry Foundation Classes** sind ein offenes Format zum herstellerneutralen Austausch von Gebäudedaten. Die IFC stellen ein objektorientiertes Datenmodell für Gebäude und deren technischer Ausstattung bereit, das u.a. Bauteile, Komponenten und Räume als Objekte repräsentiert und deren Beziehungen untereinander sowie ihre Eigenschaften abbildet (van Treeck et al. 2016). Die IFC liefern eine Datenstruktur, basierend auf Konzepten und Beziehungen der Objekte zueinander, die eine einheitliche Beschreibung von Projektdaten (unabhängig von Projektspezifika oder Software) ermöglicht (Stouffs und Krishnamurti 2001). Gebäudeteile werden als IFC-Objekte repräsentiert, die unterschiedlichen Klassen angehören, z.B. Wände oder Fenster, und untereinander in Beziehung stehen. Jedes IFC-Objekt besitzt Attribute (statisch oder dynamisch), die als Merkmale des Objektes bezeichnet werden können und die Semantik des Objekts bestimmen (Kensek und Noble 2014). Mit der so genannten „IFC-Alignment“-Erweiterung wurde ein erster Schritt hin zur semantischen Beschreibung von Infrastrukturprojekten innerhalb des IFC-Standards unternommen. Ziel ist es, zukünftig auch Straßenquerschnitte bzw. Tunnel- und Brückenbauwerken zu beschreiben (Obergrießer 2017). Nach Eastman et al. (2008) sind die IFC das am häufigsten angewandte Datenaustauschformat. Es werden unterschiedliche IFC-Datenformate verwendet, i.d.R. basierend auf dem STEP-Format oder auf XML-basierten Strukturen (Shalabi und Turkan 2017). Der Datenaustausch in IFC erfolgt zwischen Softwarewerkzeugen, die wiederum durch praxisorientierte Arbeitsabläufe geprägt sind. Den „exportierenden“ Softwareanwendungen ist

bekannt, welche Informationen für „empfangende“ Softwareanwendungen erforderlich, sodass eindeutig definiert werden kann, welche Daten eingelesen werden sollen (Beetz et al. 2015). Es existieren zwei Datenaustausch-Szenarien: Das Austauschszenario „Design-to-Coordination“ verwendet explizite Geometriedarstellungen, da die Geometrien der ausgetauschten (Gebäude-)Modelle nicht verändert wird; bei dem Austauschszenario „Design-to-Design“ werden unterschiedliche BIM-Autorenwerkzeuge ausgetauscht, was die Weiterverarbeitung von Modellen ermöglicht. Die Geometrien der transportierten Modelle muss die empfangenen Applikationen modifizieren (BMVI 2019a).

Die Vorteile von IFC sind die vielfältige Anwendbarkeit: IFC-Dateien finden nicht nur in der Errichtungsphase eines Gebäudes Anwendung, sondern können auch für den Gebäudebetrieb im FM genutzt werden (Shalabi und Turkan 2017), beispielsweise zur Planung von innenliegenden Gebäudewegen im Rahmen der Umnutzungsphase eines Gebäudes (Lin et al. 2013), zur dreidimensionalen Modellierung und Planung von Havarieszenarien, wie z.B. Personenverkehrsströmungen im Brandfall (Tashakkori et al. 2015) oder zur Planung von Bauwerksmonitoringsystemen (Ibanez et al. 2019). Ein Nachteil von IFC ist u.U. die ausgeprägte Redundanz, d.h. Objekte, Beziehungen und Attribute können auf unterschiedliche Weisen definiert werden, was dazu führen kann, dass der Datenaustausch zwischen Modellen in der Darstellung und Wiedergabe der Informationen inkonsistent werden kann (Sacks et al. 2010).

2.2 Facility Management

BIM-Modelle enthalten Informationen, die neben der Gebäudeplanung auch für das Facility Management relevant sind. Informationen zum FM beziehen sich i.d.R. auf gebäudespezifische Daten und Prozesse, die für die Planungs-, Erstellung-, Betriebs- oder Verwertungsphase von Gebäuden relevant sind, z.B. Stellplatzanforderungen oder Brandschutzkonzepte (Gefma 2004).

Eine einheitliche und allgemeingültige Definition des Begriffs Facility Management existiert nicht. Die „German Facility Management Association“ (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 Unternehmens-Kernprozesse und Erhöhung der Kapitalrentabilität bewirkt (Gefma 2004). Die GEFMA forciert die Normung und 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 2019). Ein Ergebnis der GEFMA-Normungstätigkeit ist das GEFMA-Richtlinienwerk, bestehend aus neun Richtlinien, d.h. Kategorien. Die Kategorien des GEFMA-Richtlinienwerks gliedern sich in Unterkategorien. Abbildung 2 zeigt das GEFMA-Richtlinienwerk mit den neun Kategorien und deren Unterkategorien der Jahre 1996 bis 2019.

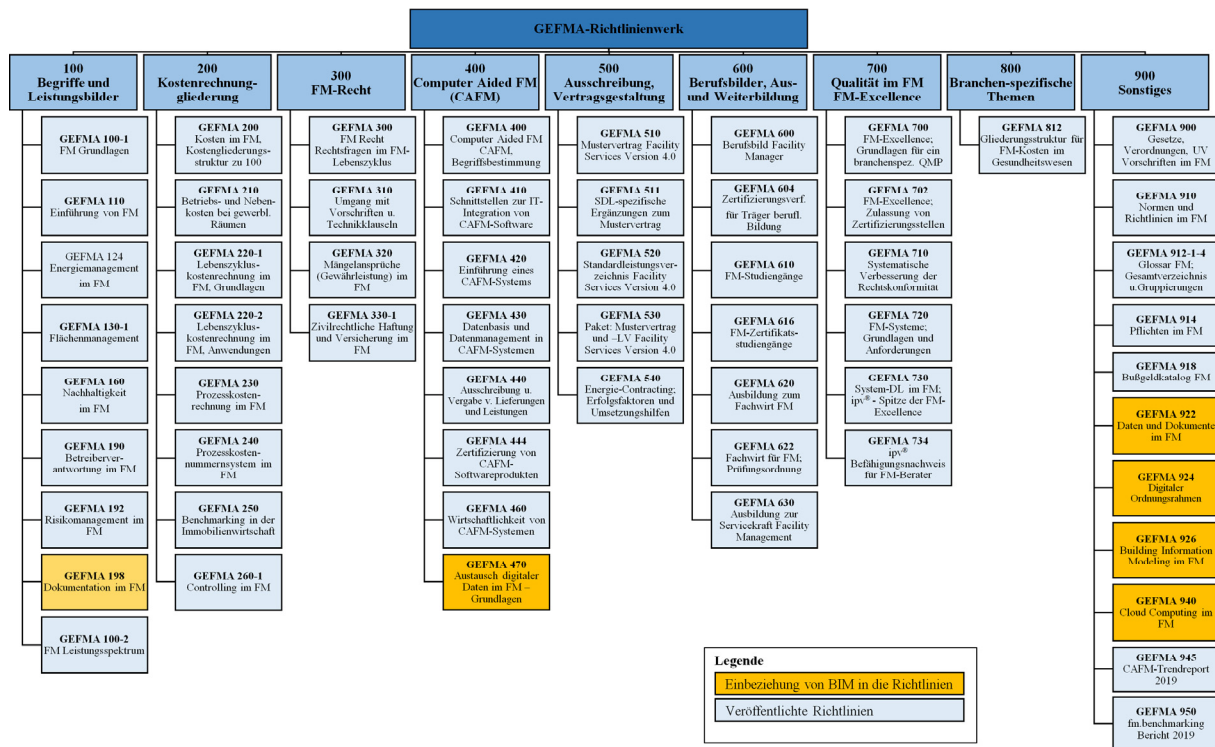


Abbildung 2: GEFMA-Richtlinienwerk von 1996-2019.

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 Abbildung 2 sind orange abgebildet. Diese Richtlinien werden unter spezieller Beachtung des BIM-Aspekts weiterentwickelt, da die Integration von BIM in das FM für die IT-Unterstützung des Lebenszyklus von Gebäuden zunehmend wichtiger wird (Semmler 2018). 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 Computer-Aided Facility Management (CAFM) und gibt Anwendungsbeispiele für BIM sowohl im Bestand als auch in der Nutzungsphase von Gebäuden (Gefma 2017a).

Die GEFMA strukturiert FM in insgesamt neun Lebenszyklusphasen eines Gebäudes: Konzeption, Planung, Errichtung, Vermarktung, Beschaffung, Betrieb und Nutzung, Umbau, Leerstand und Verwaltung. Jede der neun Lebenszyklusphasen ist in Facility-Prozesse gegliedert. Obschon sich die GEFMA-Richtlinien inhaltlich an den Lebenszyklusphasen von Gebäuden orientieren, spiegeln sich diese nicht kongruent in den Richtlinien, die zudem andere Bezeichnungen als die Lebenszyklusphasen tragen, wider: Begriffe und Leistungsbilder, Kostenrechnungsgliederung, FM-Recht, CAFM, Ausschreibung, Vertragsgestaltung, Berufsbilder, Aus- und Weiterbildung, Qualität im FM, Branchenspezifische Themen und Sonstiges. Im FM werden kontinuierlich verlässliche Informationen, bezogen auf jede der neun Lebenszyklusphasen, benötigt, um einen störungsfreien Gebäudebetrieb gewährleisten zu können. Diese

Informationen beziehen sich auf Planungs-, Anlage-, Instandhaltungs- und Betriebsinformationen. Eine generelle Herausforderung bei FM-Informationen ist, dass diese inhärent dynamisch sind, sodass die Anforderungsprofile von Unternehmen (unabhängig von der Branche) schwierig zu bedienen sind (Braun und Pütter 2007). Um das Problem der dynamischen Änderung von Informationen zu reduzieren, ist eine kontinuierliche Informationsauswertung zur Identifikation von Schwachstellen innerhalb von Abläufen und Prozessen 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. Ein Ansatz, um dieser Problematik entgegen zu wirken, basiert auf neuen Konzepten der Digitalisierung, beispielsweise durch den Einsatz von CAFM-Systemen zur computerbasierten Unterstützung des Gebäudemanagements, durch Service-Robotik zur Übernahme einfacher oder repetitiver Leistungen, z.B. zum Reinigen großer Flächen ohne Hindernisse, zum Mähen von Rasenflächen oder durch den Einsatz von Drohnen zur Gebäudeerfassung (Ball 2018).

Im Kontext des FM bedeutet Digitalisierung insbesondere Computerunterstützung sowie den Einsatz mobiler Endgeräte zur Steuerung technischer, gebäudebezogener Anlagen und Einrichtungen. Durch die ganzheitliche Betrachtung aller mit einem Gebäude in Zusammenhang stehenden Prozesse wird im folgenden Unterkapitel der Aspekt der Nachhaltigkeit in den Fokus gerückt werden.

2.3 Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit lässt sich aus politischer, ökonomischer, soziologischer und ökologischer Sicht definieren. In diesem Beitrag wird der Begriff Nachhaltigkeit im Sinne der ökonomischen, sozialen und ökologischen Dimension verwendet. Im Brudtland-Bericht der Vereinten Nationen von 1987 wird nachhaltige Entwicklung als eine Entwicklung definiert, die dafür Sorge trägt, dass künftige Generationen nicht schlechter gestellt sind, als die gegenwärtig lebenden Generationen, um ihre Bedürfnisse zu befriedigen (Deutscher Bundestag 1998). Materielle und immaterielle Ressourcen sollen geschützt werden, insbesondere dann, wenn sie nicht erneuerbar sind (Hauff und Kleine 2014). Nachhaltigkeit ist eine Form des ökologischen und ökonomischen Handelns, die gegenwärtigen und zukünftigen Generationen vergleichbare Lebensbedingungen ermöglichen soll (Grundwald und Kopfmüller 2012).

Im Bereich des FM wird Nachhaltigkeit u.a. in Form von Zertifizierungssystemen und nachhaltiger Gebäudeplanung kommuniziert. Nachhaltiges Gebäudemanagement kann in Form von Zertifizierungssystemen nachgewiesen werden. In Deutschland sind folgende Systeme der Zertifizierung von Nachhaltigkeit in der Gebäudebranche gebräuchlich: Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (DGNB), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) und Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) (Peltzeter 2014). DGNB ist ein in Deutschland, LEED ist ein

in den USA und BREEAM ist ein in Großbritannien entwickeltes Zertifizierungssystem. Da die Kennzahlen der Ressourcenverbräuche, die im Rahmen dieser Zertifizierungssysteme ermittelt werden, jedoch keine Aussagen über die kontinuierliche Verbesserung der ökologischen und sozialen Wirkung auf Gebäude formulieren, entwickelt die GEFMA *Nachhaltigkeitskategorien*, wobei jede Kategorie wiederum in *Nachhaltigkeitskriterien* unterteilt ist. Die Nachhaltigkeitskriterien sind in der GEFMA 160-Richtlinie definiert und dienen der systematischen Nachhaltigkeitsmessung im FM (Peltzeter 2014). Die Messung der Nachhaltigkeit bezogen auf die GEFMA 160 beruft sich auf definierte Nachhaltigkeitsziele, die es seitens des Gebäudebetreibers zu erfüllen gilt (Gefma 2017). Die GEFMA 160-Richtlinie bezieht sich derzeit auf Büro- und Verwaltungsgebäude und wird nach GEFMA-Angaben zukünftig auf weitere Gebäudetypen anwendbar sein (Gefma 2019a).

3 Methodisches Vorgehen

Derzeit existiert keine einheitliche Klassifizierung allgemeingültiger BIM-Anwendungsfälle (wie z.B. Detailplanung oder dreidimensionale Modellierung). Vielmehr existiert eine Vielzahl unterschiedlicher BIM-Anwendungsfälle, die für den Bausektor relevant sind. Abbildung 3 stellt das methodische Vorgehen dieses Beitrags visuell dar.

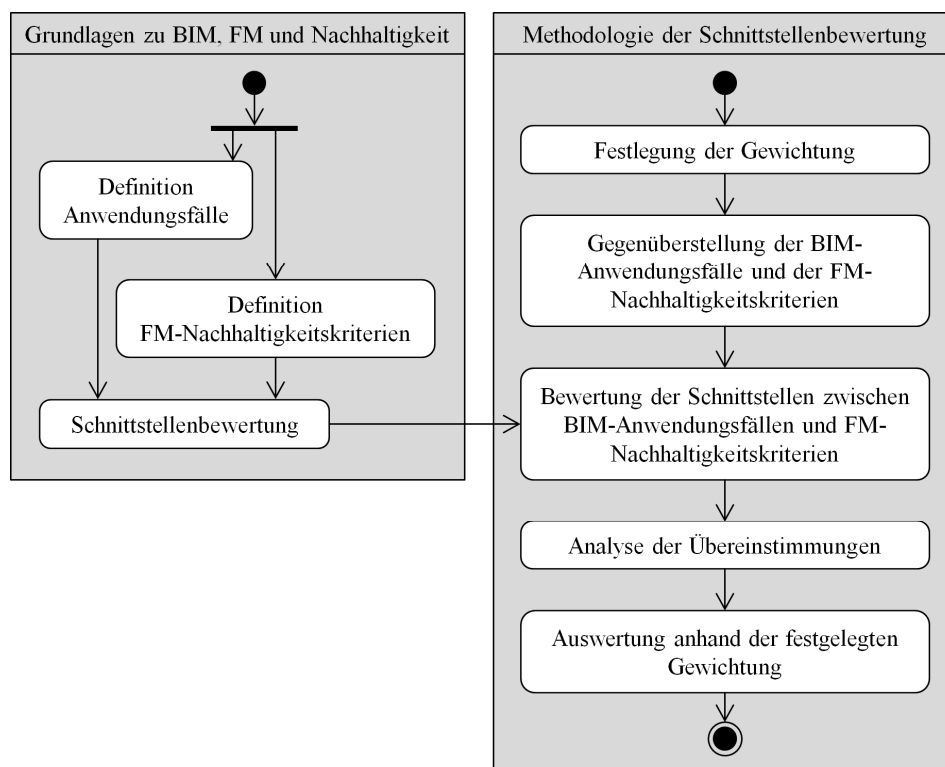


Abbildung 3: Methodisches Vorgehen.

In diesem Beitrag erfolgt im ersten Schritt eine Definition der mit den FM-Nachhaltigkeitskriterien zu vergleichenden BIM-Anwendungsfälle. Sodann werden die im Bausektor üblichen BIM-Anwendungsfälle analysiert und klassifiziert. Daraufhin wird ein Überblick über die FM-Nachhaltigkeitskriterien der GEFMA 160-Richtlinie gegeben, die mit den für die Gebäudenutzungsphase relevanten BIM-Anwendungsfällen verglichen werden. Es wird eine Gewichtung zur Durchführung der Schnittstellenbetrachtung festgelegt, bevor die definierten BIM-Anwendungsfälle den GEFMA FM-Nachhaltigkeitskriterien gegenübergestellt und verglichen werden. Der Vergleich erfolgt hinsichtlich der Übereinstimmung der BIM-Anwendungsfälle und der FM-Nachhaltigkeitskriterien zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitszielen durch den Einsatz von BIM. Ziel ist es, einen potenziellen Nutzen zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien durch den Einsatz von BIM-Anwendungsfällen zu identifizieren.

3.1 Definition von BIM-Anwendungsfällen

BIM-Anwendungsfälle beschreiben, wie BIM-Modelle innerhalb von Projekten genutzt werden können (Borrmann und König 2018). Die BIM-Anwendungen werden anhand unterschiedlicher Anwendungsdefinitionen von Verbänden und Institutionen in unterschiedliche Anwendungsfälle zusammengefasst. Es existieren diverse BIM-Anwendungsfälle, wobei die in diesem Beitrag betrachteten BIM-Anwendungsfälle den modellbasierte Objektbetrieb und -abbruch fokussieren (KIT 2018), die im Folgenden kurz vorgestellt werden:

1. Modellbasierte Erstellung und Verwaltung des Facility-Management-Modells: Integration des As-built-Modells in ein CAFM-System und der FM-Modelldaten in übergeordnete Modelle (z.B. Verkehrssystemplanung), Aktualisierung und Verwaltung des Gebäudebestandsmodells, Erstellung von FM-Dokumentation und Verknüpfung im Gebäudemodell mit Ausrüstungs- und Inventarverzeichnissen sowie Wartungs- und Pflegeanweisungen, dynamisches Ableiten von Betriebs- und Montageanleitungen und CAFM-Unterlagen
2. Modellbasiertes Nachhaltigkeits- und Energiemanagement: Durchführung einer Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzbetrachtung durch Echtdatenanalyse des Energieverbrauchs; direktes Auswerten des Gebäudemodells und Auslesen von Unterlagen und Daten nach Energiezertifizierungsstandards für Zertifizierungen (z.B. LEED); simulatives Auswerten und betriebswirtschaftliche Optimierung, Durchführen von Lebenszyklusbetrachtungen und Ermittlung der Lebenszykluskosten durch Echtdatenanalyse
3. Modellbasiertes Garantie-, Wartungs- und Instandhaltungsmanagement: Virtuelle Entwicklung eines Wartungs- und Instandhaltungskonzeptes sowie die automatisierte Koordination und Verwaltung von Wartungszyklen; automatisierte Erstellung von Push-Meldungen bei Wartungsbedarf; modellbasierte Koordination von Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen; Erstellung

von Terminplänen für Instandsetzungsmaßnahmen; Bereitstellung und Weitergabe von Herstellerunterlagen; Identifikation und Mitteilung von Qualitätsproblemen; virtuelle Entwicklung von Notfallreparaturkonzepten

4. Modellbasierte Gebäudeautomation (intelligenter Gebäudebetrieb): Auslesen von Objektinformationen für die Gebäudeautomation und Modelldatennutzung (z.B. für softwaregesteuerte Raumnutzungsplanung)
5. Modellbasierte Koordination und Verwaltung von Flächen, Inventar und Betriebsmitteln: Koordination und Verwaltung von Ausrüstungs- und Inventarverzeichnissen; Beschaffung und Verwaltung von Betriebsmitteln; Verwaltung, Koordination und Rückverfolgung von Flächen und Räumen; Simulation und Analyse von Leistungsanforderungen technischer Anlagen für einen optimierten Einsatz; Koordination und Verwaltung von Schlüsseln, Zugangskarten und Telefonanlagen
6. Modellbasiertes Dienstleistungsmanagement: Bedarfsoptimiertes Bepflan und Koordinieren von Dienstleistungen; modellbasierte Bedarfsaufnahme sowie Leistungsbestimmung und -vergabe
7. Modellbasiertes Sicherheitsmanagement: Entwicklung von Notfall- und Rettungskonzepten sowie die Nutzung der Modelle zur Szenarienplanung; Vernetzung der Rettungskräfte mit Gebäudemodellen; automatische Berechnung von Rettungswegen durch vernetzte Modelle; digitale Verfolgung von raumbezogenen Verformungen (Risse, Setzungen etc.) und Erstellung von Analysen zu gemessenen Verformungen
8. Modellbasierte Planung von Veranstaltungen: Entwicklung von Veranstaltungskonzepten; Erstellung von Verhaltensanalysen großer Menschenansammlungen; Simulation und Analyse von verschiedenen Evakuierungsszenarien; dynamische Ableitung von Visualisierungen und Animationen für Veranstaltungen
9. Modellbasiertes Umzugsmanagement: Koordination, Planung und Durchführung von Umzügen; Erfassung von Umzugsanforderungen über webbasierte Formulare mit angehängtem, automatisch startendem Genehmigungsprozess, dynamische Ableitung von Visualisierungen und Animationen für Entscheidungsfindung oder Umzugsabläufe
10. Modellbasierte strategische Objektverwaltung: Verknüpfung von FM-Modellen mit übergeordneten Asset-Management-Tools; Auslesen und Weitergabe von Kennzahlen an ein Steuerungscockpit für strategische Objektverwaltung; Anwendung der Modelldaten für die Bestimmung finanzieller Auswirkungen bei einer Änderungen oder Aufwertung des Objektes; Unterstützung in der kurz-, mittel- oder langfristigen Beplanung von Objekten; Durchführung finanzieller Vergleichsbetrachtungen für Entscheidungsfindungen; Simulation von verschiedenen Betriebsszenarien; Erstellung von „Was-Wäre-Wenn“-Szenarien zur strategischen FM-Planung (z.B. Raumauslastung); Erstellung von Prognosen zur Entwicklung von Objektlebenszykluskosten;

Vernetzung von Sensoren, Anlagen, Mobilgeräten etc. mit dem Modell zum Erstellen einer repräsentativen Datenbasis und Nutzung der Datenbasis für (BIG-Data-) Analysen und Prognosen; Informationssammlung und -auswertung über Temperatur, Luftfeuchte, Energieverbrauch, Nutzungsverhalten, Ausfall, Verlustzeiten etc. für Gebäudezustandsbeurteilungen; Koordination und Verwaltung von Gebühren

11. Modellbasierte Objektumgestaltung: Ermittlung des Umgestaltungsbedarfs für das Modell; dynamische Ableitung von Visualisierungen für die Entscheidungsfindung einer Objektumgestaltung
12. Modellbasierter Objektabbruch: Ableitung eines Verwertungskonzeptes anhand vorliegender Informationen zu verbauten Materialien

BIM und BIM-Anwendungsfälle sind digital gestützt, wie aus den oben vorgestellten BIM-Anwendungsfällen erkennbar ist. Digitale BIM-Werkzeuge sind, neben den genannten BIM-Anwendungsfällen, beispielsweise parametrische, raum- und bauteilorientierte Softwarewerkzeuge (Auswertungs- und Simulationswerkzeuge, die auf semantischen Bauwerken operieren) (Petzold et al. 2015). BIM wird ferner als digitale Planungsmethode bei Energiebedarfsberechnungen und -analysen angewendet (van Treeck et al. 2015). Die Beschreibung, wie BIM-Modelle innerhalb von Projekten genutzt werden können, ergibt sich nicht durch vordefinierte und standardisierte BIM-Anwendungsfälle, sondern resultiert aus Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA). AIA beschreiben aus Sicht des Auftraggebers die Anforderungen, die der Auftragnehmer im Rahmen der BIM-Leistungserbringung zu berücksichtigen hat. AIA definieren informationsbezogene, inhaltliche Anforderungen an die digitale Abwicklung eines Bauprojektes und sind Vertragsbestandteil zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Die BIM-Anwendungsfälle ergeben sich somit aus den AIA und sind während des Projektverlaufs durch den Auftragnehmer umzusetzen (BMVI 2019b). Die in diesem Beitrag untersuchten BIM-Anwendungsfälle sind infolgedessen nicht als unveränderliche, statisch Anwendungsfälle anzusehen.

3.2 Definition von Nachhaltigkeitskriterien im Facility Management

Im Folgenden werden die Nachhaltigkeitskriterien aus der GEFMA 160-Richtlinie zusammenfassend in den Kategorien (i) ökologische Qualität, (ii) ökonomische Qualität, (iii) Soziokultur, (iv) Facility Management-Organisation und (v) Details der Services dargestellt.

Die *ökologische Qualität* der in der GEFMA 160-Richtlinie aufgeführten Kategorie umfasst folgende Nachhaltigkeitskriterien (Gefma 2014):

- Energiemanagement: Bewertung der Voraussetzungen zur exakten Bestimmung und Analyse des Ist-Zustands von Energieverbräuchen (Monitoring) sowie die Bewertung der Verbräuche (Reporting) und den Umgang von Optimierungspotenzialen (Controlling)
- Wassermanagement: Ermittlung des tatsächlichen Wasserverbrauchs und Optimierungspotenziale
- Entsorgungsmanagement: Ermittlung und Optimierung von nutzer- und nutzungsbedingten Abfallströmen eines Gebäudes
- Havariemanagement: Erfassung und Optimierung von Ausfällen der Medienversorgung, Brandfälle und Havarien mit Gefahrstoffen

Die *ökonomische Qualität* umfasst das Nutzungskostenmanagement. Bei dieser Kategorie werden die Nutzungskosten in der Gebäudenutzungsphase ermittelt und bei Abweichungen ggf. Maßnahmen ergriffen, um eine Optimierung der Kosten durchzuführen (Gefma 2014).

Die Kategorie *Soziokultur* beinhaltet folgende Nachhaltigkeitskriterien:

- Nutzerzufriedenheitsmanagement: Ermittlung des Komfortniveaus der Gebäudenutzer sowie Initiierung von Verbesserungsmaßnahmen bei Nutzerunzufriedenheit
- Stör- und Beschwerdemanagement: System zur Ermittlung und Behebung von Störungen im Gebäudebetrieb sowie die Dokumentation von Häufigkeiten und Art der Störungen sowie deren Reaktions-, Abstell- und Behebungszeiten
- Rechtskonformität: Gewährleistung der Rechtskonformität von spezifischen Dienstleistungen sowie Umsetzung, Kontrolle der Einhaltung relevanter Rechtsvorschriften und ggf. Ableitungen und Anpassungen
- Raumluft- und Trinkwasserqualität: Sicherstellung von vorsorgenden und nachsorgenden Maßnahmen zur Sicherstellung einer hohen Raumluft- und Trinkwasserqualität sowie Kontrolle von Qualitätsstandards
- Gebäudesicherheitsmanagement: Sicherheitsempfinden der Gebäudenutzer bezogen auf Instandhaltungsstrategien, sicherheitstechnische Einrichtungen, Empfangsdienste und Zutrittskontrollen, Verkehrssicherungspflichten für das Gebäude inkl. Grundstück, organisatorischer Brandschutz und erste Hilfe
- Arbeitssicherheitsmanagement: Sicherstellung der Gesundheit aller Personen, die sich im Gebäude aufhalten; normgerechte Gestaltung aller Arbeitsplätze, Bestellung von Fachkräften für Arbeitssicherheit und Sicherheitsbeauftragten sowie Durchführung von Unterweisungen und Sicherheitsbelehrungen (Gefma 2014).

Die Kategorie **Facility Management-Organisation** umfasst folgende Nachhaltigkeitskriterien:

- Betriebsstrategie: Umfang und Detaillierungsgrad der Betriebsstrategie von Gebäuden (einschließlich Grundstücke) hinsichtlich der Nachhaltigkeit
- Personalkonzept, -einsatz und -organisation: Überprüfung und Verbesserung des Detaillierungsgrades von Zuständigkeiten und Kompetenzen im Rahmen des Gebäudebetriebs, Qualifikationsanforderungen an das ausführende Personal und Abgleich des Qualifikationsniveaus der Zuständigkeiten sowie die spezifische Fluktuationsrate auf verschiedenen Ebenen der Ablauforganisation
- Ablauforganisation und Ablaufprozesse: Definitionen und systemtechnische Umsetzung aller Prozesse sowie Vereinbarung von Service Levels für Facility Services
- Dokumentation und Berichtswesen: Bewertung der Vollständigkeit und Aktualität der bestehenden Dokumentation sowie Schaffung von Voraussetzungen dafür und Überprüfen und Erweitern von Vorgaben für ein zielführendes Berichtswesen der Vertragsparteien
- Beschaffung: Ermittlung und Überprüfung der Ersetzbarkeit/Austauschbarkeit von verwendeten Verbrauchs- und Gebrauchsgütern und Leistungen der Sub-/Nachunternehmer (Gefma 2014).

Die Kategorie **Details der Services** besteht aus folgenden Nachhaltigkeitskriterien:

- Flächenmanagement: Optimierung der bisherigen Flächennutzung im Hinblick auf die Nachhaltigkeit
- Betreiben (DIN 32736): Bedienen, Einhalten von Betriebsvorschriften, Überwachen, Steuern, Beheben von Störungen und Wiederholungsprüfungen sowie Übernehmen und Inbetriebnahmen, Außerbetriebnahme und Ausmustern
- Instandhaltung (DIN 31051): Wartung, Inspektion und Instandsetzung
- TGM-Projekte: Berücksichtigung der relevanten Nachhaltigkeitsaspekte im Rahmen der Modernisierung von Gebäuden und Anlagen
- Reinigung: Berücksichtigung und Verbesserung der Nachhaltigkeit im Bereich der Betriebsmittel, standardisierten Reinigungsabläufen, Qualitätsstandards, Qualifizierung des Reinigungspersonals und Qualitätskontrollen
- Außenanlagen inkl. Winterdienst und Gebäudesicherheit
- Security: Entwicklung und Durchfügung eines objektspezifischen Konzepts für erforderliche Security-Dienstleistungen; Dokumentation und Umsetzungskontrolle der Security-Maßnahmen
- Catering: Beschaffung und Verwendung nachhaltiger Lebensmittel; bedarfsgerechte und nutzungsspezifische Speisepläne und Menüs; Qualitätskontrolle und -verbesserung (Gefma 2014)

3.3 Bewertungssystem der Schnittstellen zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen

Die oben beschriebenen FM-Nachhaltigkeitskriterien der GEFMA 160-Richtlinie werden den BIM-Anwendungsfällen gegenübergestellt. Es erfolgt eine Bewertung der Schnittstellen in Form einer Gewichtung mit Punkteverteilung. Jede Schnittstelle erhält eine Gewichtung zwischen null und drei Punkten, die entsprechend Tabelle 1 das Maß der Übereinstimmung zwischen den FM-Nachhaltigkeitskriterien und den BIM-Anwendungsfällen wiedergibt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertungskriterien zur Gewichtung der Schnittstellen zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen.

Gewichtung	Erläuterung zur Gewichtung
○	Fehlende Übereinstimmung zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen bedeutet, dass eine Umsetzung von FM-Nachhaltigkeitszielen durch BIM-Anwendungsfälle nicht möglich ist.
•	Mäßige Übereinstimmung der bewerteten Kriterien: Die Übereinstimmung liegt zwischen einem Prozent und 29% hinsichtlich der Anwendbarkeit von BIM-Anwendungsfällen zur Realisierung vom FM-Nachhaltigkeitskriterien.
••	Mittlere Übereinstimmung (30% bis 59%) hinsichtlich der Anwendbarkeit von BIM-Anwendungsfällen zur Umsetzung von Zielen der FM-Nachhaltigkeitskriterien.
•••	Hohe bis volle Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendbarkeit von BIM-Anwendungsfällen zur Umsetzung von Zielen der FM-Nachhaltigkeitskriterien: Die Übereinstimmung liegt zwischen 60% und 100%.

Keine Übereinstimmung (○) zwischen den BIM-Anwendungsfällen und den Nachhaltigkeitskriterien der GEFMA 160-Richtlinie bedeutet, ergänzend zu Tabelle 1, dass die Kriterien keine Übereinstimmungspräferenzen und Anwendungspotenziale enthalten. Eine mäßige Übereinstimmung zwischen den Nachhaltigkeitskriterien der GEFMA 160-Richtlinie und den BIM-Anwendungsfällen (•) bedeutet geringes Potenzial, d.h. geringe Übereinstimmung, hinsichtlich der Anwendbarkeit von BIM zur Erreichung von FM-Nachhaltigkeitszielen. Auch über einen längeren Betrachtungshorizont existieren keine Potenziale für Übereinstimmungen. Eine mittlere Übereinstimmung (••) trifft dann zu, wenn Potenziale zwischen der Übereinstimmung von FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen erkennbar sind. Dieses Potenzial in der Praxis bereits genutzt oder derzeit erprobt. Eine hohe bis volle Übereinstimmung (•••) bedeutet, dass diese FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfälle bereits miteinander betrachtet und angewendet und auch zukünftig weiter Anwendung finden werden. Bei Kriterien, die eine volle Übereinstimmung erzielt haben, besteht ferner das Potenzial zur nachhaltigen Weiterentwicklung dieser Schnittstellen.

Das Ergebnis der abschließenden Schnittstellenbetrachtung ist in Tabelle 2 dargestellt. Um eine übersichtliche Darstellung der Schnittstellen zwischen den GEFMA FM-Nachhaltigkeitskriterien und den BIM-Anwendungsfällen zu gewährleisten, wurde auf eine Gewichtung mit farblichen Aspekten der einzelnen Schnittstelle verzichtet. Die Ergebnisse werden im folgenden Kapitel diskutiert.

4 Diskussion der Ergebnisse

In Tabelle 2 sind die Schnittstellen der FM-Nachhaltigkeitskriterien und der BIM-Anwendungsfälle abgebildet. Die Gewichtung der Schnittstellen ergibt, dass ca. 19% der untersuchten Schnittstellen hohe bis vollständige Übereinstimmung hinsichtlich ihrer gegenseitigen Anwendbarkeit aufweisen. Bei weiteren 18% der miteinander verglichenen Schnittstellen wird eine mittlere Übereinstimmung aufgezeigt. Bei 28% der Schnittstellen wurde eine geringe Übereinstimmung ermittelt, wohingegen bei 35% der Schnittstellen-Übereinstimmungen hinsichtlich der gegenseitigen Anwendbarkeit nicht gegeben sind.

Unabhängig von der Schnittstellenbetrachtung der FM-Nachhaltigkeitskriterien und der BIM-Anwendungsfälle können auch die in Kapitel 3.1 aufgeführten digitalen BIM-Werkzeuge, wie die digitale Planungsmethode bei Energiebedarfsrechnungen und -analysen zur Realisierung der FM-Nachhaltigkeitskriterien eingesetzt werden. Insbesondere im Energiemanagement aus dem Bereich der ökologischen Qualität schaffen digitale BIM-Werkzeuge einen Mehrwert. Die in Kapitel 2.1 erläuterten IFC-Schnittstellen sollen an dieser Stelle kurz erwähnt werden, da ohne IFC ein standardisierter Datenaustausch zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen (beispielsweise Übertragung der Plan- und Errichtungsdaten eines Gebäudes) in FM-Modelle und die daraus resultierende Weiternutzung der Daten im FM schwierig umzusetzen wäre.

Die 24 FM-Nachhaltigkeitskriterien sind auf der linken Seite von Tabelle 3 analog der GEFMA FM-Nachhaltigkeitskriterien aufgeführt. Die einzelnen FM-Nachhaltigkeitskriterien sind jeweils den übergeordneten Begriffen ökologische Qualität, ökonomische Qualität, Soziokultur, Facility Management-Organisation und Details der Services zugeordnet (siehe 3.2). Auf der rechten Seite der Tabelle sind die zuvor definierten BIM-Anwendungsfälle aufgeführt (siehe 3.1). Aus Gründen der Lesbarkeit und Übersichtlichkeit werden die BIM-Anwendungsfälle in verkürzter Schreibweise aufgeführt (z.B. Entfall des Zusatzes „modellbasiert“).

Tabelle 2: Schnittstellen zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen:

Keine (○), geringe (●), mittlere (●●), hohe bis volle (●●●) Übereinstimmung.

FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfälle		Erstellung und Verwaltung des FM-Modells	Nachhaltigkeits- und Energiemanagement	Garantie-, Wartungs- und Instandhaltungsmanagement	Gebäudeautomation	Koordination + Verwaltung v. Flächen, Inventar u. Betriebs-	Dienstleistungsmanagement	Sicherheitsmanagement	Planung von Veranstaltungen	Umzugsmanagement	Strategische Objektverwaltung	Objektumgestaltung	Objektabruch
Ökol. Qualität	Energiemanagem.	●●	●●●	●	●	○	○	○	●	○	●●●	●	○
	Wassermanagement	●	●●●	●	●	○	○	○	○	○	●●●	●	○
	Entsorgungsmanagement	●	●●●	●	○	○	○	○	●	●	●●●	●	●
	Havarie-management	●	●●●	●	●	○	○	●●●	●●	○	●●	●●	○
Ökon. Qualität	Nutzungskostenmanagement	●	●●●	○	●	●	●	●●	●	●	●●●	●●	○
Soziokultur	Nutzerzufriedenheitsmanagement	●	●	○	●	●	●●●	●●●	●●	●	●●●	●●●	○
	Stör- und Beschwerdemanagem.	●●	●●●	●●●	●	○	●●	●●	●	○	●●●	●	○
	Rechtskonformität	●	○	●	○	○	○	●●●	●●	○	●●	●	●●
	Raumluft- und Trinkwasserqualität	●●	●●●	●●●	●	○	○	○	●●	○	●●●	●●	○
	Gebäudesicherheitsmanagement	●●	●	●●		●	●	●	●	○	●●	●●	○
	Arbeitssicherheitsmanagement	●	●	●	○	●	○	●●	○	●	●●	●	●
Facility Management-Organisation	Betriebsstrategie	●	●	●●	○	○	●	○	○	●●	●●●	●●●	●●
	Personalkonzept, -einsatz und -organisation	●●	●	●	○	●●	●●	○	●	●●●	●●	●	○
	Ablauforganisation und Ablaufprozesse	●●●	○	●	○	○	●●●	●●	●	●●●	●●	○	○
	Dokumentation und Berichtswesen	●●●	○	●●	○	●●●	●●	○	○	●	●●●	●●	●●
	Beschaffung	●●●	●●	●●●	○	○	○	●●	●●	●●	●●	●●●	○
Details der Services	Flächenmanagem.	●	○	○	●	●●●	●	●	●	●●●	●●●	●●●	○
	Betreiben (DIN 32736)	●●●	●●	●●●	●	●●●	●	●	○	●	●●●	●●	○
	Instandhaltung (DIN 31051)	●●	●	●●●	●●	●	○	●●●	●●	○	●●●	●	○
	TGM-Projekte	●	●●●	●	●	○	○	○	○	○	●●●	●●●	○
	Reinigung	●●	●●	○	○	●	●●●	○	●●	●	●●●	●	○
	Außenanlagen inkl. Winterdienst	●	●	○	●	●	●●●	○	●	○	●●	○	○
	Security	●●	○	○	○	○	●●●	○	●●	○	●●	○	○
	Catering	○	○	○	○	●	●●●	○	●●●	○	●●	○	○

4.1 Schnittstellenbetrachtung für die BIM-Anwendungsfälle

Insgesamt hätten 72 Punkte für Übereinstimmungen je BIM-Anwendungsfall mit FM-Nachhaltigkeitskriterien vergeben werden können, was einer Übereinstimmung von 100% entsprechen würde. Abbildung 4 visualisiert die Einsatzmöglichkeiten von BIM-Anwendungsfällen zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien anhand der Schnittstellenanalyse. Die Gewichtung der Schnittstellen zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen ergibt, dass sich der BIM-Anwendungsfall „Strategische Objektverwaltung“ mit etwa 45% Übereinstimmung am ehesten für eine Unterstützung der Realisierbarkeit von FM-Nachhaltigkeitskriterien eignet.

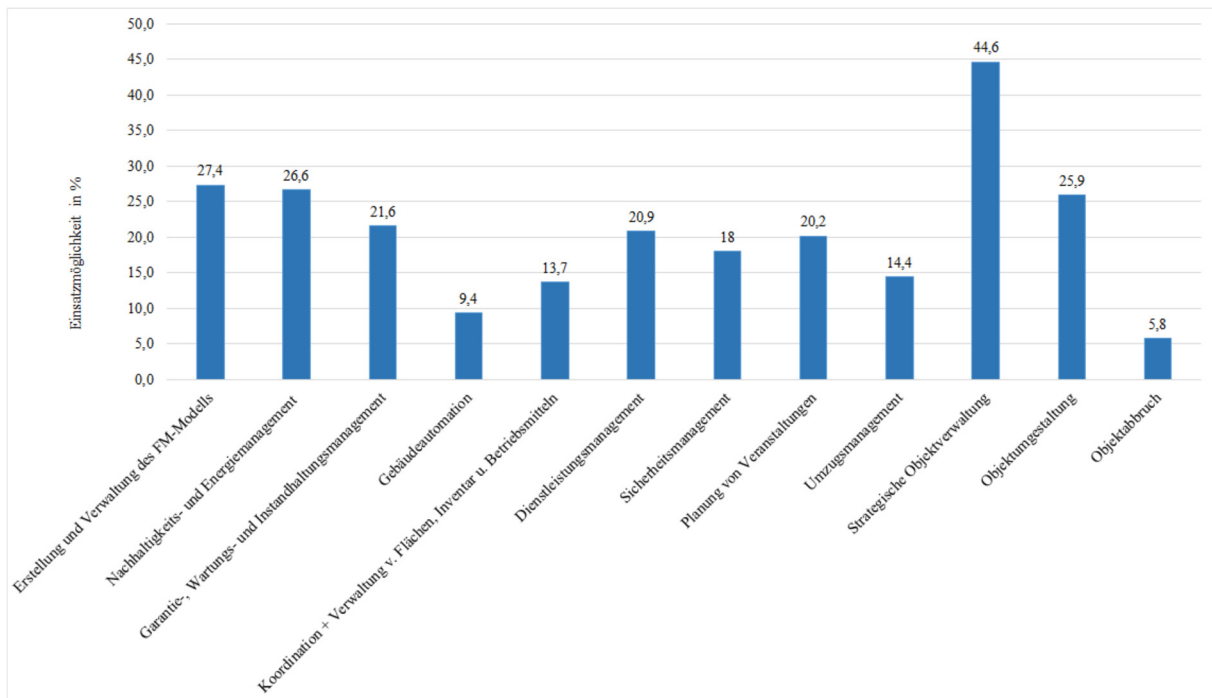


Abbildung 4: Einsatzmöglichkeiten von BIM-Anwendungsfällen zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien.

4.2 Schnittstellenbetrachtung für die FM-Nachhaltigkeitskriterien

In den folgenden Unterkapiteln werden die ermittelten Schnittstellen aus der Perspektive der FM-Nachhaltigkeit betrachtet. Jeder übergeordnete Aspekt der FM-Nachhaltigkeitskriterien wird hinsichtlich der Übereinstimmungen mit den BIM-Anwendungsfällen untersucht. In den nächsten Unterkapiteln werden außerdem die Übereinstimmungen und den Anwendungsmöglichkeiten von BIM-Anwendungsfällen im FM betrachtet, gefolgt von einer beispielhaften Betrachtung der FM-Nachhaltigkeitskriterien „Betreiben (DIN 32736)“ (Kategorie „Details der Services“) und „Catering“ (Kategorie „Details der Services“).

4.2.1 Allgemeine Einschätzung der Potenziale der Nachhaltigkeitskriterien

Abbildung 5 zeigt die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse. Die Abbildung verdeutlicht, in welchem Maß der Einsatz von BIM-Anwendungsfällen zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien in den jeweiligen Kategorien beiträgt. Die einzelnen FM-Nachhaltigkeitskriterien lassen sich in unterschiedlichem Umfang durch BIM umsetzen, d.h. 39,2% (Details der Services), 32% (Soziokultur), 17,6% (ökologische Qualität), 29,5% (Facility Management-Organisation) sowie 5,8% (ökonomische Qualität). Die Prozentzahl gibt jeweils an, wieviel Prozent aller FM-Kriterien der betreffenden Kategorie sich durch BIM-Anwendungsfälle realisieren liessen.

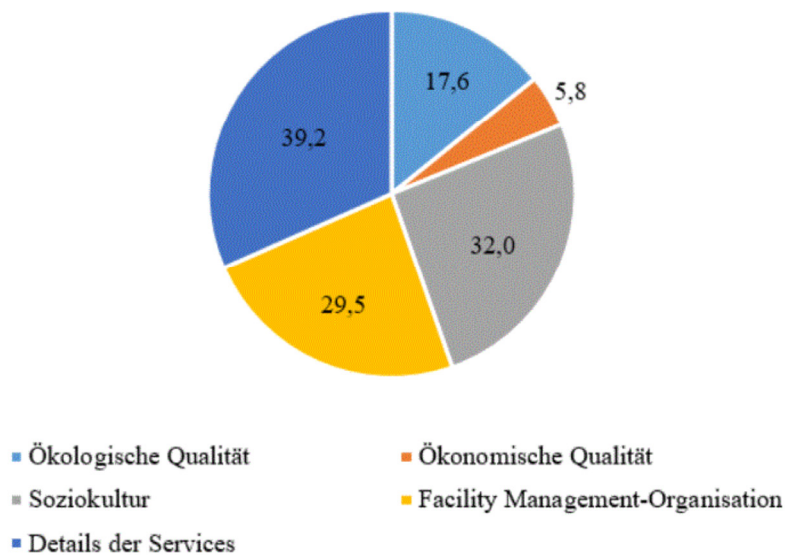


Abbildung 5: Realisierungsmöglichkeiten der FM-Nachhaltigkeitskriterien in den entsprechenden Kategorien durch den Einsatz von BIM-Anwendungsfällen in Prozent.

Kategorie „Ökonomische Qualität“

Bei ca. 17% der Schnittstellen der FM-Nachhaltigkeitskategorie „ökonomische Qualität“ besteht jeweils hohe bis volle und mittlere Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendbarkeit. Etwa 17% der Schnittstellen weisen eine mittlere Übereinstimmung auf und bei 50% der Schnittstellen besteht geringe Übereinstimmung. Bei weiteren ca. 17% (zwei Schnittstellen) besteht keine Übereinstimmung. Das FM-Nachhaltigkeitskriterium „Nutzungskostenmanagement“ kann lediglich in den BIM-Anwendungsfällen „Garantie-, Wartungs- und Instandhaltungsmanagement“ sowie „Objektabbruch“ bisher keine Anwendung finden. Ganzheitlich betrachtet existiert in der Kategorie „ökonomische Qualität“ infolgedessen ein mittleres bis hohes Anwendungspotenzial hinsichtlich der Anwendbarkeit vom BIM-Anwendungsfällen zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien.

Kategorie „Soziokultur“

Lediglich bei ca. 15% der Schnittstellen aus dem Bereich der FM-Nachhaltigkeitskategorie „Soziokultur“ besteht eine hohe bis volle Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendbarkeit. 22% der Schnittstellen haben eine mittlere Übereinstimmung und ca. 33% der Schnittstellen haben eine geringe Übereinstimmung. Bei ca. 29% der FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfälle hat die Gewichtung keine Übereinstimmung ergeben. Zusammenfassend ist im Bereich der soziokulturellen Nachhaltigkeitskriterien der GEFMA 160-Richtlinie mittleres bis geringes Potenzial der Anwendbarkeit gegeben.

Kategorie „Facility Management-Organisation“

Im Bereich der FM-Nachhaltigkeitskategorie „Facility Management-Organisation“ ergeben 20% der Schnittstellen eine hohe bis volle Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendbarkeit und 30% der Schnittstellen eine mittlere Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendbarkeit, 17% der Schnittstellen eine geringe und 33% keine Übereinstimmung hinsichtlich der Anwendungspotenziale zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen. Daran ist zu erkennen, dass die Nutzungspotenziale aus dem Bereich der FM-Organisation sich nur mäßig für BIM-Anwendungsfälle eignen und ein geringes Potenzial im Rahmen der Weiterentwicklung von BIM-Standards im Hinblick auf die Nachhaltigkeit gesehen wird.

Kategorie „Details der Services“

Die FM-Nachhaltigkeitskriterien sind in der Kategorie „Details der Services“ eng gefasst und lassen sich deutlich nachvollziehbar bewerten. Aus diesem Grund wird in diesem Bereich zunächst ein geringes bis kein Potenzial der Anwendbarkeit gesehen, das sich zwar bei Schnittstellen mit geringen und mittleren Übereinstimmungen weiterentwickeln lässt, bei Schnittstellen mit keinem Potenzial (39 Schnittstellen) jedoch eher weniger.

4.2.2 Schnittstellenbetrachtung am Beispiel des FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Betreiben (DIN32736)“ (innerhalb der Kategorie „Details der Services“)

Im Folgenden wird das FM-Nachhaltigkeitskriterium „Betreiben (DIN 32736)“ aus der Kategorie der Details der Services betrachtet. Abbildung 6 stellt grafisch dar, welche BIM-Anwendungsfälle sich für die Realisierung der Ziele dieses Nachhaltigkeitskriteriums eignen. Bei der Auswertung der Ergebnisse

und der Ermittlung der Prozentpunkte werden die maximal zu erreichenden Punkte des FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Betreiben (DIN 32736)“ mit den maximal zu erreichenden Punkten aller BIM-Anwendungsfälle ins Verhältnis gesetzt.

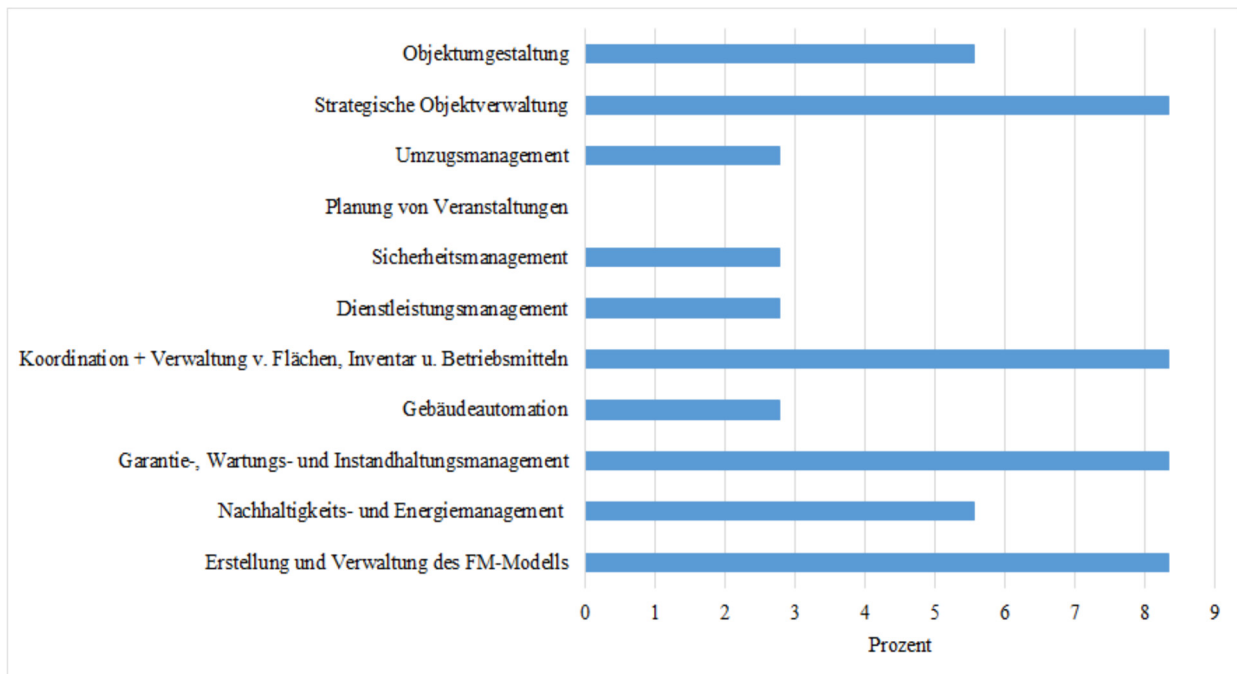


Abbildung 6: Realisierungsmöglichkeit des FM-Nachhaltigkeitskriterium „Betreiben (DIN 32736)“ durch Einsatz von BIM-Anwendungsfällen in Prozent.

Das FM-Nachhaltigkeitskriterium „Betreiben (DIN 32736)“ erzielt in der Schnittstellenbetrachtung volle Übereinstimmung im Hinblick auf mögliche Anwendungspotenziale der BIM-Anwendungsfälle „Strategische Objektverwaltung“, „Koordination und Verwaltung von Flächen, Inventar und Betriebsmitteln“, „Garantie, Wartungs- und Instandhaltungsmanagement“ sowie „Erstellung und Verwaltung des FM-Modells“. Die Zielsetzung dieses FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Betreiben (DIN 32736)“ ist das Bedienen, das Einhalten von Betriebsvorschriften, das Überwachen, Steuern und Beheben von Störungen sowie die Durchführung von Wiederholungsprüfungen und die Inbetriebnahmen, Außerbetriebnahme und das Ausmustern von (Gebäude-)Anlagen.

Der BIM-Anwendungsfall „*Modellbasierte strategische Objektverwaltung*“ verknüpft FM-Modelle mit übergeordneten Asset-Management-Tools, um Kennzahlen auszulesen und weitergeben zu können. Die Schnittstelle zwischen dem FM-Nachhaltigkeitskriterium „Betreiben (DIN 32736)“ und dem BIM-Anwendungsfall „Modellbasierte strategische Objektverwaltung“ wurde mit drei Punkten gewichtet, da das FM von diesem BIM-Anwendungsfall profitieren kann. Durch die ermittelten Daten und Kennzahlen können Entscheidungen getroffen werden (wie z.B. kürzere oder längere Wartungsintervalle von Gebäudebauteilen oder -anlagen) oder die Simulation von Betriebsszenarien (z.B. „Was wäre, wenn die Erneuerung einer Gebäudeanlage vorgezogen bzw. zeitlich hinausgezögert wird?“). Das FM kann die

Kennzahlen und Daten nutzen, um Strategien den Gebäudelebenszyklus betreffend zu entwickeln und umzusetzen. Das FM kann die Daten direkt für Monitoring- und Gebäudebetriebszwecke nutzen.

Der BIM-Anwendungsfall **„Modellbasierte Koordination und Verwaltung von Flächen, Inventar und Betriebsmitteln“** beinhaltet die Beschaffung, Verwaltung und Koordination von Betriebsmitteln, Flächen, Räumen und (Gebäude-)Zutrittsberechtigungen sowie Simulationen von Leistungsanforderungen technischer Anlagen. Auch dieser BIM-Anwendungsfall wurde mit drei Punkten hinsichtlich der Anwendbarkeit zur Realisierung des FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Betreiben (DIN 32736)“ gewichtet, da das FM Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsintervalle unmittelbar aus der durch den BIM-Anwendungsfall erfolgten Flächenkoordination übernehmen kann und die Intervalle dahingehend angepasst werden können. Auch die Instandhaltungs- und Instandsetzungsfristen von (Gebäude-)Anlagen können (z.B. digital) in BIM-Modellen der Gebäude hinterlegt und automatisch angepasst bzw. beauftragt werden.

Hohe bis volle Übereinstimmung erlangt auch der BIM-Anwendungsfall **„Modellbasiertes Garantie-, Wartungs- und Instandhaltungsmanagement“**, bei dem es um die Entwicklung und automatisierte Koordination von Wartungs- und Instandhaltungszyklen und -konzepten geht. Die Koordination von Garantie-, Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben ist ein relevantes Aufgabengebiet des FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Betreiben (DIN 32736)“ und kann daher in vollem Umfang (drei Punkte bei der Gewichtung) durch den BIM-Anwendungsfall unterstützt bzw. realisiert werden. In den BIM-Modellen der Gebäude können Wartungs- und Instandhaltungsintervalle als Termininformation an Gebäudebauteilen und -anlagen hinterlegt und automatisch überwacht werden. Ebenso können Garantie- und Herstellerinformationen zu Bauteilen und Anlagen als Informationen hinterlegt werden.

Der letzte BIM-Anwendungsfall, der mit voller Punktezahl gewichtet wurde, ist die **„Modellbasierte Erstellung und Verwaltung des Facility-Management-Modells“**. Die in dem Model stattfindende digitale Aktualisierung und Verwaltung des Gebäudemodells kann vollständige für die Aufgaben der nachhaltigen Gebäudenutzungsphase des FM übernommen werden.

4.2.3 Schnittstellenbetrachtung am Beispiel des FM-Nachhaltigkeitskriteriums „Catering“ (innerhalb der Kategorie „Details der Services“)

Beim FM-Nachhaltigkeitskriterium „Catering“ in der Kategorie Details der Services besteht bei acht BIM-Anwendungsfällen keine Übereinstimmung. Beim Catering geht es um die Beschaffung und Verwendung nachhaltiger Lebensmittel, die Erstellung bedarfsgerechte und nutzungsspezifische Speisepläne und Menüs sowie Qualitätskontrollen und -verbesserungen (Gefma 2014). Die Aufgaben dieses Kriteriums sind stark abhängig von dem Betrieb bzw. dem Gebäude, in dem die Leistungserbringung

stattfinden soll. Eine Standardisierung und Abbildung in einem BIM-Modell ist nicht möglich. Die modellbasierte Erstellung und Verwaltung eines Facility-Modells oder ein modellbasiertes Nachhaltigkeits- und Energiemanagement sind für die Servicedienstleistung des Caterings nicht realisierbar, bzw. ohne Mehrwert. Die Schnittstelle zwischen dem BIM-Anwendungsfall „Modellbasierte Planung von Veranstaltungen“ und dem FM-Nachhaltigkeitskriterium „Catering“ wird wiederum mit drei Punkten gewichtet, da sich die digitale Planung einer Veranstaltung (z.B. Besucherströme und der sich daraus resultierende Bedarf an Verköstigung oder die Stoßzeiten in Restaurants/Kantinen) gut simulieren lassen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die Potenziale der Anwendbarkeit des Building Information Modeling im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategien im Facility Management analysiert, die anhand der GEFMA 160-FM-Nachhaltigkeitskriterien definiert werden. Zunächst wurden die wesentlichen Grundlagen von BIM, FM und Nachhaltigkeitskriterien betrachtet und Schnittstellen zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und BIM-Anwendungsfällen (bezogen auf die Betriebsphase eines Gebäudes) definiert. Mit einer Schnittstellenanalyse wurde untersucht, inwiefern BIM-Anwendungsfälle die Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien unterstützen können. Es folgte eine Betrachtung der BIM-Anwendungsfälle für den Einsatz bei FM-Nachhaltigkeitskriterien und eine Betrachtung spezifischer FM-Nachhaltigkeitskriterien, konkretisiert anhand der „Details der Services“. Zusammenfassend liefert der Beitrag die Erkenntnis, dass der BIM-Anwendungsfall „Strategische Objektverwaltung“ am ehesten die Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien befördern kann. Die Schnittstellenbetrachtung dieses BIM-Anwendungsfalls mit den FM-Nachhaltigkeitskriterien ergibt eine Übereinstimmung von 7,2% zwischen FM-Nachhaltigkeitskriterien und dem BIM-Anwendungsfall „Strategische Objektverwaltung“. Die einzelnen FM-Nachhaltigkeitskriterien lassen sich in unterschiedlichem Umfang durch BIM umsetzen, d.h. 12,6% (Details der Services), 10,3% (Soziokultur), 7,5% (ökologische Qualität), 9,5% (Facility Management-Organisation) sowie 1,8% (ökonomische Qualität). Generell kann der Einsatz von BIM zur Realisierung von FM-Nachhaltigkeitskriterien als mäßig positiv gewertet werden. Weiterführende Untersuchungen bezüglich der Implementierungsmöglichkeiten von BIM für FM-Nachhaltigkeitskriterien aus der FM-Nachhaltigkeitskategorie „Details der Services“ sowie die Implementierung des BIM-Anwendungsfalls „Strategische Objektverwaltung“ in allen FM-Nachhaltigkeitskriterien sind sinnvoll.

Literatur

- Ball T (2018) Lünendonk – 360-Grad-Incentive 2018. Digitalisierung in der Immobilienwirtschaft. Lünendonk & Hossenfelder GmbH, Mindelheim, Deutschland.
- Bauer T (2018) Digitalisierung am Bau. In: Wirtschaft Nordhessen, Kassel, Deutschland. https://www.bauindustrie.de/media/documents/wirtschaft_nordhessen_magazin_vom_05.07.2015_seite_16.pdf. Letzter Abruf: 11.06.2018.
- Beetz J, Bormann A, Weise M (2015) in: Bormann et al. (Hrsg.) Software-Interoperabilität im Bauwesen – Hintergrund und Motivation. In: Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland. S. 77-81.
- Bormann A, König M (2018) in Vismann, U. (Hrsg.) Building Information Modeling. In: Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland. S. 1475-1485.
- Braun HP, Pütter J (2007) Facility Management. Erfolg in der Immobilienbewirtschaftung. 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Deutschland. DOI: 10.1007/978-3-540-34702-6.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2013) BIM-Leitfaden für Deutschland. Berlin, Deutschland. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-leitfaden-deu.html>. Letzter Abruf: 13.07.2019.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2015) Building Information Modeling (BIM) wird bis 2020 stufenweise eingeführt. Pressemitteilung vom 15.12.2015. Berlin, Deutschland. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2015/152-dobrindt-stufenplan-bim.html>. Letzter Abruf: 13.06.2019.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018) Umsetzung des Studienplans „Digitales Planen und Bauen“. Berlin, Deutschland. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/digitales-planen-und-bauen.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Abruf: 23.02.2020.

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2019) Bundesregierung treibt Digitalisierung des Bauwesens voran. Pressemitteilung vom 28.06.2019. Berlin, Deutschland. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/051-scheuer-bim-kompetenzzentrum.html>. Letzter Abruf: 09.07.2019.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2019a) Datenaustausch mit Industry Foundation Classes (IFC). Berlin, Deutschland. https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/08/BIM4INFRA2020_AP4_Teil9.pdf. Letzter Abruf: 25.02.2020.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2019b) Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA). Berlin, Deutschland. https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf. Letzter Abruf: 25.02.2019.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) (2018) Rolle der Digitalisierung im Gebäudereich. Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen. Berlin, Deutschland. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/rolle-der-digitalisierung-im-gebaeudebereich.html>. Letzter Abruf: 13.07.2019.
- Deutscher Bundestag (1998) Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Bonn, Deutschland.
- DIN EN 15221-1 (2006) Facility Management – Teil 1: Begriffe; Deutsche Fassung EN15221-1:2006. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Deutschland.
- Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Listin K (2008) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, Vereinigte Staaten von Amerika.
- Gefma (2004) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. Richtlinie 100-FM-Grundlagen, Leistungsspektrum, 2014-07. German Facility Management Association, Bonn, Deutschland.
- Gefma (2014) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. Richtlinie 160-Nachhaltigkeit im FM 160:2014-10, S. A.2. German Facility Management Association, Bonn, Deutschland.

- Gefma (2017) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. Nachhaltigkeit im FM definieren – Die Richtlinie GEFMA 160. GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V., German Facility Management Association, Bonn, Deutschland. http://www.gefma.de/gefma160_grundlagen.html. Letzter Abruf: 30.10.2017.
- Gefma (2017a) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. White Paper GEFMA 926 – Building Information Modeling im Facility Management, Version 1.0. German Facility Management Association, Bonn, Deutschland.
- Gefma (2019) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. Digitale Nachhaltigkeit. Der GEFMA-Arbeitskreis arbeitet an der Integration digitaler Themen in die GEFMA-Richtlinie 160 „Nachhaltigkeit im Facility Management“. German Facility Management Association, Bonn, Deutschland. <https://www.gefma.de/hashtag/detail/nachhaltigkeit/news/digitale-nachhaltigkeit/>. Letzter Abruf: 12.07.2019.
- Gefma (2019a) GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V. Gute Gemeinschaft. Die Mitgliedschaft. German Facility Management Association, Bonn, Deutschland. <https://www.gefma-2018.de/wir/gute-gemeinschaft-die-mitgliedschaft>. Letzter Abruf: 10.07.2019.
- Grundwald A; Kopfmüller J (2012) Nachhaltigkeit: eine Einführung, 2. Auflage Campus Studium Verlag, Frankfurt, Deutschland.
- Hauff M, Kleine A (2014) Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung, 2. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, Deutschland.
- Hu ZZ, Zhang XY, Wang HW, Kassem M (2016) Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools. In: Automation in Construction, Ausgabe 66, S. 29-42.
- Ibanez S, Fitz, T, Smarsly., K. (2019) A semantic model for wireless sensor networks in cognitive buildings. In: The ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering. Atlanta, GA, USA, 17.06.2019.
- IFMA (2017) International Facility Management Association. What is Facility Management. Houston, TX, USA, <https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management>. Letzter Abruf: 06.11.2017.

- Karlsruher Institut für Technologien (KIT) 2018. Katalog der BIM-Anwendungsfälle. Institut für Technologie und Management im Baubetrieb. Karlsruhe, Deutschland.
https://www.tmb.kit.edu/download/Katalog_der_BIM-Anwendungsfaelle.pdf. Letzter Abruf: 29.02.2020
- Kensek K, Noble D (2014) Building Information Modeling – BIM in current and future practice. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- Lin Y-H, Liu Y-S, Gao G, Ham X-G, Lai C-Y, Gu M (2013) The IFC-based path planning for 3D indoor spaces. In: Advanced Engineering Informatics, Ausgabe 27/2, S. 189-205, Elsevier Ltd, United Kingdom, Oxford.
- Mirboland M, Smarsly K (2019) A semantic model of intelligent transportation systems. In: The 26th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE). Löwen, Belgien. 30.06.2019.
- Obergriößer M (2017) Digitale Werkzeuge zur integrierten Infrastrukturbauwerksplanung. Springer, Wiesbaden, Deutschland.
- Peltzeter A (2014) Nachhaltigkeits-Berichterstattung in der deutschen Facility Management Branche. e-Journal of Practical Business Research, Ausgabe 16 (12/2014), Berlin, Deutschland.
- Peralta P, Mthunzi E M, Heine S, Ludwig H-M, Smarsly K (2019) A metamodel for 3D concrete printing. In: The Sixteenth International Conference on Civil, Structural & Environmental Engineering Computing (CIVIL-COMP). Riva del Garda, Italien. 16.09.2019.
- Petzold F, Hild A, Langenhan C, Thomä H (2015) in Borrmann et al. (Hrsg.) BIM im architektonischen Entwurf. In: Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland. S. 265-289.
- Rüppel U, Smarsly K (2019) BIM und Sensorik an den Beispielen Brandschutz und Bauwerksmonitoring. In: Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (Hrsg.). Building Information Modeling, 2. Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg, Deutschland.

- Sacks R, Kaner I, Eastman CM, Jeong, Y-S (2010) The Rosewood experiment – Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. In: Automation in Construction, Ausgabe 19, S. 419-432.
- Schrammel F, Wilhelm E (2016) Rechtliche Aspekte im Building Information Modeling (BIM). Springer Fachmedien, Wiesbaden, Deutschland.
- Semmler T (2018) GEFMA 926: Erstes GEFMA-Whitepaper zu BIM erschienen. In: CAFM-News, veröffentlicht am 05.10.2017, überarbeitet am 03.11.2018, Hameln, Deutschland. <http://www.cafm-news.de/gefma-926-erstes-gefma-whitepaper-zu-bim-erschienen.html>.
 Letzter Abruf: 11.07.2019.
- Shalabi F, Turkan Y (2017) IFC BIM-Based Facility Management Approach to Optimize Data Collection for Corrective Maintenance. In: Journal of Performance of Constructed Facilities, Ausgabe 31.
- Siebenik G (2016) Building information modelling based interdisciplinary data exchange: a case study. In: BIM Academic Forum, United Kingdom, Glasgow.
- Silbe K, Diaz J, Baier C, Franke L, Herter, L, Potpara M, Scharfenberg P, Wellensiek T (2017) BIM-Ratgeber für Bauunternehmer. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller Buch, Köln, Deutschland.
- Smarsly K, Hartmann T, Rüppel U, König M, Borrmann A (2017) Das Fachgebiet Bauinformatik als Wegbereiter und Träger der Digitalisierung des Bauwesens. Bauingenieur, Jahresausgabe VDI-Bautechnik 2017/2018, Düsseldorf, Deutschland. S. 23-25.
- Smarsly K (2019) BIM-Lehre – Die Basis der Digitalisierung. Der Entwurf – Sonderheft der DBZ, 4(2019), Gütersloh, Deutschland. S. 20-21.
- Söbke H, Theiler M, Tauscher E, Smarsly K (2018) BIM-based description of wastewater treatment plants. In: The 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE). Tampere, Finland. 05.06.2018.
- Stouffs R, Krishnamurti R (2001) On the Road to standardization. In: Computer Aided Architectural Design Futures 2001. Kluwer Academic, Dordrecht, Niederlande. S. 75-88.

- Streik M (2017) Digitalisierung der Immobilienbranche. Zwischen Bits und Beton. Wirtschaftswoche, Handelsblatt Online, Düsseldorf, Deutschland.
<https://www.wiwo.de/finanzen/immobilien/digitalisierung-in-der-immobilienbranche-zwischen-bits-und-beton/20415728.html>. Letzter Abruf: 05.10.2019.
- Tashakkori H, Rajabifard A, Kalantari M (2015) A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation. In: Building and Environment, Elsevier Ltd., United Kingdom, Oxford, Ausgabe 89, S. 170-182.
- Theiler M, Dragos K, Smarsly K (2018) Semantic description of structural health monitoring algorithms using building information modeling. In: The 25th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE). Lausanne, Schweiz. 10.06.2018.
- Theiler M, Smarsly K (2018) IFC Monitor – An IFC extension for modeling structural health monitoring systems. In: Advanced Engineering Informatics, 37(2018), Amsterdam, Niederlande. S. 54-65.
- van Treeck C (Hrsg.), Elixmann R, Rudat K, Hiller S, Herkel S, Berger M (2016) Gebäude. Technik. Digital. Building Information Modeling. Springer Vieweg, Berlin, Deutschland.
- van Treeck C, Wimmer R, Maile T (2015) in Borrmann et al. (Hrsg.) BIM im architektonischen Entwurf. In: Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland. S. 293-303.
- Weixler O-K (2013) Energiewende – Schlüsselrolle bei Immobilien. Erfolgsfaktor: Facility Management. Reflex Verlag GmbH (Hrsg.), Berlin, Deutschland.
- Westphal T, Herrmann, E (2015) Building Information Modeling Management: Methoden und Strategien für den Planungsprozess, Beispiele aus der Praxis. Detail Business Information GmbH, München, Deutschland.