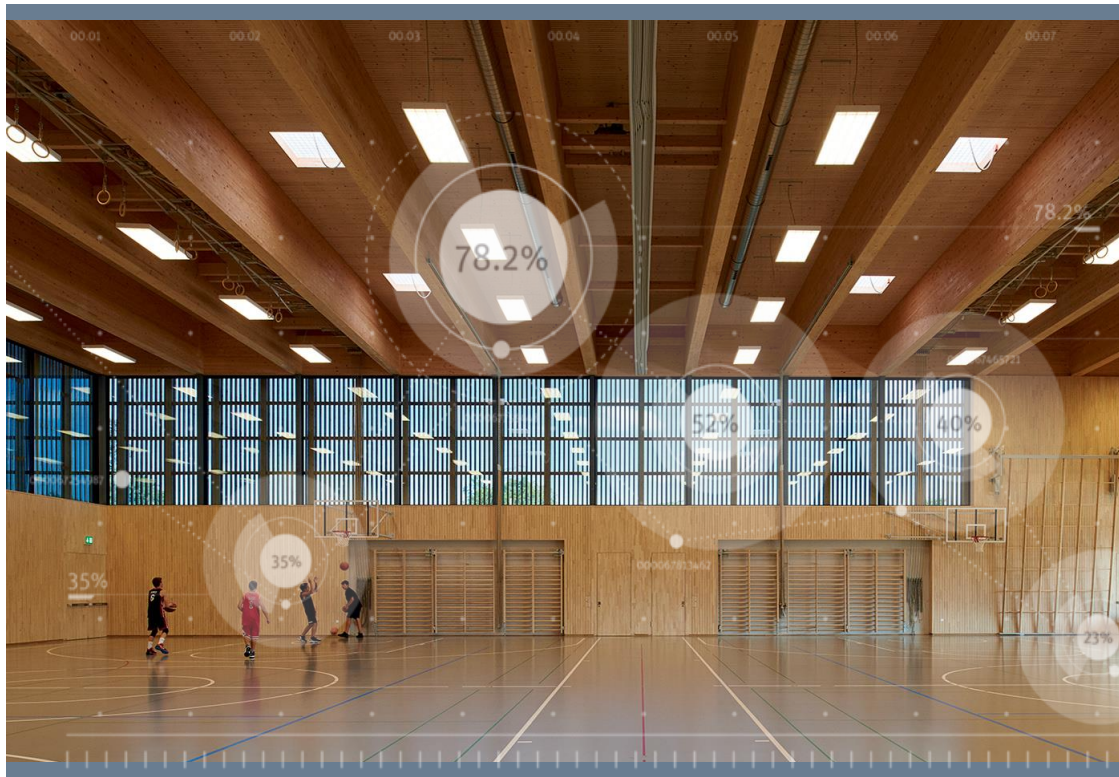




Sporthallen 4.0 – Schlussbericht

Projekt im Rahmen des Call for Proposals 2019

Salles de sport 4.0 – rapport final*

Projet mené dans le cadre de l'appel à projets 2019

Palestre sportiva 4.0 – Relazione finale**

Progetto nell'ambito del Call for Proposals 2019

* seulement l'abstract et la conclusion sont disponibles en français

** solo l'abstract e l'osservazioni conclusive sono disponibili in italiano

Berner Fachhochschule BFH

Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft

Auftraggeber

Berner Fachhochschule BFH

Projekt im Rahmen des Call for Proposals 2019

Auftragnehmerin

Berner Fachhochschule BFH

Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH

Solothurnstrasse 102, Postfach 6096,

CH-2500 Biel 6

Telefon Zentrale +41 32 344 02 02

www.ahb.bfh.ch

Autoren

Baumann Rolf	Leiter Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH, BFH
Flühmann Christoph	Wissenschaftlicher Mitarbeiter IdBH, BFH M.Sc. Business Administration, B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen
Kupferschmid Petra	Mitarbeiterin Fachstelle Sportanlagen BASPO, EHSM Architektin FH
Riedweg Nadja	Wissenschaftliche Mitarbeiterin IdBH, BFH B.Sc. Holztechnik, CAS Marketing Communications

Lektorat

Nicole Bärtschiger Leimer, Kommunikationsspezialistin, BFH

Übersetzungen

Übersetzung durch den Sprachdienst BASPO

Quelle Bild Titelseite: Corinne Cuendet, Clarens/LIGNUM

Abstract

Die digitale Transformation stellt die Bauindustrie vor Herausforderungen und bietet gleichzeitig Chancen. Nicht umsonst spricht man von der vierten industriellen Revolution, von «Bauen 4.0». Die auf neuen Technologien basierenden Entwicklungen «Big Data», «Internet of Things», «BIM» und «digitale Zwillinge» ermöglichen grundlegende Innovationen im Gebäudesektor.

Das Bundesamt für Sport BASPO hat mehrere Grundlagenpapiere, sogenannte BASPO-Schriften, zur Planung von Sporthallen publiziert. Diese werden in der Praxis als Stand-der-Technik-Papiere eingesetzt. Eine Schrift zu Kostenkennwerten für die Erstellung und den Betrieb von Sporthallen fehlt wird im Markt indes stark nachgefragt.

Bislang ist schwierig abzuschätzen, welchen Einfluss eine konsequente digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen hat, und welche grundsätzlichen Möglichkeiten es für den sinnvollen Einsatz neuer «4.0-Technologien» hinsichtlich einer Kostenoptimierung gibt.

Es gilt zu evaluieren, welche Auswirkungen die durchgängig digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen hat und welche Möglichkeiten digitale Zwillinge hinsichtlich einer Optimierung derselben Kosten bieten. Ebenso werden mögliche Zusatznutzen durch die verfügbaren Daten ermittelt. Dies soll die Grundlage schaffen, um im Rahmen von Folgeprojekten Konzepte entwickeln zu können, wie die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen gesenkt werden können.

Vier Forschungsfragen lassen sich ableiten:

1. Wie setzen sich die Lebenszykluskosten von Sporthallen zusammen?
2. Welche Auswirkungen hat eine durchgängige digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen?
3. Welche Möglichkeiten hinsichtlich einer Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen bieten digitale Zwillinge?
4. Welche Zusatznutzen können durch die verfügbaren Daten ermöglicht werden?

Über die gesamte Forschungsarbeit betrachtet, kann die Frage nach den Auswirkungen einer durchgängig digitalen Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen und die Frage nach den Möglichkeiten digitaler Zwillinge hinsichtlich einer Optimierung derselben Kosten nur bedingt beantwortet werden. Die Arbeit liefert jeweils nur Hinweise auf mögliche Antworten. Nichtsdestotrotz kann sie als Grundlage für weitere Forschungsprojekte dienen.

Das Projekt hat gezeigt, dass die Erfassung der Lebenszykluskosten von Sporthallen mit diversen Herausforderungen verbunden ist. Gleichzeitig wurde deutlich, dass digitale Zwillinge von Gebäuden grosses Potenzial bieten. Eine Studie von [iot-analytics.com](https://www.iot-analytics.com) belegt, dass vernetzte Gebäude, sogenannte Smart Buildings, von der Branche als einer der grössten globalen Trends beurteilt werden. Um diese Chancen gezielt nutzen zu können, wäre es sinnvoll, diese Themen mit weiteren Projekten zu vertiefen. Zwei mögliche Projektideen wären:

1. Automatisiertes Kostenmanagement durch IoT
2. Digitale Zwillinge für private Bauherrschaften

Abstract

La transformation numérique place l'industrie du bâtiment face à de nouveaux défis mais elle recèle en même temps de nouvelles potentialités. Ce n'est pas un hasard si l'on parle de quatrième révolution industrielle et de construction 4.0. Les développements basés sur les nouvelles technologies – Big Data, Internet des objets (IoT), Modélisation des Informations du Bâtiment (Building Information Modeling, BIM) et jumeaux numériques – permettent des innovations fondamentales dans le secteur de la construction.

L'Office fédéral du sport a publié une série de brochures destinées à faciliter la planification des salles de sport. Cette documentation de base, qui reflète l'état de la technique, fait référence auprès des praticiens. Par contre, il n'existe pas, malgré la forte demande, de publication donnant des valeurs référentielles pour les coûts de construction et d'exploitation des salles de sport.

L'impact que peut avoir une planification intégralement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport est pour l'heure difficile à évaluer, de même qu'il est difficile de dire pour l'instant quelles sont, au fond, les utilisations des nouvelles technologies 4.0 qui sont vraiment pertinentes pour optimiser les coûts.

Le présent projet a consisté à évaluer les effets d'une planification entièrement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport, ainsi que les possibilités d'optimisation de ces coûts offertes par les jumeaux numériques. Ont été étudiées aussi les utilisations supplémentaires que l'on pourrait faire des données recueillies. Objectif de ces recherches: réunir des informations de base qui pourront, dans le cadre de projets ultérieurs, servir à élaborer des méthodes de réduction des coûts de réalisation et de gestion de salles de sport.

Quatre questions de recherche ont été formulées:

1. Que recouvrent les coûts du cycle de vie d'une salle de sport?
2. Quels sont les effets d'une planification entièrement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport?
3. Quelles possibilités les jumeaux numériques offrent-ils pour réduire les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport?
4. Quelle peut être l'utilité additionnelle des données recueillies?

Au terme de ce travail de recherche, force est de constater que les questions 2 et 3 n'ont été résolues que jusqu'à un certain point. Ce travail n'a apporté que des éléments de réponse – lesquels pourront toutefois servir de socle à des recherches plus poussées.

Ce projet a mis en lumière les difficultés que pose le recensement des coûts du cycle de vie d'une salle de sport. Dans le même temps, il a montré le potentiel important des jumeaux numériques dans le domaine du bâtiment. Une étude réalisée par [iot-analytics.com](https://www.iot-analytics.com) révèle que pour le secteur de la construction, les bâtiments interconnectés ou «smart buildings» sont l'une des plus grandes tendances à l'échelle mondiale. Pour pouvoir exploiter ces opportunités de façon ciblée, il serait judicieux d'approfondir ces sujets dans le cadre d'autres projets. Deux thématiques seraient à cet égard intéressantes:

1. Gestion des coûts automatisée grâce à l'Internet des objets (IoT)
2. Jumeaux numériques pour les maîtres d'ouvrage privés

Abstract

La trasformazione digitale pone delle sfide per l'industria edilizia. Ma è anche una fonte di opportunità. Non per niente si parla della quarta rivoluzione industriale, Edilizia 4.0. I nuovi sviluppi avviati a partire dalle ultimissime tecnologie come «Big Data», «Internet of Things» IoT, «BIM» e «gemelli digitali» consentono innovazioni fondamentali nel processo costruttivo edilizio.

L'Ufficio federale dello sport UFSPÖ ha pubblicato una serie di articoli di base sulla pianificazione delle palestre che nella pratica sono considerati come documenti tecnici fondamentali. Anche se molto richiesto dal mercato, manca un documento sui parametri di costo per la costruzione e l'esercizio delle palestre.

Finora è difficile valutare l'impatto di una pianificazione digitale coerente sui costi di realizzazione e gestione delle palestre. Lo stesso dicasi dell'ottimizzazione dei costi che potrebbero risultare da un uso adeguato delle nuove «tecnologie 4.0».

Si tratta di valutare gli effetti della pianificazione digitale continuata sui costi di realizzazione e gestione delle palestre nonché le opportunità offerte dai gemelli digitali per ottimizzare questi costi. Inoltre vanno esplorati eventuali vantaggi aggiuntivi derivanti dai dati disponibili. Tutto ciò dovrebbe gettare le basi per sviluppare nell'ambito di progetti successivi delle strategie per ridurre i costi di realizzazione e di gestione delle palestre.

Si possono ricavare quattro domande di ricerca:

1. Quali sono i costi del ciclo di vita delle palestre?
2. Quali effetti ha una pianificazione digitale continua sui costi di realizzazione e gestione delle palestre?
3. Quali opportunità comportano i gemelli digitali in termini di ottimizzazione dei costi di realizzazione e di gestione delle palestre?
4. Quali vantaggi aggiuntivi possono essere enucleati dai dati disponibili?

Considerando l'intero lavoro di ricerca, non è possibile determinare pienamente gli effetti della pianificazione digitale continua sui costi di realizzazione e gestione delle palestre né le opportunità offerte dai gemelli digitali in termini di ottimizzazione di questi costi. Dal lavoro si possono enucleare solo eventuali risposte a questi interrogativi. Il lavoro di ricerca potrebbe però essere una base per ulteriori progetti di ricerca.

Il progetto ha dimostrato che l'identificazione dei costi del ciclo di vita delle palestre è un intento piuttosto complesso. Ha però evidenziato che i gemelli digitali degli edifici hanno un grande potenziale. Da uno studio di [iot-analytics.com](https://www.iot-analytics.com) risulta inoltre che nel settore edilizio gli edifici collegati in rete, i cosiddetti edifici intelligenti (smart buildings) sono considerati come una delle maggiori tendenze globali. Per sfruttare queste opportunità in modo mirato, sarebbe opportuno approfondire questi temi con ulteriori progetti. Due possibili idee di progetto sarebbero:

1. Gestione automatizzata dei costi attraverso IoT (internet delle cose).
2. Gemelli digitali per i proprietari di edifici privati.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Ausgangslage	8
1.2	Ziele und Forschungsfragen	8
1.3	Relevanz und Nutzen	8
1.4	Projektorganisation	9
1.5	Aufbau der Arbeit	9
2	Lebenszykluskosten von Sporthallen	10
2.1	Ausgangslage und Begriffsklärung	10
2.2	Expertenumfrage: Datenbeschaffung und -zugänglichkeit	12
2.3	Kostentreiber von Sporthallen während der Bewirtschaftungsphase	13
2.4	Lebenszykluskostenmodell für Sporthallen	14
3	Digitale Planung, Bau und Bewirtschaftung von Gebäuden	16
3.1	Building Information Modeling (BIM)	16
3.2	Anwendung von BIM in der Bauphase	18
3.3	Anwendung von BIM in der Betriebsphase (BIM@FM)	19
3.4	Auswirkungen einer digitalen Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten	22
4	Internet of Things (IoT) im Kontext von Gebäuden	24
4.1	Definition Internet of Things (IoT)	24
4.2	Datenerfassung und -übertragung	25
4.3	Datenspeicherung und -verarbeitung	26
4.4	Steuerungs- und Benutzeranwendungen	29
4.5	Anwendungsfelder & Beispiele von IoT in der Bewirtschaftungsphase von Gebäuden	29
5	Digitaler Zwilling einer Sporthalle	33
5.1	Was ist ein digitaler Zwilling	33
5.2	Nutzen eines digitalen Zwillings im Lebenszyklus eines Gebäudes	34
5.3	Optimierung der Bau- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen	36
5.4	Möglicher Zusatznutzen der Daten in der Bewirtschaftungsphase	38
6	Schlussbetrachtung	39
6.1	Fazit	39
6.2	Ausblick	40
7	Conclusions	42
7.1	Récapitulation	42
7.2	Perspectives	43
8	Osservazioni conclusive	45
8.1	Conclusioni	45
8.2	Prospettive	46
9	Literaturverzeichnis	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmer Expertenfrage und -Workshop	12
Tabelle 2: Verschiedene smarte Sensoren für den Einsatz im Kontext von Smart Buildings (Qolomany et al. 2019, S. 8)	25
Tabelle 3: Klassifizierung von Funksystemen (Jaspers et al. 2018, S. 351)	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gegenüberstellung Kostenmodelle (eigene Darstellung)	11
Abbildung 2: Zuweisung Kostenstellen und Kostenarten (eigene Darstellung)	12
Abbildung 3: Modell für das Erfassen der Lebenszykluskosten von Sporthallen (eigene Darstellung) ..	15
Abbildung 4: Digitale Landkarte Schweiz (Bauen digital Schweiz 2018a, S. 21)	16
Abbildung 5: Lebenszyklus-orientierte Bauwerksbetrachtung durch Building Information Modeling (Bender et al. 2018, S. 297)	17
Abbildung 6: Übersicht der Modelle bei der Anwendung von BIM in der Bauphase (Bauen digital Schweiz 2018b, S. 10)	18
Abbildung 7: Allgemeine Datenumgebung (CDE) (Bender et al. 2018, S. 305)	20
Abbildung 8: BIM Abwicklungsmodell in Anlehnung an Bauen digital Schweiz (IFMA Schweiz 2017, S. 5)	21
Abbildung 9: Technologien mit den höchsten Nutzenerwartungen pro Prozessgruppe (Baldegger et al. 2019, S. 20)	23
Abbildung 10: Grundelemente der IoT-Architektur (Hryzhnevich 2018)	24
Abbildung 11: Arten der Datenanalyse (Hofmann et al. 2018, S. 385)	28
Abbildung 12: Einteilung möglicher Anwendungsfälle von IoT in der Gebäudebewirtschaftung (Jaspers et al. 2018, S. 340)	29
Abbildung 13: Der digitale Zwilling unter Einbeziehung von BIM-Daten (Bender et al. 2018, S. 300) ..	34
Abbildung 14: Nutzen eines digitalen Zwillings im Lebenszyklus eines Gebäudes (eigene Darstellung)	35
Abbildung 15: IoT-Projekte - Connected Buildings voll im Trend (Gebäude Netzwerk Initiative o.J.) ...	41

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die digitale Transformation stellt die Bauindustrie vor grosse Herausforderungen und bietet gleichzeitig vielfältige Chancen. Nicht umsonst spricht man von der vierten industriellen Revolution, von «Bauen 4.0». Die auf den neuen Technologien basierenden Entwicklungen wie «Big Data», «Internet of Things», «Building Information Modelling» und «digitale Zwillinge» ermöglichen grundlegende Innovationen im Gebäudesektor.

Für den Bereich der Sporthallen hat die Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM als Teil des Bundesamts für Sport BASPO mehrere Grundlagenpapiere, sogenannte BASPO-Schriften, zur Planung von Sporthallen publiziert. Diese werden in der Praxis als Stand-der-Technik-Papiere eingesetzt. Eine Schrift zu Kostenkennwerten für die Erstellung und den Betrieb von Sporthallen fehlt und wird im Markt stark nachgefragt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts «Bau- und Betriebskosten von Sporthallen», finanziert vom BASPO und von der internationalen Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen (IAKS), wurden bereits aktuelle Kostenkennwerte für den Bau von Sporthallen ermittelt. Doch bislang ist es schwierig abzuschätzen, welchen Einfluss eine konsequente digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen hat, und welche grundsätzlichen Möglichkeiten es für den sinnvollen Einsatz neuer «4.0-Technologien» hinsichtlich einer Kostenoptimierung gibt.

1.2 Ziele und Forschungsfragen

In diesem Projekt soll beleuchtet werden, welche Auswirkungen die durchgängige digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen hat und welche Möglichkeiten digitale Zwillinge hinsichtlich einer Optimierung derselben Kosten bieten. Ebenso werden mögliche Zusatznutzen durch die verfügbaren Daten ermittelt. Dies soll die Grundlage schaffen, um im Rahmen von Folgeprojekten Konzepte entwickeln zu können, wie die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen gesenkt werden können.

Folgende zu beantwortende Forschungsfragen lassen sich ableiten:

5. Wie setzen sich die Lebenszykluskosten von Sporthallen zusammen?
6. Welche Auswirkungen hat eine durchgängige digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen?
7. Welche Möglichkeiten hinsichtlich einer Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen bieten digitale Zwillinge?
8. Welche Zusatznutzen können durch die verfügbaren Daten ermöglicht werden?

Damit die Erkenntnisse auf andere Gebäudetypen adaptiert werden können, soll möglichst auf einer, für alle Gebäudetypen abstrahierten Ebene geforscht und punktuell einzelne Schlüsse für Sporthallen gezogen werden.

1.3 Relevanz und Nutzen

Sporthallen werden von Schulen, Sportvereinen und für vielfältige gesellschaftliche Anlässe genutzt. Sie haben deshalb eine wichtige Bedeutung für die Bevölkerung und müssen unterschiedlichste Bedürfnisse erfüllen können. Da sie mehrheitlich der öffentlichen Hand gehören, sind tragbare Investitions- und Bewirtschaftungskosten zentral – und damit einhergehend eine fortlaufende Kostentransparenz während des gesamten Lebenszyklus’.

Die Erkenntnisse dieses Projekts können von den Sporthallen auf andere Gebäudetypen adaptiert werden. Insbesondere für weitere Anlagen der öffentlichen Hand, wie beispielsweise Sportanlagen-Typen, Schulen und Verwaltungsgebäude, aber auch für Wohn- und Gewerbebauten werden die Ergebnisse wertvoll sein.

Das Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH der Berner Fachhochschule BFH mit den Forschungsschwerpunkten Management und Marktforschung, Digitale Fertigung und Digitales Bauen wurde 01.01.2018 gegründet und ist aktuell in der Aufbauphase. Die departementsübergreifende

Zusammenarbeit innerhalb der BFH ist mitentscheidend, ob die BFH das Thema digitale Transformation im Bauwesen besetzen kann. Das vorliegende Projekt soll hierzu einen Beitrag im Kontext von Sporthallen bieten.

1.4 Projektorganisation

Das Projekt wird in einer Zusammenarbeit des Instituts für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH der BFH sowie der Fachstelle Sportanlagen der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen EHSM durchgeführt – die EHSM ist als Fachhochschule sowohl der BFH angegliedert wie auch Teil des BASPO.

Das Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft analysiert Märkte, Methoden und Technologien und entwickelt daraus neue, wirtschaftliche Lösungen für die Bau- und Holzbranche von morgen. Ein Forschungsschwerpunkt liegt im digitalen Bauen, wo mit Schwerpunkt Building Information Modeling (BIM) an Produkten und Prozessen für wirtschaftlicheres und qualitativ besseres Bauen geforscht wird.

Die Fachstelle Sportanlagen der EHSM berät Bauherrschaften, Verwaltungen, Architektinnen und Architekten sowie weitere involvierte Personen zu Planung, Bau und Betrieb von Sportanlagen. Sie erarbeitet Grundlagen und vermittelt Wissen zu unterschiedlichen Sport- und Bewegungsanlagen. Gemäss der Sportanlagenstatistik Schweiz 2012 machen Turn- und Sporthallen gute 20% der über 30'000 Sportanlagenteile aus (vgl. Balthasar et al. 2013).

Für dieses Projekt wird der interdisziplinäre Austausch von Wissen und Erkenntnissen aus dem (digitalen) Bauen und der Einrichtung und dem Betrieb von Sporthallen zwischen dem BFH-Forschungsinstitut IdBH und der EHSM genutzt. Diese Möglichkeit bietet eine einzigartige Chance, über die andere Fachhochschulen nicht verfügen.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die Forschungsarbeit wird im Kapitel 2 eingeleitet mit dem Thema Lebenszykluskosten, indem von einer Definition im Kontext von Sporthallen auf ein geeignetes Lebenszyklusmodell für das Erfassen und Vergleichen der Kosten von Sporthallen übergeleitet wird. In Kapitel 3 wird untersucht, welche Auswirkungen eine digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten haben kann, wobei der Ansatz bzw. die Methode BIM (Building Information Modeling) im Vordergrund steht. Welche Möglichkeiten IoT-Lösungen (Internet of Things) bei der Optimierung der genannten Kosten haben können, wird im anschliessenden Kapitel 4 beleuchtet. Danach wird aufgezeigt, welche Berührungspunkte BIM und IoT in Zusammenhang mit einem digitalen Zwilling haben (vgl. Kapitel 5), bevor dann auf die Möglichkeiten einer Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen sowie möglicher Zusatznutzen durch digitale Zwillinge eingegangen wird. Kapitel 6 mit Schlussbetrachtung inkl. Fazit und Ausblick schliesst die Forschungsarbeit ab.

2 Lebenszykluskosten von Sporthallen

Von der Planung eines Gebäudes über die Realisierung bis hin zum Rückbau desselben werden Kosten generiert. Damit diese erfassbar sind und schliesslich Möglichkeiten für die Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten aufgezeigt werden können, wird in diesem Kapitel der Begriff Lebenszykluskosten genauer definiert und auf den Anwendungsfall von Sporthallen adaptiert.

2.1 Ausgangslage und Begriffsklärung

«Lebenszykluskosten sind die Kosten innerhalb der Betrachtungsperiode, die bei der Planung, der Realisierung und der Bewirtschaftung (ggf. einschliesslich der Massnahmen am Ende des Lebenszyklus) einer baulichen Anlage entstehen, solange die zum Betrachtungszeitpunkt definierten Anforderungen an die bauliche Anlage erfüllt werden.» (CRB 2012).

Diese Definition scheint im ersten Moment klar verständlich. Bei näherer Betrachtung stellen sich jedoch einige Fragen, nachfolgender Fragenkatalog ist indes nicht abschliessend und vollständig:

- Wie und durch wen wird die Betrachtungsperiode bestimmt und wovon ist diese abhängig?
- Ist bei der Planung die Projektentwicklung, also die Phase vor der konkreten Projektplanung, enthalten? Werden die Personalressourcen der Bauherrschaft mitgerechnet?
- Gehören z.B. Grundstückskosten oder der Abbruch bestehender Liegenschaften auch zu den Realisierungskosten?
- Werden bei der Bewirtschaftung Kosten für die Liegenschaftsverwaltung einbezogen? Lassen sich Personal- und Gemeinkosten für ein Gebäude korrekt abgrenzen oder zuweisen?
- Wie können die Rückbaukosten berücksichtigt werden, wenn noch gar nicht klar ist, was mit der Anlage am Ende der Betrachtungsperiode geschieht?
- Sind Umgebungsarbeiten auch Bestandteil der Bewirtschaftung einer baulichen Anlage?
- Der Geldwert und die Kosten für einzelne Arbeiten und Materialien verändern sich ständig und sind dem Markt unterworfen. Wie soll dieser Aspekt angemessen berücksichtigt werden?
- Was sind lebenszyklusrelevante Anforderungen an ein Gebäude?
- Es wird von Kosten gesprochen. Wie werden aber durch das Gebäude generierte Einnahmen, z.B. Mieteinnahmen, in den Lebenszykluskosten berücksichtigt?

CRB liefert im genannten Leitfaden einige Präzisierungen gleich mit:

«Die Kosten, die bei der Veränderung einer baulichen Anlage entstehen, sind in der Regel nicht Bestandteil der Lebenszykluskosten. Die betriebsspezifischen und produktionsbedingten Kosten (Prozesskosten des Kerngeschäfts) sind nicht Bestandteil der Lebenszykluskosten. Die Kosten für Dienste sind nicht Bestandteil der Lebenszykluskosten.» (CRB 2012).

Auch aus diesen Sätzen lassen sich wiederum Fragen ableiten. Es erstaunt daher nicht, dass für Lebenszykluskosten, Bewirtschaftungskosten, Nutzungskosten, Betriebskosten usw. diverse Kostenmodelle aufgesetzt wurden und die Begriffe nicht in jedem Modell kongruent verwendet werden.

Als Grundlage für die Festlegung eines geeigneten Kostenmodells für Sporthallen wurden bestehende Modelle einander gegenübergestellt. Dabei wurden ähnliche oder gleiche Begriffe in dieselbe Zeile eingeordnet, um einen Überblick über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu erhalten.

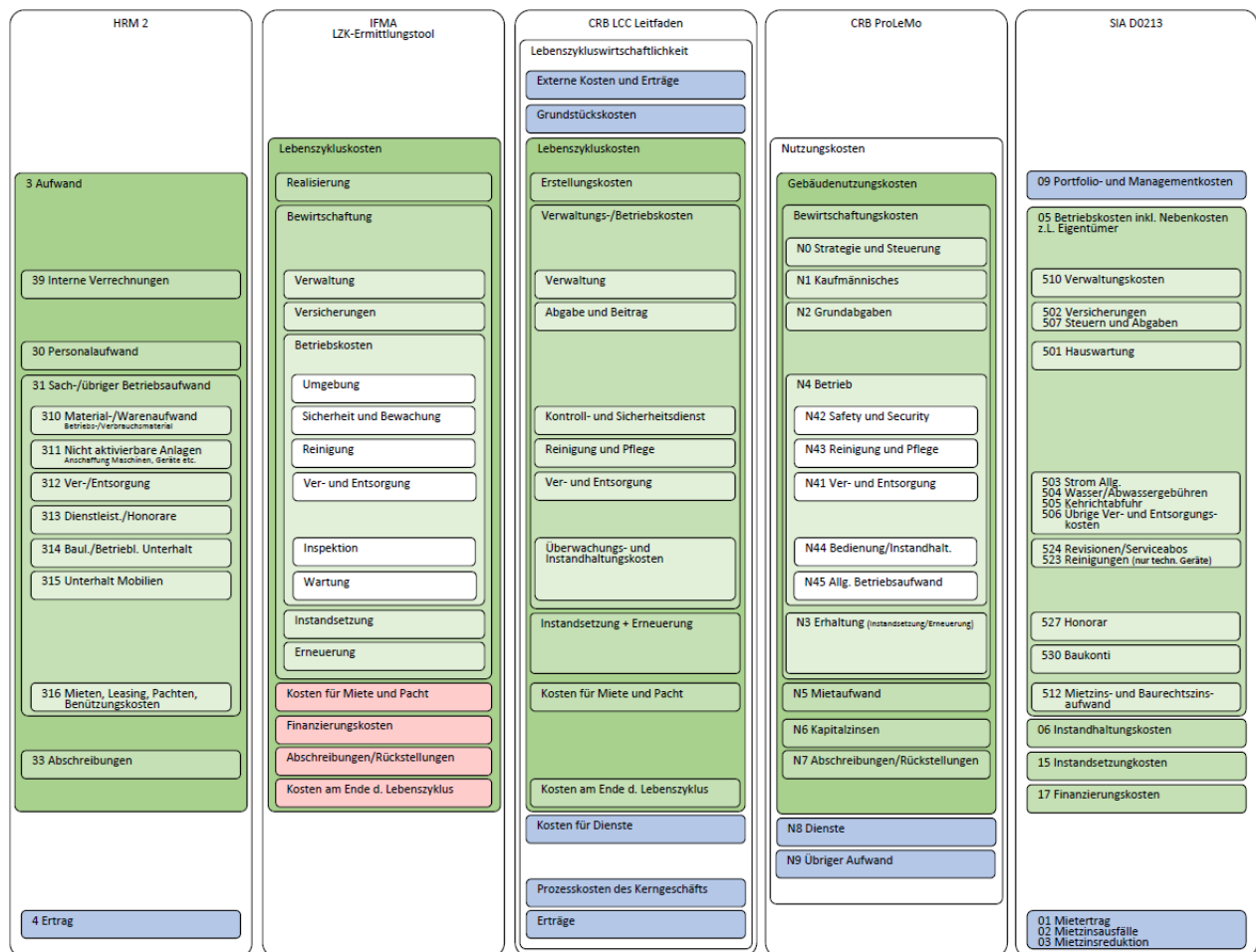


Abbildung 1: Gegenüberstellung Kostenmodelle (eigene Darstellung)

Legende für Grafik:

- Grün: Kostenarten im Bereich der Lebenszykluskosten
- Rot: Aus Sicht der Autorenschaft zu ergänzende Kostenarten
- Blau: Kostenarten ausserhalb der Lebenszykluskosten

Die Kostenerfassung erfolgt bei privaten und öffentlichen Eigentümern und Betreibern nicht auf die gleiche Weise. Während für Privatimmobilien die obengenannten Modelle noch einigermaßen anwendbar sind, trifft das für Gebäude der öffentlichen Hand in den meisten Fällen nicht zu. Die Verrechnungen der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten erfolgen über diverse Stellen. Da aber die meisten Sporthallen im Besitz der öffentlichen Hand sind, wäre es zielführend, das Kostenmodell mit Daten und Zahlen zu füllen, die seitens Gemeinde sowieso vorhanden und beschrieben sind. In Anlehnung an das IFMA-Tool wurde also versucht, den Kostenarten eine Kostenstelle aus dem Kontenplan des Rechnungslegungsmodell HRM 2 (seit anfangs 2019 in allen Schweizer Gemeinden im Einsatz) zu hinterlegen. Dass dies nur bedingt möglich ist und es zusätzliche Angaben aus anderen Bereichen braucht, zeigt nachfolgende rudimentäre Abbildung:

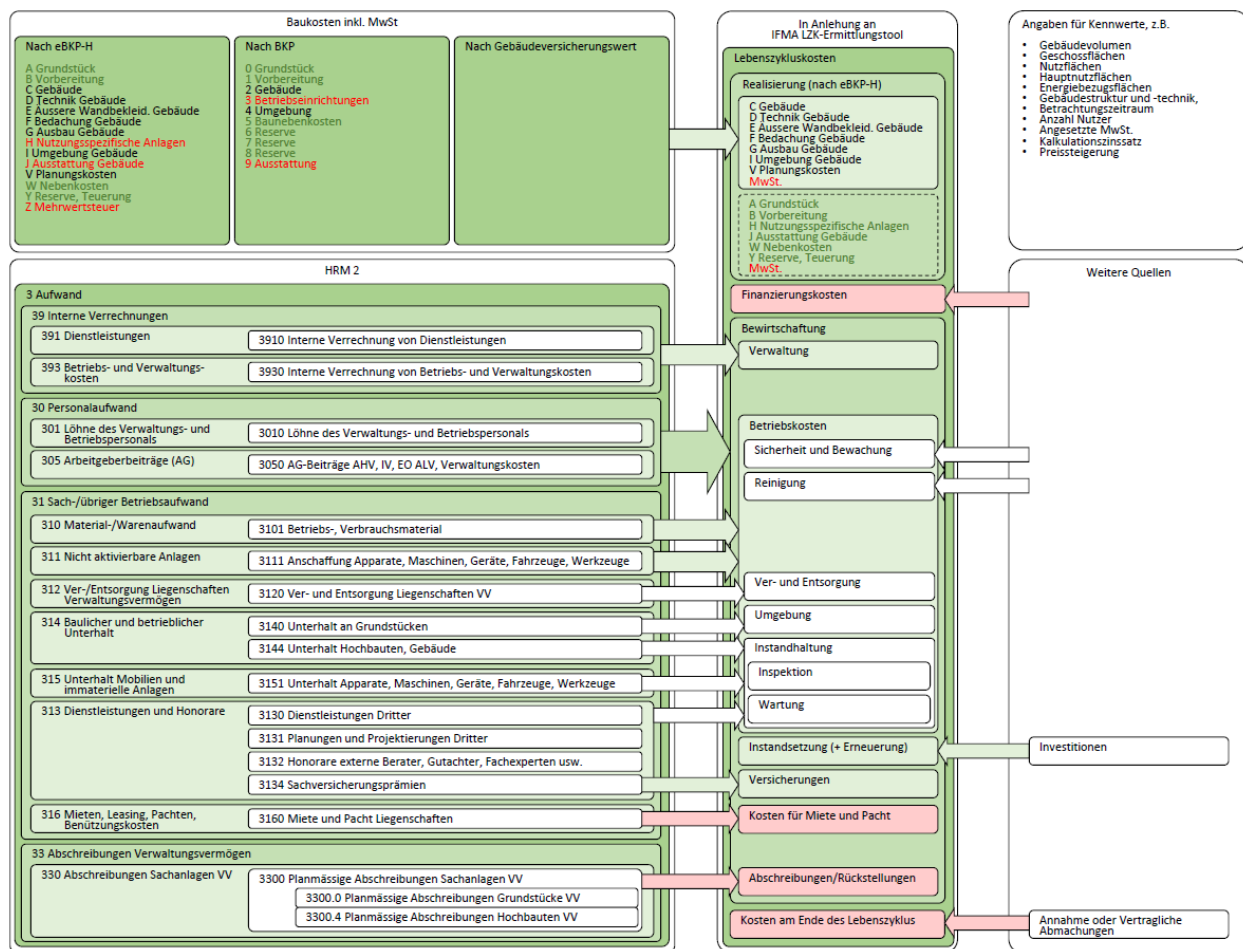


Abbildung 2: Zuweisung Kostenstellen und Kostenarten (eigene Darstellung)

Es bleibt die Frage, wie kompatibel HRM2 mit einem Kostenmodell ist und wie die weiteren Daten generiert werden können. Um in einem ersten Schritt herauszufinden, ob und wie die Daten und Zahlen in der vorgestellten Form verfügbar wären, wurde eine Expertenurfrage durchgeführt.

2.2 Expertenurfrage: Datenbeschaffung und -zugänglichkeit

Mittels einer Online-Expertenurfrage und einem anschliessenden Workshop wurden bei Gemeindevertretern Angaben zu einzelnen Sporthallen abgefragt, um einen ersten Eindruck der Datenzugänglichkeit zu erlangen und in einer Arbeitsgruppe zu diskutieren. Teilgenommen haben folgende Personen:

Tabelle 1: Teilnehmer Expertenurfrage und -Workshop

Name	Gemeinde / Institution	Funktion
Anton Arnold	Altdorf	Leiter Bauabteilung
Martin Bühler	Stadt St. Gallen	Ressortleiter Schul- und Sportanlagen
Markus Christen	Altdorf	Leiter Finanzabteilung
Michael Favrod	Biel/Bienne	Leiter Zentrale Dienste
Marc Lehmann	Aarberg	Bauverwaltung
Frank Wadenpohl	Wädenswil	Leiter Immobilien
Christoph Hofer	BFH, IdBH	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Petra Kupferschmid	BASPO/EHSM	Mitarbeiterin Fachstelle Sportanlagen
György Orban	CRB	Projektleiter CRB
Niklaus Schwarz	BASPO/EHSM	Leiter Fachstelle Sportanlagen
Christian Schwizer	Stadt Zürich	Fachstelle Projektökonomie

Die Resultate der Expertenumfrage und die Diskussionen im Rahmen des Workshops haben einige Problempunkte betreffend Datenbeschaffung und -zugänglichkeit von Bewirtschaftungskosten aufgezeigt. Die wichtigsten drei in einer Kurzfassung:

- **Problem 1 - Dezentrale Datenablage:**
Die Beschaffung der benötigten Informationen kann je nach Organisation der Gemeinde sehr direkt oder aber sehr aufwändig sein. Involviert in Lebenszykluskosten sind zum Beispiel strategische Gremien, Bau- und Liegenschaftsverwaltungen, Finanzabteilung, Sport- und/oder Schulamt, Portfolio- und Immobilienmanager, usw. In kleineren Gemeinden wie Aarberg sind die Kommunikationswege zwischen den einzelnen Anlaufstellen kurz und direkt, in grossen Städten wie Biel oder St. Gallen sind effektiv sehr viele Personen involviert, die, je nachdem auch örtlich über das Stadtgebiet verteilt sind. Des Weiteren sind gewisse Daten gar nicht vorhanden und müssten aufwändig rekonstruiert oder beschafft werden.
- **Problem 2 - Zuordnung übergreifender Kosten:**
Die Sporthalle als Anlage mit eigenem Personal und direkt auf die Anlage abgerechneten Gemeinkosten ist eher selten. Oft ist die Sporthalle in einer Schulanlage eingebunden oder mit weiteren Sportangeboten wie z.B. Rasenplätzen, Sand- oder Leichtathletikanlagen verknüpft. Es stellt sich die Frage, zu welchem Anteil Personalkosten (Verwaltung und Betrieb), Gemeinkosten (Materiallieferungen, Ver- und Entsorgungskosten, usw.) und weitere übergreifende Ausgaben an die Sporthalle angerechnet werden können. Dasselbe Problem stellt sich auch bei den Erstellungskosten, sofern die Sporthalle in einer Gesamtanlage eingebunden ist.
- **Problem 3 - Vergleichbarkeit der Kennwerte:**
Die aus den Daten gewonnenen Kennwerte können zwar einander gegenübergestellt werden, sind aber aufgrund der unterschiedlichen baulichen Ausprägung der Anlagen und aufgrund der uneinheitlichen Voraussetzungen bei der Datenbeschaffung kaum vergleichbar. Es ist beinahe unmöglich, alle nötigen Angaben so gut zu beschreiben, dass der Interpretationsspielraum gleich Null ist. Zusätzliche qualitative Beschreibungen der Anlage und der Materialisierung, Pläne, Fotos und Angaben zu Nutzungsart und -intensität würden helfen, die verschiedenen Sporthallen in den richtigen Kontext zu stellen.

Als Fazit der Expertenumfrage und des Workshops lässt sich sagen, dass eine qualitativ gute und detaillierte Erfassung einzelner Sporthallen zielführender wäre, als eine grosse Abfrage vieler Sporthallen, dies in erster Linie aufgrund der inhomogenen Datengrundlage. Zudem müssten für einzelne Abfragefelder noch genauere Vorgaben erarbeitet werden, mit dem Ziel, die Objekte miteinander vergleichen zu können, um daraus Schlüsse für eine Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten ziehen zu können.

Bei einer Kostenoptimierung macht es am meisten Sinn, bei den kostentreibenden Faktoren anzusetzen. Das nachfolgende Kapitel liefert einige Hinweise darauf. Dabei liegt der Fokus auf der kostenintensiven Bewirtschaftungsphase.

2.3 Kostentreiber von Sporthallen während der Bewirtschaftungsphase

Im Expertenworkshop wurde neben der Datenbeschaffung und -zugänglichkeit auch diskutiert, wo die Kostentreiber einer Sporthalle während deren Bewirtschaftungsphase liegen. Diese zu kennen würde es erlauben, den Hebel für Optimierungen am richtigen Ort anzusetzen. Allerdings lassen sich nicht alle grossen Treiber optimieren. Es müsste denn auch kritisch geprüft werden, ob überhaupt flexible oder modifizierbare Kostenteile vorhanden sind. Eine breite und qualitativ gute Datengrundlage würde es ermöglichen, Objekte untereinander zu vergleichen und die Optimierungshebel für ein einzelnes Projekt oder für den ganzen Gebäudetypus Sporthalle zu evaluieren.

Folgende Kostentreiber konnten aus Sicht der Workshop-Teilnehmenden identifiziert werden:

- **Personalkosten**
Bei den meisten Anlagen ist der Lohn für den Hausdienst die wahrscheinlich grösste Kostenstelle. Hier wäre herauszufinden, wie Arbeitszeit eingespart werden kann, ohne dass die Qualität des Betriebs leidet. Es ist zu beachten, dass der Hauswart auch sehr viele organisatorische und soziale Aspekte in seinem Arbeitsalltag integriert hat und als «Gesicht der Anlage» wahrgenommen und entsprechend angesprochen wird. Eine Sporthalle ist auch immer sozialer Treffpunkt.

- **Reinigungskosten**
Die Reinigung wird in der Regel vom Hausdienst organisiert, wobei gewisse Arbeiten extern in Auftrag gegeben werden. Hier wäre der Hebel zum Beispiel bei der Flächen- und Materialoptimierung sowie der geometrischen Konzeption der Räume (wenig Vor-/Rücksprünge, genügend Raum für Reinigungsmaschinen, gut zugängliche Fensterflächen usw.) anzusetzen.
- **Baulicher Unterhalt**
Der bauliche Unterhalt gehört meist ebenfalls zu den Aufgaben des Hausdiensts. Optimierung besteht allenfalls bei der Schaffung guter Voraussetzungen für die Zugänglichkeit und Auswechselbarkeit von Teilen, insbesondere der Haustechnik und weiterer Verschleissteile. Eine automatisierte Überwachung, Protokollierung und Warnung bei ungenügender Leistung, Reinheit, Gebrauchstauglichkeit usw. könnte die Überwachung effizienter gestalten und zur Reduktion von Kontrollgängen beitragen.
- **Auf Qualität setzen**
Bei Neuanschaffungen oder Ersatzbeschaffungen sollte auf eine ausreichende Qualität geachtet werden. Ein Ersatz defekter Teile ist immer mit Personalaufwand und Betriebsstörungen verbunden.

Neben dem Erkennen von Kostentreibern, kann eine detaillierte Erfassung der Lebenszykluskosten, insbesondere der Bewirtschaftungskosten dabei helfen noch anderweitige Fragen zu beantworten. Im Bereich der Sporthallen haben sich aus den Diskussionen während des Expertenworkshops drei Fragestellungen herauskristallisiert:

- **Mit welchen jährlichen Kosten muss nach der Erstellung gerechnet werden?**
Der Projektierungs- und Baukredit einer Sporthalle wird in den meisten Fällen über eine Volksabstimmung genehmigt. Die Folgekosten durch die Finanzierung und den Betrieb der Anlage sind ebenfalls relevant und werden in der Abstimmungsbotschaft meist aufgeführt, ohne dass darüber effektiv abgestimmt wird. Diese jährlich wiederkehrenden Kosten können Einfluss auf den Steuersatz einer Gemeinde haben. Die Zahl ist daher für die Finanzabteilung und die Politik wichtig, aber auch für die Bevölkerung und den Betreiber der Sportanlage.
- **Mit welchen Personalressourcen ist der Betrieb der Anlage möglich?**
Der Neubau – manchmal auch die Sanierung – einer Anlage zieht Anpassungen in der Personalstruktur nach sich. Dies kann die Anstellung einer Hauswartin, eines Hauswarts, die Erweiterung von Pflichtenheften, die Bestimmung einer Person in den Verwaltungsaufgaben oder ein Outsourcing der Aufgaben sein. Neben den finanziellen Ressourcen sind demnach auch die personellen Ressourcen bereits in einer frühen Phase zu planen.
- **Was kostet eine Nutzungsstunde einer Sportfläche effektiv?**
Die Nutzung von Sporthallen ist für gemeindeeigene Sport- und weitere Non-Profit-Organisationen meist sehr günstig bis gratis. Hier greifen Sport- und Bewegungsförderprogramme und Subventionen verschiedener Bereiche den Vereinen unter die Arme. Diese Beiträge der öffentlichen Hand werden aber selten kommuniziert und der Anspruch auf kostengünstige Anlagebenützung steigt. Das Aufzeigen der effektiven Kosten, bezogen auf die vermietbare Sportfläche, würde es erlauben, den Nutzerinnen und Nutzern transparent aufzuzeigen, welcher Kostenanteil durch die öffentliche Hand übernommen wird.

Grundlage für die Beantwortung der aufgeführten Fragen oder für das Aufzeigen von Kostentreibern ist eine Datenerfassung nach klar definierten Vorgaben. Nur so lassen sich die Lebenszykluskosten mehrerer Sporthallen vergleichen und Zusammenhänge bzw. Muster erkennen.

2.4 Lebenszykluskostenmodell für Sporthallen

Um die Lebenszykluskosten einer Sporthalle zu erfassen und die nötigen Angaben für aussagekräftige und vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurde ein Modell für Sporthallen ausgearbeitet. Mit den aufgeführten Angaben wäre es möglich, Kennzahlen zu generieren und Objekte miteinander zu vergleichen.

Das Modell zeigt, wie sich Kosten aus Bau und Betrieb zu den Lebenszykluskosten zusammensetzen (grüner Bereich). Es führt auch auf, welche weiteren Angaben zum Projekt (blau) nötig wären, um daraus Kennwerte (orange) ableiten zu können. Diese Projektangaben dienen zudem dazu, ein Gebäude bezüglich Standard, Grösse, Nutzung usw. erfassbar zu machen und als Referenz verorten zu können.

Dazu genügen die reinen Kennwerte aufgrund der Heterogenität der Anlagen in den meisten Fällen nicht.

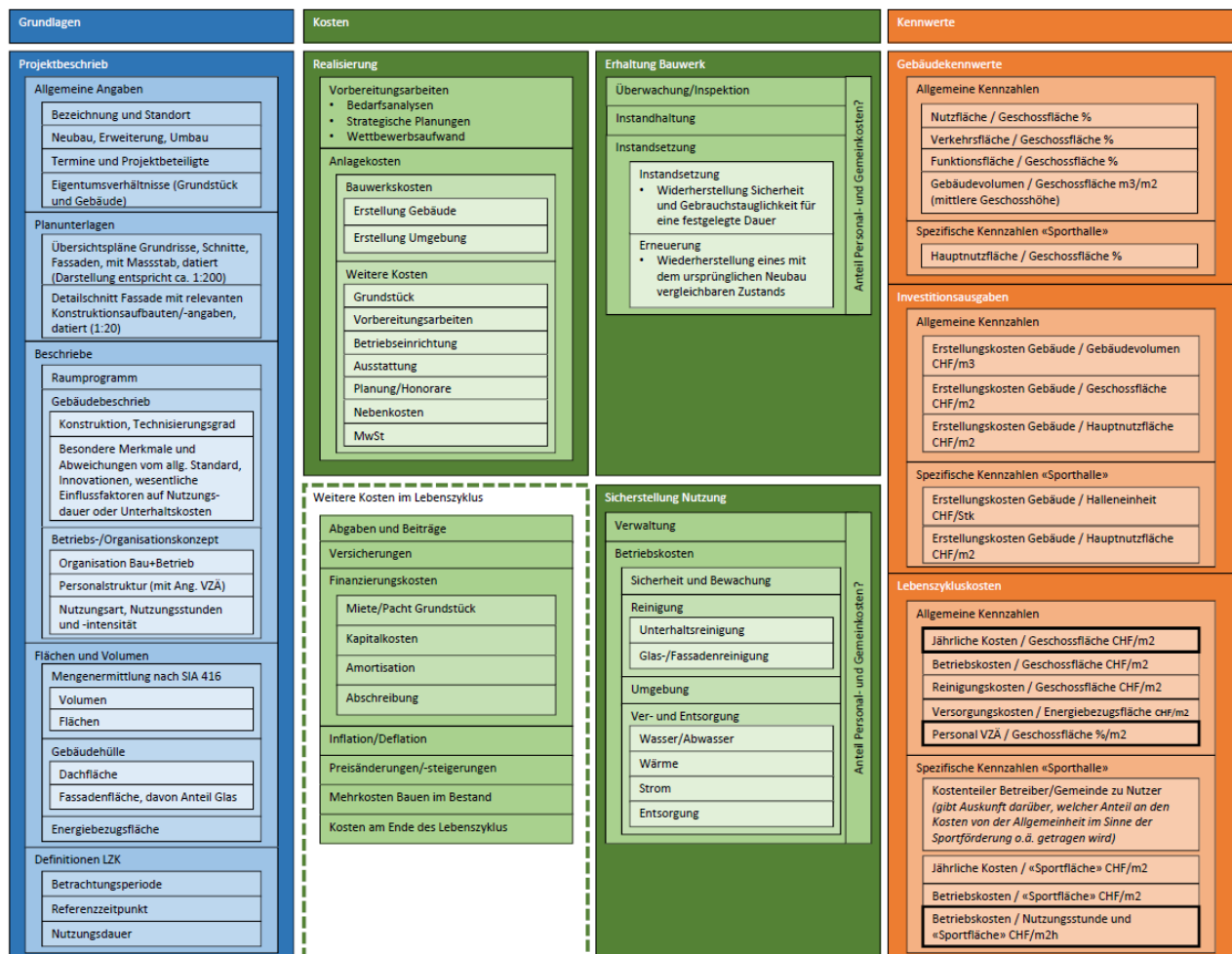


Abbildung 3: Modell für das Erfassen der Lebenszykluskosten von Sporthallen (eigene Darstellung)

Mit diesem Modell wird denn auch die erste Forschungsfrage beantwortet: Wie setzen sich die Lebenszykluskosten von Sporthallen zusammen?

Nachdem nun die Zusammensetzung der Lebenszykluskosten, insbesondere der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten bekannt ist, wird im nächsten Kapitel beleuchtet, welche Auswirkungen eine digitale Planung auf die genannten Kosten haben kann.

3 Digitale Planung, Bau und Bewirtschaftung von Gebäuden

Die digitale Transformation führt wie in anderen Wirtschaftsbereichen auch in der Bau- und Immobilienbranche zu fundamentalen Veränderungen. Es braucht ein neues Verständnis der kollaborativen Zusammenarbeit mittels durchgängiger Prozesse und Daten sowie der Vernetzung aller Akteurinnen und Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Damit die breit gestreuten und anspruchsvollen Veränderungen in der von kleinfragmentierten Unternehmen geprägten Schweizer Bau- und Immobilienbranche angegangen werden können, wurde 2016 der Verein «Bauen digital Schweiz / buildingSMART Switzerland» ins Leben gerufen. Ziel des Vereins ist es, die Digitalisierung und damit eine durchgängige Kooperation aller Beteiligten über den Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg zu ermöglichen (vgl. Weber 2020, Bauen digital Schweiz o.J., netzwerk_digital o.J.).

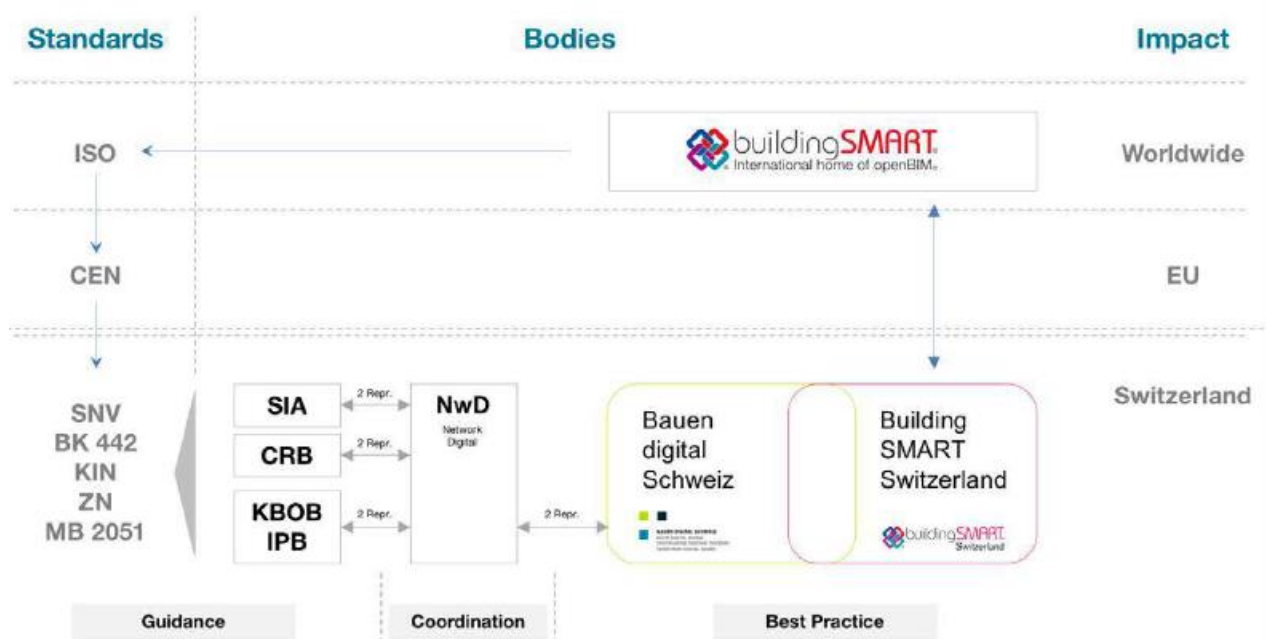


Abbildung 4: Digitale Landkarte Schweiz (Bauen digital Schweiz 2018a, S. 21)

Während Bauen digital Schweiz praxistaugliche Instrumente erarbeitet und anhand von Best-Practice-Beispielen den Nutzen der digitalen Transformation für die Bau- und Immobilienbranche aufzeigt, wird eine nationale Zusammenarbeit der Organisationen mit ähnlichen Anliegen über «netzwerk_digital» koordiniert – eine Initiative des SIA, CRB, KBOB, IPB und Bauen digital Schweiz (vgl. Bauen digital Schweiz o.J. & netzwerk_digital o.J.).

Will man die einleitend erwähnte, zukünftig notwendige kollaborative Zusammenarbeit erreichen, kommt man um das strukturierte Aufbauen und Erzielen konsistenter Daten und Informationen über den gesamten Lebenszyklus von Immobilien, sprich Building Information Modeling (BIM) nicht herum (vgl. IdBH o.J. & IFMA Schweiz 2017).

3.1 Building Information Modeling (BIM)

3.1.1 Definition

«Unter der Methode BIM versteht man die Zusammenarbeit anhand virtueller Gebäudemodelle mit dem Ziel der besseren Kooperation der am Planungsprozess Beteiligten, der Koordination des Informationsaustausches bis hin zur Leistungsvorhersage eines Gebäudes im Betrieb». So die Definition, die Bauen digital Schweiz in ihrem BIM Workbook verwendet (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 6).

Die Modelle repräsentieren nicht nur die dreidimensionale räumliche Abbildung des Gebäudes in der virtuellen Welt, sondern enthalten ebenso nicht-geometrische Gebäudebestandteile als Objekte mit

Eigenschaften und deren Relationen zueinander (vgl. Bender et al. 2018, S. 296 & Institut Digitales Bauen o.J.). Die digitalen Modelle stellen als Informationsdatenbank rund um das Bauwerk eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus der Immobilie dar – von der Projektplanung, über die Bauausführung, die Bewirtschaftung, bis hin zum Rückbau (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 6 & Bender et al. 2018, S. 296).

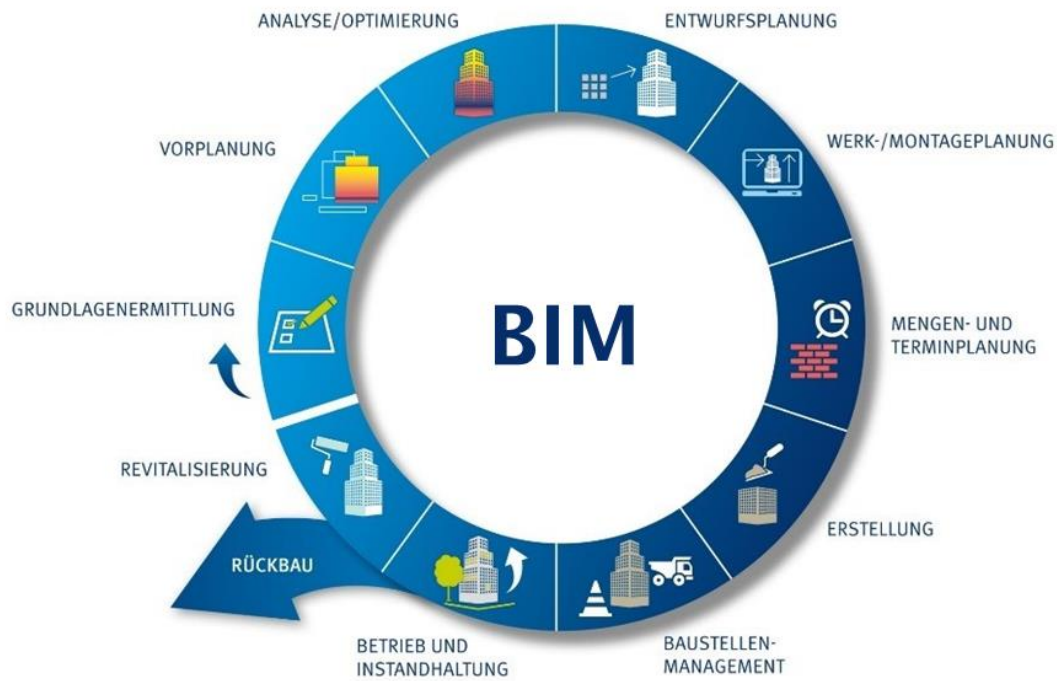


Abbildung 5: Lebenszyklus-orientierte Bauwerksbetrachtung durch Building Information Modeling (Bender et al. 2018, S. 297)

3.1.2 Ziele und Nutzen von BIM

Die wesentlichen Ziele und Nutzen von BIM werden in allgemeiner Form kurz erwähnt:

- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Senkung der Lebenszykluskosten durch besseres Controlling, Simulationen und spezifische Datenprüfungen
- Erhöhen der Effizienz in Prozessen durch die Vermeidung von Informationsabbrüchen bei der Datenweitergabe und die Bündelung von Arbeitsabläufen im Gebäudezyklus
- Erhöhung der Qualitäts- und Planungssicherheit durch verbesserte Koordination der Inhalte, der Übersicht über Mengen und Massen sowie automatisierte Überprüfung der Konsistenz der Planungsdaten
- Ermöglichen von Analysen, Auswertungen und Simulationen, z.B. von Betriebskosten und Energieverbrauch durch die Bereitstellung genauerer und detaillierterer Informationen zum Gebäude
- Unterstützung der Planung durch eine verbesserte modellbasierte Kommunikation (BCF = BIM-Collaboration-Format) und durch Visualisierungen
- Effektivere Kommunikation, schnellere Fehlererkennung und leichtere Orientierung durch Verwendung dreidimensionaler Darstellungen
- Planungsunterstützung hinsichtlich Funktion und Nutzen des Bauwerks durch Überprüfung spezifischer Nutzungsaspekte und betrieblicher Richtlinien des Bauwerks
- Berücksichtigung der Sozial- und Umweltaspekte durch Kontrolle der Daten z.B. hinsichtlich Richtlinien zu Nachhaltigkeit und Barrierefreiheit
- Unterstützung in der Ausschreibungs- und Bauphase z.B. durch modellbasierte Leistungsverzeichnisse und Bauablaufsimulationen

(vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 8 & Bender et al. 2018, S. 296f.)

Bei der Arbeit mit BIM werden die Planungsinformationen modellbasiert, d.h. strukturiert (vorgegeben durch IFC), generisch und maschinenlesbar in einer Datenbank gehalten. Der Vorteil liegt darin, dass diese Informationen von Rechnern interpretierbar für alle Beteiligten gleichermaßen vorliegen (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 34).

Wie die Informationen verwendet werden bzw. inwiefern BIM zur Anwendung kommt, wird in den nächsten Kapiteln erläutert, wobei die Bau- und die Bewirtschaftungsphase im Fokus stehen.

3.2 Anwendung von BIM in der Bauphase

Bei der Arbeit mit der BIM-Methode werden die Planungsergebnisse nicht wie bisher als gezeichnete Pläne dokumentiert, sondern modellbasiert in Form von virtuellen Gebäudemodellen festgehalten. Diese Modelle werden als Fachinformationsmodelle bezeichnet und enthalten nur Informationen der jeweiligen fachspezifischen Disziplin. Sie können miteinander referenziert und überlagert werden, so dass ein gesamthaftes Koordinationsmodell entsteht (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 9).

Das aus allen Fachinformationsmodellen zusammengesetzte Koordinationsmodell dient der Koordination und Abstimmung unter den Fachplanern. Ein BIM-Koordinator überprüft kontinuierlich, ob die erforderlichen Informationen aus den Fachmodellen vorhanden sind, ob sie in der Logik der Datenstruktur und Bezeichnungen konsistent sind und ob es keine Konflikte unter den Fachinformationsmodellen gibt. Erst nach dieser Überprüfung und der Freigabe des Koordinationsmodells können die Beteiligten Informationen und Daten für weitere Planungsschritte, Datenauszüge oder Simulationen verwenden (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 10).

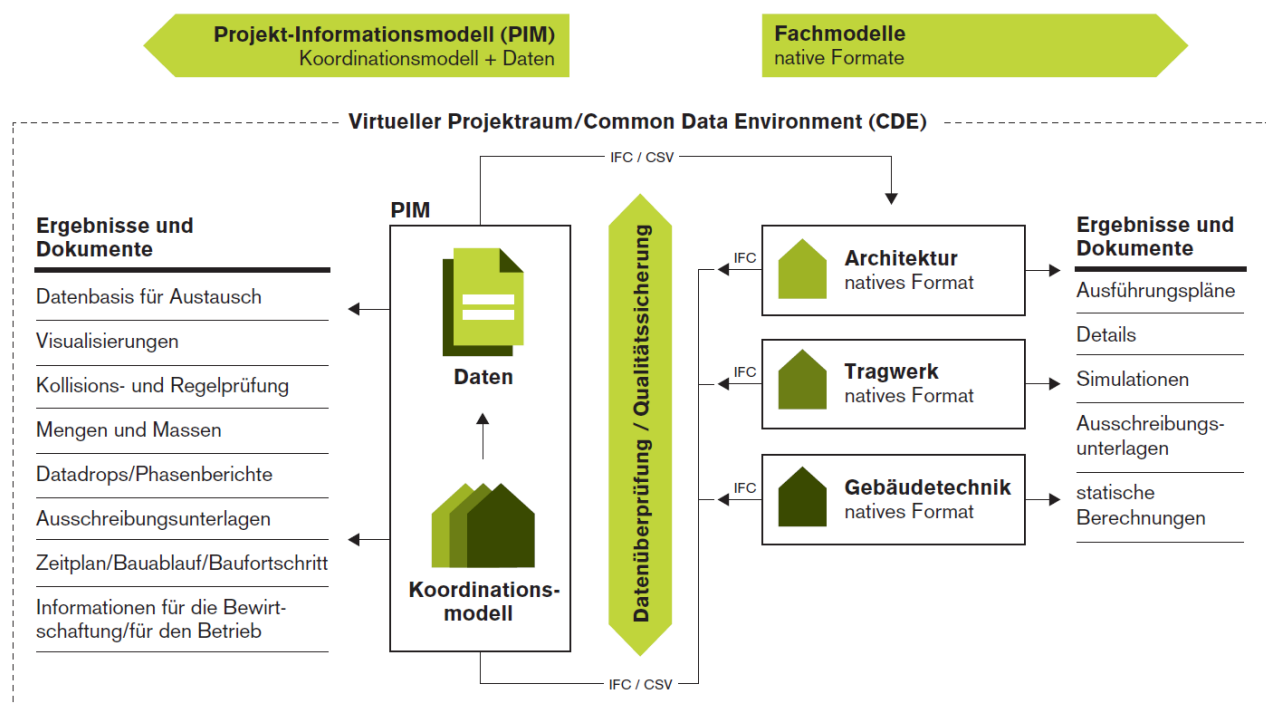


Abbildung 6: Übersicht der Modelle bei der Anwendung von BIM in der Bauphase (Bauen digital Schweiz 2018b, S. 10)

3.2.1 Projekt-Informationsmodell (PIM)

Die einzelnen Modelle des Koordinationsmodells – die Fachmodelle – bieten die Möglichkeit zur Anreicherung und Zuordnung weiterer Daten und Informationen. Im daraus entstehenden Projekt-Informationsmodell (PIM) können weitere Spezialisten ohne eigene Fachmodelle objektspezifische Informationen ergänzen und diese somit den übrigen Fachplanern zur Verfügung stellen - z.B. Bauherrschaft, Türplaner, Brandschutzplaner, Bauphysiker (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 10). In vielen Fällen wird das PIM demnach als «digitales Raummodell» verstanden. Es ist die zentrale Drehscheibe des Datenmanagements. Darin fließen alle alphanumerischen Informationen der

unterschiedlichen Disziplinen zusammen – vom Raumprogramm über Ausstattungselemente bis hin zum Facility Management (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b, S. 35).

Gemäss Bauen digital Schweiz (2018b, S. 34) eignet sich das PIM vor allem als Quelle für Informationen zur Projektsteuerung und Dokumentation. Dabei dient es als Grundlage für:

- Qualitätssicherung
- Terminplanung/Bauablauf und Bauprozess
- allgemeine Ausschreibungsunterlagen
- Bewirtschaftungs- und Betriebsinformationen
- Dokumentation
- Genehmigungen
- Archivierung und rechtliche Dokumentation.

Durch Anwendung der BIM-Methode entsteht in der Design- und Bauphase einer Immobilie eine strukturierte, vollständige und belastbare Datenbasis. Nach Abschluss eines Bauprojekts können die Daten aus dem Projekt-Informationsmodell für die nachhaltige Bewirtschaftung in den Gebäudebetrieb bzw. in das Facility Management überführt und aktualisiert werden (vgl. Bauen digital Schweiz 2018b S. 10). «Erst durch die Übernahme bzw. Integration der Datenbasis in das Facility Management kann das Potenzial von BIM vollständig ausgeschöpft werden.» (Bender et al. 2018, S. 300).

3.3 Anwendung von BIM in der Betriebsphase (BIM@FM)

Da die Nutzungsphase von Immobilien die Planungs- und Realisierungsphase um ein Mehrfaches überdauert, liegt konsequenterweise auch der langfristige Mehrwert der digitalen Bauwerksmodelle und der dazugehörigen Informationsdatenbanken in dieser Phase (vgl. IFMA Schweiz 2017, S. 5). So können gem. mehreren Quellen zwischen 5 und 7.5 Prozent der jährlichen Bewirtschaftungskosten, die 85 Prozent der Lebenszykluskosten von Gebäuden ausmachen, durch den Einsatz von BIM gesenkt werden (vgl. Suppiger 2020, Breunig 2019a, Bildir 2019). Bereits umgesetzte Beispiele konnten zum aktuellen Zeitpunkt jedoch keine ausfindig gemacht werden.

Doch gerade beim Übergang von der Bauphase zur Bewirtschaftung tritt der höchste Informationsverlust auf. Durch die Anwendung der BIM-Methode liegen die digitalen Modelle der Immobilie zentral gebündelt vor und ermöglichen dem Facility Management, relevante Gebäudeinformationen nahtlos zu übernehmen und zu nutzen (vgl. Bender et al. 2018, S. 301).

3.3.1 Liegenschafts-Informationsmodell (LIM)

Die Daten und Informationen des im vorherigen Kapitel erläuterten Projekt-Informationsmodell (PIM), das in der Bauphase der Immobilie angewendet wird, gehen über in das Liegenschafts-Informationsmodell (LIM) – auch Asset-Informationsmodell (AIM) genannt (vgl. Bender et al. 2018, S. 306).

Ohne ein Liegenschafts-Informationsmodell sind die Gebäudeinformationen respektive Dokumente physisch an verschiedenen Orten im Gebäude verteilt, liegen in verschiedenen Formaten vor oder sind unvollständig sowie unstrukturiert. LIM bündelt diese Angaben digital und ermöglicht einen ortsunabhängigen Zugriff darauf (vgl. Breunig 2019a).

Der Berufsverband IFMA (International Facility Management Association) nennt folgende primäre Ziele eines LIM:

- Optimierung der Kosten durch Aufwandsreduktion
- Qualitätssteigerung durch As-Built-Daten
- Generieren eines Mehrwerts durch die Integration des Modells in die Betreibersoftware (CAFM-Software oder andere Tools)

(vgl. IFMA Schweiz o.J.)

Punkt drei wird im Folgenden erläutert:

CAFM-Systeme sind Software-Programme, die die spezifischen Prozesse des Facility Managements und die darin direkt oder indirekt (z.B. als Informationsnachfrager) beteiligten Personen unterstützen (vgl.

Marchionini et al. 2018, S. 8). Ein CAFM-System greift in der Betriebsphase über Schnittstellen auf die Daten des Liegenschafts-Informationsmodell (in der Abbildung 7 AIM genannt) zu und nutzt diese für die unterschiedlichen FM-Prozesse (z. B. Instandhaltung, Flächenmanagement). Die Daten des LIM werden fortgeschrieben und um weitere Informationen angereichert (vgl. Bender et al. 2018, S. 306).

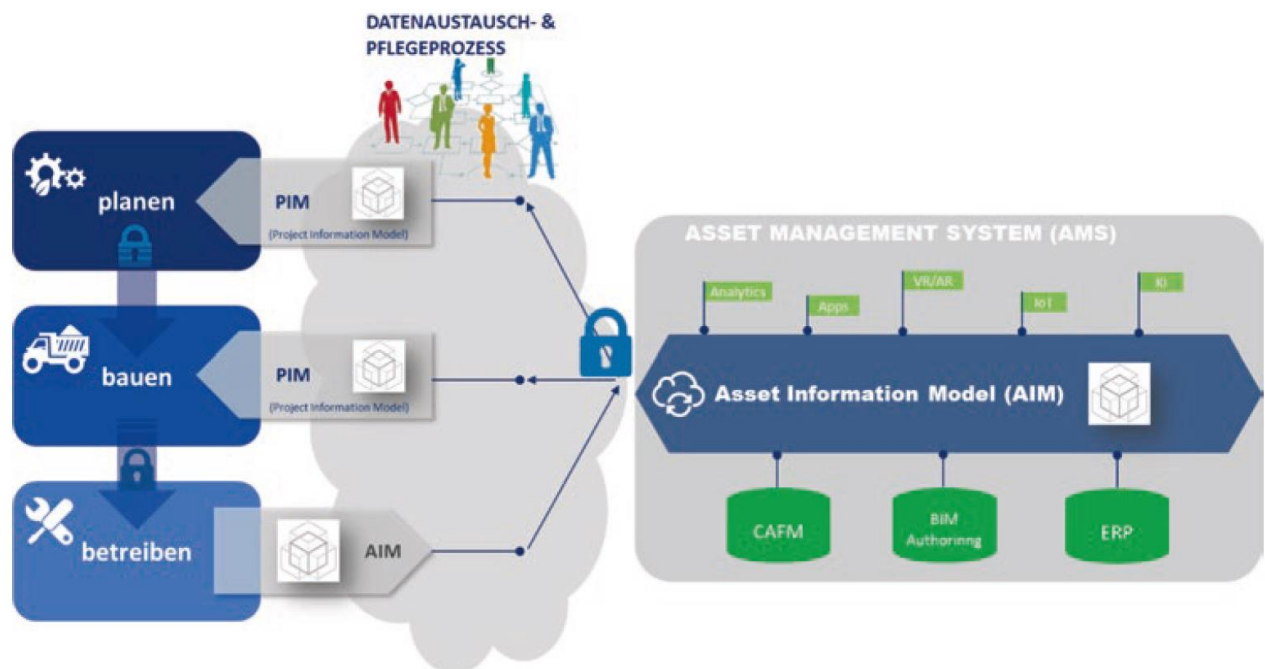


Abbildung 7: Allgemeine Datenumgebung (CDE) (Bender et al. 2018, S. 305)

3.3.2 Nutzen von BIM im Facility Management

Die Informationsweitergabe vom Projekt-Informationsmodell (PIM) ins Liegenschafts-Informationsmodell (LIM) ermöglicht zusammenfassend eine Inbetriebnahme mit höherer Qualität sowie geringerem Aufwand und gewährleistet einen entsprechenden Gebäudebetrieb. Dadurch können in erheblichem Masse Zeit und Geld eingespart werden (vgl. Bender et al. 2018, S. 301).

Das Zurückgreifen auf geeignete Gebäude- und Anlagedaten im CAFM-System (Gebäude-Monitoring) erlaubt es dem Facility Management voraussichtliche Energie-, Wartungs-, Reinigungs- und Flächenkosten abzuschätzen und mehrjährige Prognosen für FM-Prozesse zu entwickeln. Dadurch lassen sich z.B. Instandhaltungsarbeiten schneller und zuverlässiger planen (vgl. Bender et al. 2018, S. 301f.). Bei der Durchführung von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten kann das Fachpersonal z.B. durch grafisch unterstützte Indoor-Navigation mittels Augmented Reality (AR) unterstützt werden. Dadurch werden wiederum aufwändige Suchzeiten minimiert und schliesslich Kosten reduziert (vgl. Bender et al. 2018, S. 302f.).

Werden Immobilien zukünftig noch stärker technisiert, so sind Sensoren und Aktoren im Rahmen von IoT (Internet of Things) wichtige Bestandteile für vielfältige FM-Prozesse im Sinne einer ganzheitlichen Lösung; BIM liefert dabei verlässliche Basisdaten (vgl. Bender et al. 2018, S. 303). Die Möglichkeiten, die sich durch IoT im Facility Management ergeben, werden in Kapitel 5 näher beleuchtet.

Zu Beginn einer neuen Investitions- bzw. Projektphase können die Erkenntnisse aus der Bewirtschaftungsphase in Form eines ausgelagerten Projekt-Informationsmodells wieder verfügbar gemacht werden. So schliesst sich der Regelkreis der Informationsbereitstellung und -aktualisierung im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung (vgl. Abbildung 8) (vgl. Bender et al. 2018, S. 306).

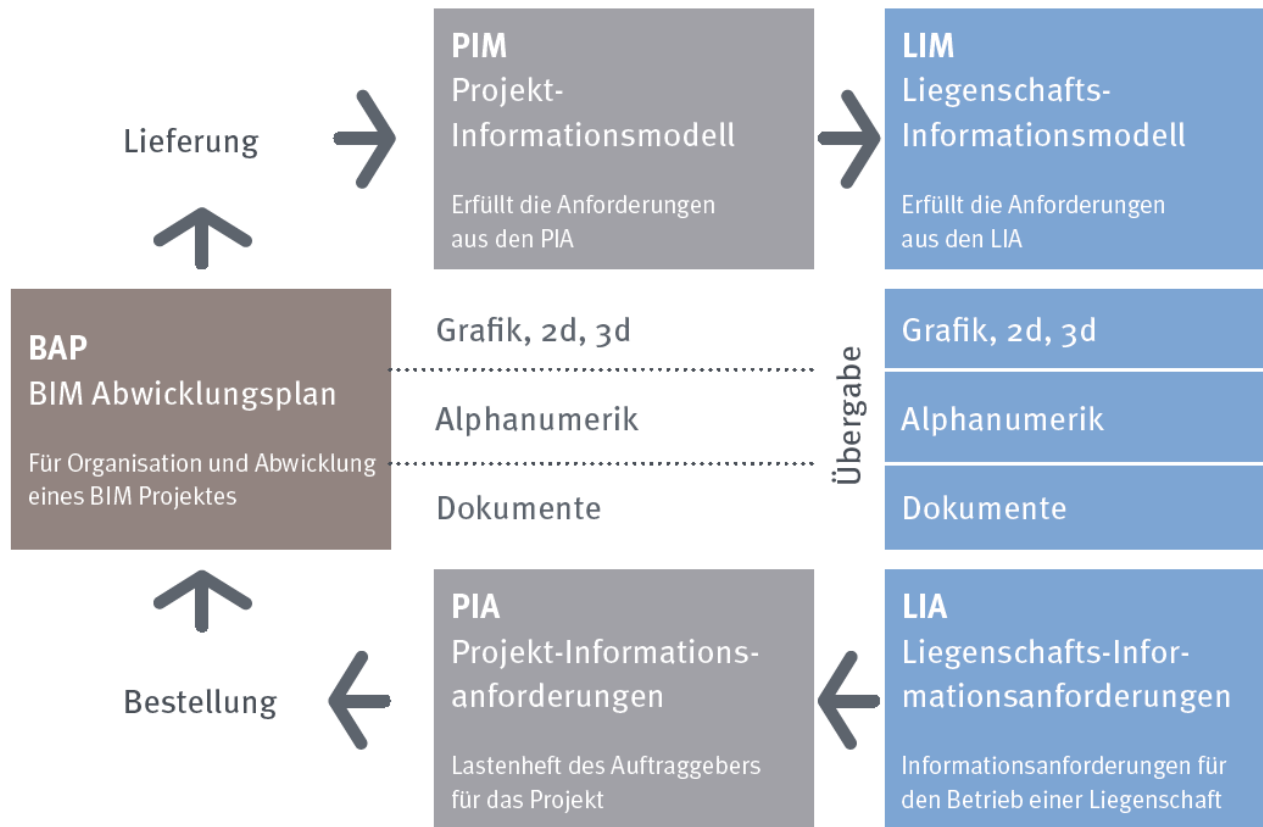


Abbildung 8: BIM Abwicklungsmodell in Anlehnung an Bauen digital Schweiz (IFMA Schweiz 2017, S. 5)

Die Abbildung 8 verdeutlicht, dass Neubauten bereits von Grund auf mit BIM planbar sind. Um einen Mehrwert für das Facility Management während dem Gebäudebetrieb zu generieren, müssen dessen Anforderungen bereits zu Projektbeginn berücksichtigt und als fester Bestandteil im Projekt implementiert werden (vgl. Bender et al. 2018, S. 311).

Die Praxis zeigt jedoch, dass derzeit für die meisten Bestandsgebäude, die gem. Bender et al. (2018, S. 316) weit über 90 Prozent der zu bewirtschaftenden Immobilien ausmachen, keine BIM-Modelle existieren. Im folgenden Abschnitt wird darauf eingegangen, wie BIM für Bestandsgebäude genutzt werden kann.

3.3.3 Digitale Erfassungsmethoden für Bestandsgebäude

Während Neubauten bereits mit BIM geplant und die erfassten Daten bzw. Modelle in die Betriebsphase übergeben werden können, müssen bestehende Gebäude nachträglich in diese Methode überführt werden.

Gem. Bender et al. (2018, S. 317) gibt es zur Erstellung eines BIM-Modells von Bestandsgebäuden grundsätzlich zwei Vorgehensweisen:

- Die manuelle Modellerstellung aufgrund der vorhandenen Gebäudedokumentation, die häufig in Form von 2D-CAD-Plänen sowie der alphanumerischen Dokumentation in Form von Listen (z. T. Excel-Dateien) oder bestehenden CAFM-Datenbanken vorliegt
- Die Erfassung von Bestandsgebäuden mithilfe digitaler Erfassungsmethoden und deren (teil-) automatische Weiterverarbeitung zu einem BIM-Modell.

Als digitale Erfassungsmethoden stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die derzeit gängigsten Methoden sind 3D-Laserscanner, Image-Scanner, Totalstationen, Multistationen, Laser-Distanzmesser, und auch Drohnenvermessung als Ergänzung im Aussenbereich (vgl. Breunig 2019b & Bender et al. 2018, S. 317). Anhand der digitalen Erfassungsmethoden entsteht eine 3D-Punktwolke. Diese wird in einem nächsten Schritt in parametrische Bauteilobjekte für das digitale BIM-Modell transformiert, was Field2BIM genannt wird. Zu beachten ist, dass Objekte hinter abgehängten Decken oder innerhalb von Wänden von einem 3D-Laserscanner nicht erfasst werden können, weil diese für ihn nicht «sichtbar»

sind. Zwar gibt es bereits erstaunliche Ansätze zur Automatisierung der Modellierung, gleichwohl muss ein manueller Aufwand zur Modellierung betrieben werden. (vgl. Bender et al. 2018, S. 318f.).

Interessant für das Facility Management ist der Anwendungsfall von Scan2CAFM. Dieser hat die direkte Nutzung der Punktwolkeninformation für die Befüllung des CAFM-Systems ohne den Umweg der Modellierung zum Gegenstand – z.B. können gezielt Raummasse und -flächen verhältnismässig einfach ermittelt und die Punktwolke mit Zusatzinformationen angereichert werden (vgl. Bender et al. 2018, S. 319).

3.4 Auswirkungen einer digitalen Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten

Die konventionellen Arbeitsweisen mit Daten und Informationen weichen zunehmend kollaborativen, modellbasierten, integrierten und automatisierten Abläufen – BIM. Immer mehr Neubauprojekte werden nach der BIM-Methode realisiert, wobei in den meisten Fälle allerdings die Planungs- und die Bauphase im Fokus liegen und der daran anschliessende Gebäudebetrieb nicht oder zumindest noch nicht hinreichend berücksichtigt wird (vgl. Bender et al. 2018, S. 311 & IFMA Schweiz 2017, S. 4).

Doch gerade durch die Übernahme bzw. Integration der Datenbasis aus der Bau- in die Bewirtschaftungsphase und die dortige Datennutzung, kann das Potenzial von BIM erst vollständig ausgeschöpft werden – Qualitätssteigerung bei gleichzeitiger Aufwand- und Kostenreduktion (vgl. Bender et al. 2018, S. 300 & IFMA Schweiz o.J.). Technologisch steht der Umsetzung und Nutzung von BIM während des Gebäudebetriebs bzw. im CAFM-Kontext nichts im Wege (vgl. Bender et al. 2018, S. 303, S. 311 & IFMA Schweiz 2017, S. 4). Der Berufsverband IFMA ist daher überzeugt, dass sich BIM konsequenterweise auch in der Bewirtschaftungsphase von Immobilien etablieren und damit das Facility Management in seinem Wirken neu prägen wird (vgl. IFMA Schweiz 2017, S. 4). «Während heute CAFM-Systeme objektorientierte, alphanumerische Daten und 2D-Visualisierungen nutzen, könnten morgen BIM mit 3D/nD-Visualisierungen sowie Augmented Reality (AR) über den gesamten Lebenszyklus von Immobilien eingesetzt werden.» (IFMA Schweiz 2017, S. 4).

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage «Welche Auswirkungen hat eine durchgängige digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen?» ist zu erwähnen, dass die digitale Planung rein für die Bauphase allein einen geringen Nutzen bringt. Das volle Potenzial entsteht erst durch die Übergabe der Daten bzw. der digitalen Modelle von der Bau- in die Bewirtschaftungsphase und durch die dortige Nutzung durch das Facility Management sowie der anschliessenden Rückkopplung der gewachsenen Datenbasis in die Planung neuer Gebäude.

Wichtige Bestandteile einer ganzheitlichen Lösung und von vielfältigen Facility-Management-Prozessen bilden IoT-gebundene Sensoren und Aktoren. Intelligente Gebäude, sogenannte «Smart Buildings», werden sich mit dem IoT vernetzen und dadurch die Prozesse im Lebenszyklus von Immobilien automatisieren. Daten aus BIM dienen dabei als Basis (vgl. Bender et al. 2018, S. 303 & IFMA Schweiz 2017, S. 4).

Diese Nutzenerwartung kann durch die 4. Digital Real Estate Umfrage 2019 von pom+Consulting bekräftigt werden. Demnach sehen Facility Manager die grössten Nutzenerwartungen in den beiden Technologien «Sensoren & Aktoren» und «BIM», wobei erstere repräsentativ für IoT angesehen werden kann. Auch die verantwortlichen Personen von Verwaltungen und Bewirtschaftung sehen einen grossen Nutzen in den Daten. So liegen die Technologien «Data Science» und «BIM» auf Rang zwei und drei. Die Basisdaten für Data Science können neben den BIM-Modellen wiederum durch Sensoren gewonnen werden (vgl. Baldegger et al. 2019, S. 20).

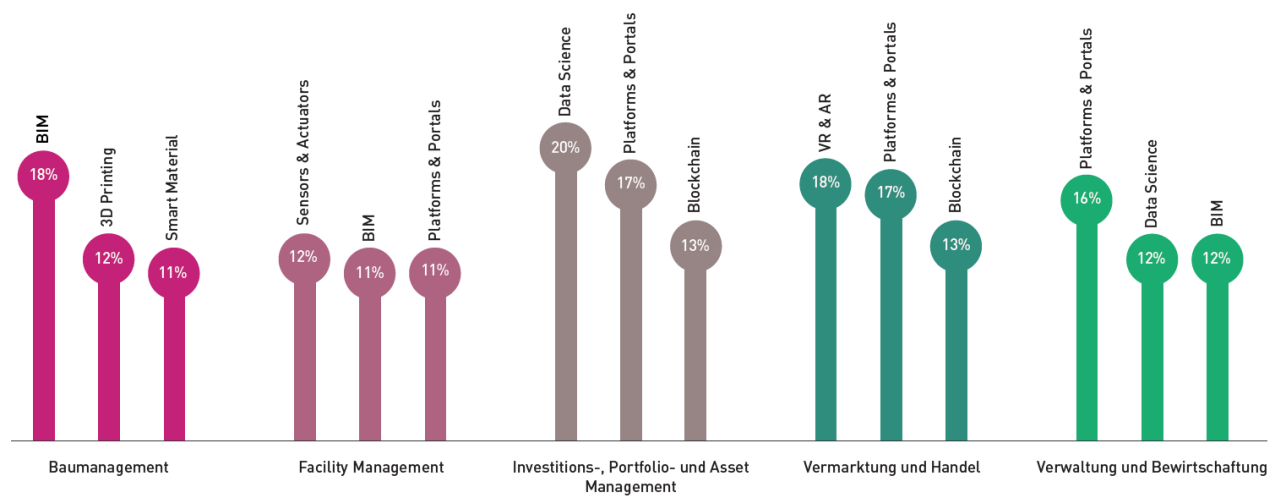


Abbildung 9: Technologien mit den höchsten Nutzenerwartungen pro Prozessgruppe (Baldegger et al. 2019, S. 20)

4 Internet of Things (IoT) im Kontext von Gebäuden

Wie Kapitel 4 erwähnt, bilden IoT-Lösungen eine wichtige Rolle im Lebenszyklus einer Immobilie, insbesondere während der Bewirtschaftungsphase. In diesem Kapitel wird daher das Thema Internet of Things (IoT) aus der Perspektive des Facility Managements näher beleuchtet.

4.1 Definition Internet of Things (IoT)

Das Internet of Things (IoT) ist ein Ökosystem, das Dinge, Kommunikation, Anwendungen und Datenanalyse umfasst. Die Dinge verstehen sich dabei als physische Objekte (Intelligente Geräte, Infrastruktur und Aktoren), die eingebettete Technologie enthalten (Sensoren), um zu kommunizieren, Daten zu erfassen und mit ihren internen Zuständen oder der externen Umgebung zu interagieren (vgl. Jaspers et al., S. 338 & Hryzhnevich 2018).

«Das Internet der Dinge (IoT) ist also ein System von miteinander verbundenen Computern, mechanischen und digitalen Maschinen, Objekten, Tieren oder Personen, die mit eindeutigen Kennungen versehen sind und Daten über ein Netzwerk übertragen können, ohne dass eine Mensch-zu-Mensch- oder Mensch-zu-Computer-Interaktion notwendig ist.» (Jaspers et al., S. 338).

Unter Bezugnahme einer IoT-Architektur (vgl. Abbildung 10) werden im Folgenden drei Bereiche von IoT-Lösungen näher behandelt: die Datenerfassung und -übertragung, die Datenspeicherung und -verarbeitung, sowie mögliche Anwendungsfälle während der Bewirtschaftungsphase einer Immobilie.

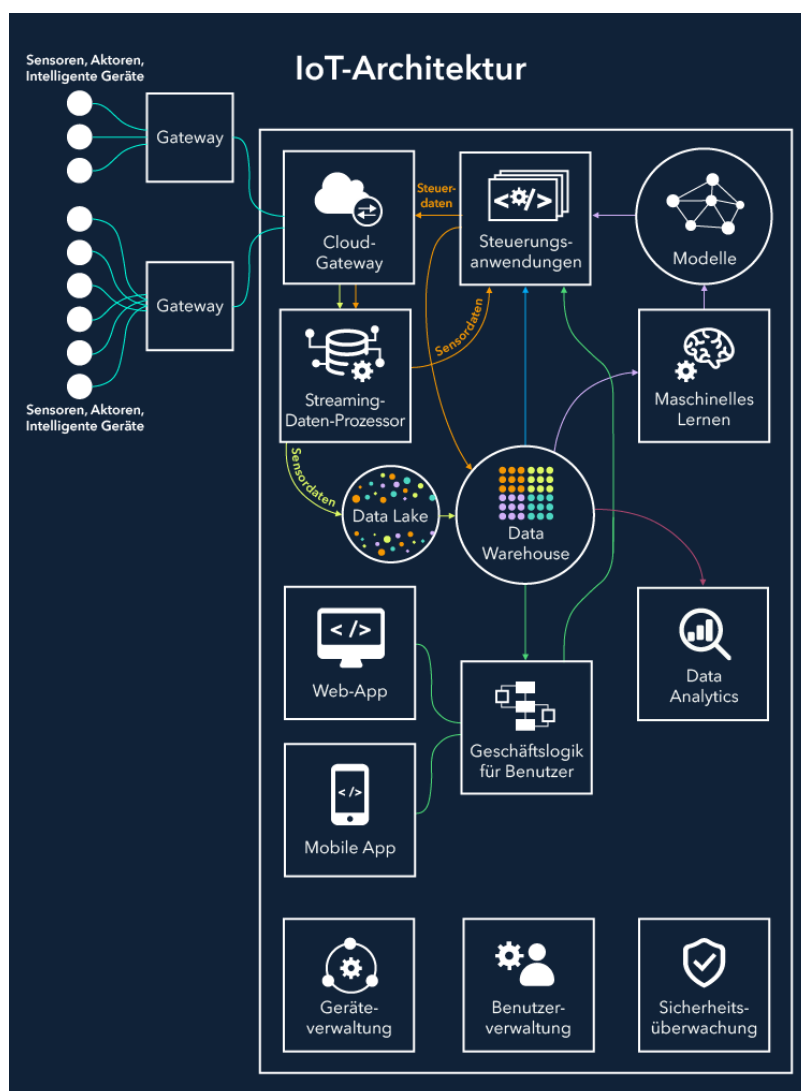


Abbildung 10: Grundelemente der IoT-Architektur (Hryzhnevich 2018)

4.2 Datenerfassung und -übertragung

Ist die Rede von IoT-Geräten, werden damit in den meisten Fällen Sensoren gemeint. Sensoren haben die Aufgabe Werte zu messen bzw. Zustände zu ermitteln und bilden den grössten Teil von IoT-Netzwerken.

4.2.1 Sensoren

Ein Sensor (auch als Detektor, Aufnehmer oder Fühler bezeichnet) wandelt nichtelektrische Parameter in elektrisch auswertbare Informationen um. Dazu erfasst er chemische oder physikalische Eigenschaften seiner Umgebung und übersetzt die aufgenommenen Informationen in elektrische Signale, die sich anschließend von einer Steuerung oder einer Regelung interpretieren lassen (vgl. Bosch o.J. & Wikipedia 2019).

Der rasante technologische Fortschritt hat die Entwicklung zahlreicher Varianten von intelligenten Sensoren erleichtert. Die Vielzahl an Sensoren werden nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert. Die gängigsten Klassifizierungen sind nach dem Messprinzip (mechanisch, thermoelektrisch, resistiv, piezoelektrisch, kapazitiv, induktiv, optisch, akustisch oder magnetisch), nach deren Messgrössen (z.B. Beschleunigung, Durchfluss, Feuchtigkeit, Gewicht, Höhe, Kraft, Lage, Schall, Temperatur) und nach deren Verwendungszweck.

Im Kontext von Smart Buildings kann auf oberster Ebene der Verwendungszwecke nach Umweltsensoren, die in alltäglichen Gegenständen und Infrastruktur integriert sind und nach Sensoren, die von den Benutzern getragen werden, differenziert werden. Gesammelte Daten von Umweltsensoren können wichtige kontextabhängige Informationen und Einblicke in Zusammenhänge liefern. Unter tragbare Sensoren fallen zum einen Trägheitssensoren, die direkt oder indirekt am Benutzer angebracht werden und präzise detaillierte Merkmale der Aktion und Körperhaltung liefern, und zum anderen Biosensoren, die z.B. Blutdruck, Hauttemperatur und Herzfrequenz messen und für die Erfassung von Lebenszeichen zur Überwachung der Gesundheit von Bedeutung sind (vgl. Qolomany et al. 2019, S. 6f.). Die Autoren der Studie Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings geben mit folgender Auflistung eine nicht abschliessende Übersicht möglicher Verwendungszwecke diverser Sensoren in einem intelligenten Gebäude.

Tabelle 2: Verschiedene smarte Sensoren für den Einsatz im Kontext von Smart Buildings (Qolomany et al. 2019, S. 8)

Sensor	Measurement	Category
Infrared sensor	User presence in a room	Environmental sensors
Video cameras	Human actions	Environmental sensors
RFID	Object identification	Environmental sensors
Motion sensor	Object/User presence/ location	Environmental sensors
Contact switch	Detect users' interaction with the object	Environmental sensors
Pressure sensor	Tracking movements and location of the user	Environmental sensors
Light sensor	Intensity of light	Environmental sensors
Temperature sensor	Temperature of surrounding environment	Environmental sensors
Humidity sensor	Detect the air humidity in a specific area	Environmental sensors
Power sensor	Detect the usage of electric devices	Environmental sensors
Accelerometer	The rate of acceleration accompanying a sensitive axis	Wearable inertial sensors
Gyroscope	Angular velocity and maintain orientation	Wearable inertial sensors
Electroencephalography	observing electrical brain activity	Wearable vital sign sensors
Electrooculography	observing eye movement of ocular activity	Wearable vital sign sensors
Electromyography	observing muscle activity	Wearable vital sign sensors
Electrocardiography	observing cardiac activity, pressure sensors for observing blood pressure	Wearable vital sign sensors
CO2 gas sensors	observing respiration	Wearable vital sign sensors
Thermal sensors	observing body temperature	Wearable vital sign sensors
galvanic skin response	observing skin sweating	Wearable vital sign sensors

Die von den Sensoren erfassten Daten sollen wie eine Ware innerhalb von Organisationen gehandelt und in unterschiedlichen Kontexten verwendet werden können. Hierzu werden die IoT-Daten zunächst an eine zentrale Stelle übertragen, wo anschliessend eine Verarbeitung erfolgt. Die Datenübertragung erfolgt heute vorwiegend per Funktechnologien.

4.2.2 Funktechnologien

Je nach Anwendungsfall kommen andere Techniken zur Anwendung. Eine Klassifizierung der üblichen Funksysteme liefert folgende Tabellen.

Tabelle 3: Klassifizierung von Funksystemen (Jaspers et al. 2018, S. 351)

Technologie/ Beispiele	Reichweite	Einsatzgebiet	Vor-/Nachteile
WLAN, Bluetooth	Bis ca. 100 m	Innerhalb von Gebäuden, z. T. gebäudeübergreifend	Etablierte Standards, Infrastruktur meist schon vorhanden, hoher Datendurchsatz möglich
ZigBee, Z-Wave, EnOcean	Bis ca. 100 m, Erhöhung durch vermaschte Netze möglich	Innerhalb von Gebäuden	Speziell für Automatisierung eingesetzte Techniken mit speziellen Funktionen, erfordert spezielle Gateways bzw. Zentralen
LoRa, Sigfox, NB-IoT	Bis zu mehreren Kilometern	Außerhalb von Gebäuden	Nutzung von globalen Netzwerken, teilweise über Service Provider, Überbrückung großer Strecken kostengünstig, geringe Datenmengen

Im Handbuch CAFM werden für die Verbindung von IoT-Geräten in Gebäuden besonders LPWAN-Technologien (Low Power WAN) erwähnt, die Implementierungen wie LoRaWAN (Long Wide Area Network), Sigfox und NB-IoT (NarrowBand-IoT) umfassen. Diese relativ neuen Technologien sind deshalb interessant, weil die Signale eine hohe Eindringtiefe aufweisen, d.h. durch Wände und Decken dringen. Dadurch lassen sich viele Geräte in einem Gebäude mit nur einem Gateway verbinden, was wiederum die Komplexität verringert (vgl. Jaspers et al. 2018, S. 350).

4.2.3 Gateways

Ein Gateway ermöglicht die Datenvorverarbeitung und -filterung bevor die erfassten Daten verschoben werden. Dadurch kann die Datenmenge für eine detaillierte Verarbeitung und Speicherung reduziert werden. Im Gegenzug überträgt ein Gateway auch Steuerbefehle an die Aktoren. Ein Gateway stellt somit die Konnektivität zwischen den Dingen und der Datenplattform einer IoT-Lösung bereit (vgl. Hryzhnevich 2018).

4.3 Datenspeicherung und -verarbeitung

Die von Sensoren erfassten Daten, die über ein Gateway gebündelt werden, fließen anschliessend in eine Datenplattform. Diese Plattformen werden in den meisten Fällen als Cloud-Dienste angeboten, können aber auch in «Vor-Ort-Umgebungen» betrieben werden. Ausgehend vom Cloud-Ansatz haben sich inzwischen zahlreiche IoT-Plattformen entwickelt, die ein sofortiges Starten mit IoT-Technik und -Geräten ermöglichen.

IoT-Plattformen stellen Dienste bereit, u.a. zur:

- sicheren Verbindung von Sensoren und IoT-Geräten,
- Verarbeitung der eingehenden Daten,
- Speicherung der Werte in performanten Datenbanken,
- Weiterverarbeitung der Daten
- Analyse und Auswertung der Daten.

Weitere Dienste wie Micro-Betriebssysteme für die Sensoren oder KI-Funktionen (künstliche Intelligenz) und maschinelles Lernen für die Verarbeitung der Daten können ein IoT-Szenario abrunden (vgl. Jaspers et al. 2018, S. 360).

Die Dienste Datenspeicherung und Datenverarbeitung bzw. Datenanalyse einer IoT-Plattform werden im Folgenden näher beleuchtet.

4.3.1 Data Lake & Big Data Warehouse

Ein Data Lake (deutsch «Datensee») dient zum Speichern aller, von Sensoren erfassten Daten, zusätzlichen Kontextinformationen der IoT-Geräte sowie von Befehlen, die die Aktoren erhalten. Die Daten liegen im Data Lake unstrukturiert und in ihrem ursprünglichen Format vor. Da die Sensoren in den IoT-Geräten eine grosse Datenmenge in kurzer Zeit erzeugen, stellt dies spezielle Anforderungen an Datenbanken – besonders in Bezug auf die Performance für spätere Auswertungen und Abfragen. Aus diesem Grund werden speziell dafür optimierte, hoch performante analytische oder NoSQL Datenbanken eingesetzt. Ein Beispiel ist die NoSQL-Datenbank «DynamoDB» von Amazon (vgl. Jaspers et al. 2018, S. 358).

Mit NoSQL (not only SQL)-Systemen sind das Speichern nicht strukturierter Daten und vielseitige Lösungsansätze für Big Data möglich - so beispielsweise schnelle Anfragen für analytische Anwendungen. Ein Problem von NoSQL ist allerdings der Mangel an Abfragesprachen, so dass sich der volle Funktionsumfang der meisten BI-Anwendungen (Business Intelligence-Anwendungen) nicht nutzen lässt. Eine Lösung besteht hier in der Transformation der Daten vom Data Lake in ein Big Data Warehouse, wo diese anschliessend bereinigt und strukturiert vorliegen und somit umfassende Analysen und Reportings möglich sind (vgl. Hryzhnevich 2018 & Müller 2014).

4.3.2 Data Analytics

Durch IoT-Lösungen können einzelne Gebäude heute in einer Stunde mehr Daten liefern, als noch vor wenigen Jahren der gesamte Immobilienbestand über mehrere Monate.

Die Masse an kontinuierlich gesammelten Daten (Big Data) bietet dem Facility Management die Möglichkeit, in der Vergangenheit gezeigten Verhaltensweisen und Eigenschaften von Menschen und Dingen zu analysieren und zu verstehen. Daten werden in Bezug auf die Zeit für unterschiedliche Zwecke analysiert:

- Für Echtzeitanalysen: Die Analyse von Daten zur Verwendung im Kontext aktueller (real time) Prozesse wie z.B. die Anzeige der Raumbelegung,
- für Monitoring: Die Analyse von Daten, die die Qualität von Prozessen bei deren Ausführung beschreiben. Beispielsweise KPI für die Nachverfolgung von Workflows wie Reaktionszeit oder Fehlerintervall,
- für Optimierungen: Die Analyse von Daten mit dem Ziel, Möglichkeiten für strukturelle Verbesserungen zu identifizieren.

Bei der Analyse der Optimierungsmöglichkeiten werden die Daten normalerweise über längere Zeiträume (Jahre) verwendet. Gängige Bezeichnungen für diese Datenverarbeitungsarten sind präskriptive und prädiktive Analytik, Business Intelligence und Berichterstattung (Reporting) (vgl. Koch 2018, S. 277 & Hofmann et al. 2018, S. 382ff.).

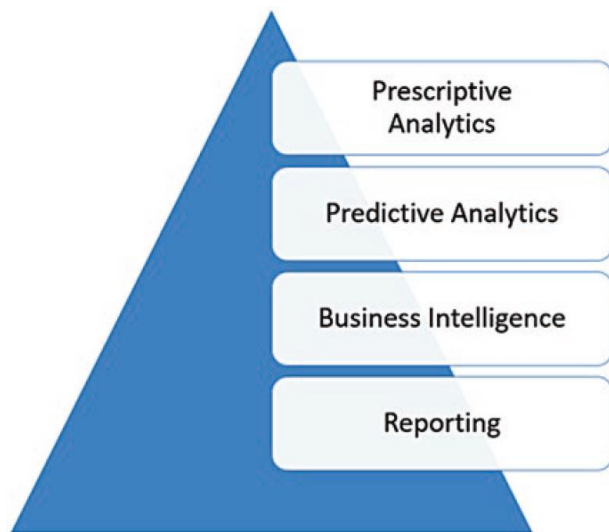


Abbildung 11: Arten der Datenanalyse (Hofmann et al. 2018, S. 385)

Wenn man geeignete Bewertungsmodelle auf die grossen Datenmengen anwendet, spricht man von prädiktiver Analytik. Das Ziel besteht darin, Muster aus Daten zu ermitteln, mit denen zukünftige Ereignisse vorhergesagt werden können, und zwar basierend auf den aktuellsten verfügbaren Daten. Dies erlaubt eine proaktive Herangehensweise an die Lösung von Problemen bzw. das Vorbeugen von Problemen und Fehlern (vgl. Hofmann et al. 2018, S.382f., S. 386f.). Einen Schritt weiter geht die präskriptive Analytik, die darauf abzielt, Ereignisse nicht nur vorherzusagen, sondern auch die Art und Weise der Reaktion darauf zu ermitteln.

Die präskriptive, wie auch die prädiktive Analytik sind relativ neue Phänomene im Immobilien- und Facility Management. Besonders die präskriptive Analytik befindet sich in dieser Branche noch in einem frühen und konzeptionellen Stadium. Dass dieses Thema, auch «Data Science» genannt, einen hohen Stellenwert hat, zeigt die Digital Real Estate Umfrage 2019 Schweiz, S.20 (vgl. Hofmann et al. 2018, S. 386f. & Baldegger et al. 2019, S. 20).

Die grossen Datenmengen, die kontinuierlich erfasst werden, lassen sich nicht mehr manuell überschauen und analysieren. Für die Interpretation der Daten, Auffälligkeiten und Muster wird zunehmend Künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt (vgl. Hofmann et al. 2018, S. 386f.).

4.3.3 Künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz (KI) ist heute ein verbreiteter Begriff, ein verbreitetes Fachgebiet. Eine einheitliche Definition des Begriffs existiert jedoch nicht. Einige Merkmale, die intelligentes Verhalten aufweisen muss, sind allerdings unstrittig. Hierzu zählen:

- Die Lernfähigkeit,
- die Fähigkeit logischen Schlussfolgerns,
- Planungsfähigkeit,
- Problemlösungsfähigkeit und
- motorische Intelligenz.

Maschinen sollen durch mathematische Modelle in die Lage versetzt werden, Aufgaben eigenständig zu erledigen, dabei zu lernen und selbstständig mit unvollständigen Informationen umzugehen. Eine regelmässige Fütterung der KI-Modelle (sog. Künstliche neuronale Netzwerke) mit Daten, ermöglicht ihnen eine stetige Verbesserung ihre Wahrnehmungen und Reaktionen (vgl. Hofmann et al. 2018, S. 387f.).

Für diesen Lernprozess ist die Teildisziplin der KI, das sogenannte Maschinelle Lernen (ML) verantwortlich. Inzwischen stehen neben kommerziellen Entwicklungsumgebungen für ML-Applikationen selbst zahlreiche Open Source Frameworks zur Verfügung (vgl. Hofmann et al. 2018, S. 389 & Schlundt et al. 2018, S. 521).

Maschinelles Lernen wird im Immobilien- und Facility Management heute vor allem in der prädiktiven Wartung eingesetzt. Im Handbuch CAFM wird allerdings auf den disruptiven Charakter von KI hingewiesen, wonach die KI die Gesellschaft und ihre Individuen so nachhaltig beeinflussen wird wie kaum eine andere Technologie. Dies wird auch Auswirkungen auf die Bewirtschaftung von Immobilien haben. Es ist also Zeit, auch im Immobilienbereich die nötigen Kompetenzen aufzubauen, um diese Technologie mit Gewinn einsetzen zu können (vgl. Hofmann et al. 2018, S. 389f. & Schlundt et al. 2018, S. 521f.).

4.4 Steuerungs- und Benutzeranwendungen

Steuerungsanwendungen senden automatische Befehle und Warnungen an die Akteure und ermöglichen dadurch eine Automatisierung des IoT-Netzwerks – z.B. erhält ein Smartes Fenster in einem vernetzten Gebäude automatisch einen Befehl zum Öffnen oder Schließen, abhängig von den Wettervorhersagen des Wetterdiensts. Die Steuerungsanwendungen können dabei entweder auf im Voraus festgelegten Regeln oder auf regelmässig aktualisierenden Modellen durch maschinelles Lernen basieren (vgl. Hryzhnevich 2018).

Damit die Sicherheit von IoT-Systemen gewährleistet ist, sollte für Benutzer immer die Option bestehen, das Verhalten der Anwendungen manuell beeinflussen zu können. Hierfür bestehen System-Schnittstellen, meist als Mobile- oder Web-Apps, über die die Benutzer den Zustand aller Komponenten eines IoT-Netzwerks überwachen, Optionen für automatisches Verhalten festlegen oder eben Befehle direkt an die Steuerungsanwendungen senden können (vgl. Hryzhnevich 2018).

4.5 Anwendungsfelder & Beispiele von IoT in der Bewirtschaftungsphase von Gebäuden

Wie die vorhergehenden Kapitel beschreiben, sind IoT-Technologien ein Mittel, um das Verhalten von Menschen und Dingen sowie deren Beziehungen untereinander zu beschreiben. Im Bereich des Immobilien- und Facility Managements interessiert insbesondere das Verhalten von (Teil-) Systemen des Gebäudes sowie das Verhalten und die Benutzererfahrung von Menschen, die das Gebäude nutzen.

Eine mögliche Einteilung von Anwendungsfällen kann also nach den Aspekten von Gebäuden und Personen erfolgen, die deren Verhalten quantifizieren. Jaspers et al. (2018, S. 339ff.) nennen hier die fünf Aspekte Benutzererfahrung, Klima, Verbrauch, Zustand und Nachfrage.



Abbildung 12: Einteilung möglicher Anwendungsfälle von IoT in der Gebäudebewirtschaftung (Jaspers et al. 2018, S. 340)

Ein willkürliches Einsetzen von IoT-Technologie, wie grossartig und innovativ sie auch sein mag, wird langfristig aber keinen Nutzen stiften. «Die Anwendung von Technologie wird nur dann erfolgreich sein, wenn sie entweder darauf ausgerichtet ist, erkannte Probleme zu lösen oder zu einer besseren Leistung

und Effizienz beitragen.» (Jaspers et al. 2018, S. 339). Aus diesem Grund eignet sich eine Einteilung der Anwendungsfälle nach den Aufgabengebieten des Facility Managements besser. Im Folgenden werden jeweils nach Aufgabengebiet einige Anwendungsbeispiele von IoT-Technologien umrissen, wobei sich die Aufgabengebiete auf die Möglichkeit eines IoT-Einsatzes beschränken. Natürlich variieren die Anwendungsfälle je nach Gebäudeart. Die folgenden Beispiele sind aber generisch beschrieben und können in einen beliebigen Kontext transferiert werden.

4.5.1 IoT-Anwendungsbeispiele im Raumverwaltungs- und Belegungsmanagement

Bei Immobilien ist die effiziente Nutzung der Ressource «Fläche» von grosser Bedeutung. Für die Optimierung der Flächennutzung benötigen die Verantwortlichen Einblicke in die tatsächliche Nutzung der Flächen. In grossen Organisationen und bestehenden Gebäuden wird hierfür meist auf bestehende Datenquellen bzw. bestehende Infrastruktur wie Netzwerkdaten, Zutrittskontrollsysteme, Kameras oder Buchungssysteme zurückgegriffen. Die Daten ermöglichen bereits Anwesenheitserkennungen und Belegungsanalysen – wenn auch nur unscharf – und lassen beispielsweise die Reinigung intelligent und nutzungsabhängig steuern. Das zusätzliche Anbringen von Sensoren und deren zusätzliche Wartung bilden aktuell noch die Ausnahme, wird in naher Zukunft allerdings Verbreitung finden; besonders durch verbaute Sensoren in Smarten Möbeln. Die Daten und Einblicke, die die Sensoren generieren, sind viel präziser und können für erweiterte Steuerungszwecke genutzt werden. Neben einer besseren Planung des Flächenbedarfs wird ein durchgängiges, smartes Reservierungsmanagement ermöglicht. Dieses erlaubt eine komfortable Reservation und effektive Auslastung von Gebäudeflächen (z.B. Besprechungsräume) sowie eine nutzerabhängige und kontextgebundene Ansteuerung der Gebäudetechnik. Mögliche Szenarien sind (vgl. Opic et al. 2018, S. 49f. & Jaspers et al. 2018, S. 368ff.):

- Kontextabhängige Beleuchtungs- und Heizungssteuerung inklusive Anpassung an Umweltfaktoren (z.B. Helligkeit, Temperatur) vor Nutzungsbeginn und nach Abschluss der Nutzung
- Feststellung der Ist-Belegung und ggf. automatisierte Freigabe bei Nichtnutzung
- Elektronische Türbeschilderung, sowie Begrüssungsbildschirm auf Basis der Reservierungsinformationen aus dem CAFM-System
- Weitergabe der ermittelten Nutzungsdauer und -intensität an Abrechnungssysteme.

4.5.2 IoT-Anwendungsbeispiele im Reinigungsmanagement

Die Reinigung von Immobilien ist ein hoher Kostenfaktor in der Bewirtschaftungsphase. Hier ist eine optimale Ausnutzung der Reinigungskapazitäten und damit eine Optimierung der Reinigungskosten von besonderer Bedeutung. Durch den Einsatz von IoT-Technologien im Zusammenspiel mit einer CAFM-Software sind folgende Szenarien denkbar (vgl. Opic et al. 2018, S. 52f. & Jaspers et al. 2018, S. 374):

- Witterungsabhängige Reinigung von Aussenflächen auf der Basis von Wetter- und Klimaprognosen und unter Einbezug der Sensordaten, die beispielsweise eine hohe Luftfeuchtigkeit messen
- Nutzungsabhängige Reinigung der Räume auf Basis der Reservierungsinformationen im CAFM-System
- Überprüfen der Erbringung von Reinigungsleistungen sowie Messung der Reinigungsdauer auf Basis der Sensordaten an Türen.

Die Post Immobilien Management und Services AG verwendet für das Reinigungsmanagement ihrer Immobilien «IntelliClean» – eine zentrale IoT-Plattform für das Facility Management. Das ursprünglich gesteckte Ziel von fünf Prozent Einsparung der Reinigungszeit durch eine dynamische Reinigung wurde mit knapp 13 Prozent deutlich übertroffen. Analysen haben gezeigt, dass zuvor in 1/3 der Räume jeweils nur Fingerabdrücke gereinigt wurden (vgl. Bauen digital Schweiz 2018a, S. 131ff. & Post 2019).

Ein weiteres Praxisbeispiel ist «Cleanbird», ein digitales Produkt zur Optimierung und Kostensenkung der Gebäudereinigung im Facility Management (vgl. Greenbird o.J.).

4.5.3 IoT-Anwendungsbeispiele im Instandhaltungsmanagement

Eine Vielzahl von technischen Anlagen wie Heizungs-, Lüftungs-, Beleuchtung- oder Sanitärtechnik erschweren es den Überblick über den aktuellen Zustand und Status der einzelnen Anlagen zu

bewahren. Vorbeugend werden in regelmässigen Abständen Inspektions- und Wartungsarbeiten an den Anlagen durchgeführt – unabhängig von deren tatsächlichem Zustand. Bei plötzlich auftretenden Störungen kommt es dann doch zu Unterbrüchen und erfordert ausserplanmässige Aufträge (vgl. Opic et al. 2018, S. 56ff. & Jaspers et al. 2018, S. 373f.)

Verbaute Sensoren können im Rahmen einer IoT-Lösung eigenständig die Zustandsdaten der Anlagen messen und an ein CAFM-System zur Überwachung der Anlagenzustände weitergeben. Dadurch kann für Instandhaltungsarbeiten ein Wechsel von starren Zeiträumen hin zu verbrauchsabhängigen Intervallen stattfinden, was schliesslich zu einer höheren Effizienz führt. Folgend einige nicht abschliessende Beispiele für den Einsatz von IoT-Technologien im Instandhaltungsmanagement (vgl. Jaspers et al. 2018, S. 373f.):

- Technische Anlagen senden mittels verbauter Sensoren und Leittechnik eigenständig Störungsmeldungen und lösen abhängig vom definierten Prozess die notwendigen Massnahmen aus.
- Durch eine Abweichung der Ist-Daten (z. B. CO₂-Werte) können Defekte an Anlagen im Sinne von Predictive Maintenance im Vorfeld erkannt werden.
- Durch eine Verschlechterung des Raumklimas, das beispielsweise durch Sensoren für die Luftdurchlassmenge und -feuchtigkeit bestimmt wird, werden Wartungen für Klimaanlage rechtzeitig veranlasst.

4.5.4 IoT-Anwendungsbeispiele im Energiemanagement

Der Megatrend Neo-Ökologie, der nicht nur in zahlreich auf den Markt kommenden nachhaltigen Produkten, sondern auch in den momentanen politischen Diskussionen und Bewegungen zu beobachten ist, stellt auch die Immobilienbranche vor grosse Herausforderungen. Tragen Gebäude mit 26 Prozent doch wesentlich zu den gesamten Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei (vgl. BAFU 2019).

Für Gebäude bzw. dessen Facility Management heisst das, durch eine Erfassung und Analyse von Verbrauchsdaten sowie ein erfolgreiches Energiecontrolling Massnahmen für eine energetische Optimierung des Gebäudebetriebs sowie sinnvolle bauliche oder anlagentechnische Änderungsmassnahmen (z. B. Sanierungen) abzuleiten und damit die Energieeffizienz des Gebäudes zu steigern. Ein CAFM-System in Zusammenhang mit IoT-Technologien ermöglicht es, vorhandene Kälte- und Wärmeanlagen (z.B. Klimaanlage, Heizung), Beleuchtungssysteme sowie andere energieverbrauchende Anlagen wie Jalousien durch Sensoren und Aktoren mit Analysen des Energieverbrauchs oder mit aktuellen Wetterdaten zu verknüpfen. Dadurch können die Systeme unmittelbar auf aktuelle Gegebenheiten und Umwelteinflüsse reagieren (vgl. Opic et al. 2018, S. 55 & Jaspers et al. 2018, S. 373).

Durch folgende Automatismen kann die Energieeffizienz der Gebäude erhöht und können als Nebeneffekt Energiekosten eingespart werden (Jaspers et al. 2018, S. 373):

- Im Raum verbaute Sensoren regulieren die im CAFM-System vordefinierte Raumtemperatur innerhalb eines definierten Zeitraums automatisch und unter Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse und der Wetterprognose.
- Kälte- und Wärmeanlagen kühlen bzw. heizen nicht, wenn Sensoren an Türen und Fenstern melden, dass diese geöffnet sind.
- Beleuchtungs- und Heizungssteuerung in den Besprechungsräumen erfolgt auf Basis der Reservierungsdaten im CAFM-System.
- Bei längerer Abwesenheit während Wochenenden oder Ferien fahren technische Anlagen automatisch herunter.
- Aktuelle Energieverbräuche in Räumen werden zur Schaffung eines Energiebewusstseins bei den Mitarbeitern permanent angezeigt.

4.5.5 IoT-Anwendungsbeispiele im Betriebskostenmanagement

Das Betriebskostenmanagement beinhaltet die Dokumentation und Auswertung aller im jeweiligen Verantwortungsbereich des Facility Managements relevanten Kostenarten (vgl. Opic et al. 2018, S. 62).

Werden die angefallenen Kosten mit Daten aus dem Raumverwaltungs- und Belegungsmanagements bzw. mit Nutzungsdaten über ein CAFM-System in Bezug gesetzt, wird die Grundlage für eine

verursachergerechte Umlage auf Nutzer bzw. Mieter geschaffen (vgl. IoT-Anwendungsbeispiele im Raumverwaltungs- und Belegungsmanagement). Dadurch werden folgende beispielhafte Auswertungen möglich (vgl. Opic et al. 2018, S. 62):

- Detaillierte Betriebskostenabrechnung pro Nutzer oder Mieter,
- Gebäudeabrechnung mit Darstellung nicht umlegbarer Anteile,
- Jahresbilanz für eine gesamte Liegenschaft,
- weitere individuelle Recherchen.

Die hierfür notwendigen Abrechnungs- bzw. Umlageschlüssel müssen durch den Anwender jederzeit individuell verändert werden können.

Die Genauigkeit und Transparenz der Berechnungsgrundlagen kann durch die Integration des Energiemanagements und der Instandhaltung ins selbe CAFM-System erhöht werden (vgl. Opic et al. 2018, S. 61).

5 Digitaler Zwilling einer Sporthalle

In den Kapitel 4 und 5 wurden die beiden Ansätze bzw. Technologien BIM und IoT beleuchtet und deren wichtige Rolle bei der digitalen Revolution im Gebäudebereich aufgezeigt. Doch welche Berührungspunkte gibt es zwischen BIM und IoT?

Gemäss Philipp Dohmen, Vorstandsmitglied Bauen digital Schweiz, ist das eine die Basis für das andere. «Das in Zukunft die Machine to Machine (M2M)-Kommunikation zunimmt, ist voraussehbar und wird auch nicht mehr bezweifelt. Dass BIM das Grundgerüst für IoT ist, ist vielleicht noch nicht so klar. Dass Geräte sich demnächst untereinander unterhalten, wird wesentliche Umbrüche in der heutigen Mess- und Regelungstechnik auslösen. Diese Dinge können sich aber nicht von allein im Zusammenhang sehen. Das heisst, der Ort, die Zugehörigkeit zu einer Etage, zu einer Zone zu einer Gruppe kommt aus dem digitalen Modell.» (energie-cluster.ch 2016).

Ziel muss es demnach sein, die verlässlichen BIM-Daten mit Echtzeitdaten von Sensoren und Aktoren im Gebäudebetrieb in Verbindung zu bringen – kurz gesagt, einen so genannten digitalen Zwilling aufzubauen.

5.1 Was ist ein digitaler Zwilling

Ein digitaler Zwilling ist gemäss allgemeiner Definition des «[...] ein virtuelles Modell z.B. eines Prozesses, eines Produkts oder einer Dienstleistung, welches die reale und virtuelle Welt verbindet.» Dabei erfordert ein digitaler Zwilling drei Elemente – das abzubildende reale Objekt, den digitalen Zwilling im virtuellen Raum und Informationen, welche die beiden miteinander verbindet (vgl. Grösser o.J.).

Im Kontext dieser Arbeit wird ein digitaler Zwilling als eine virtuelle Darstellung einer physischen Immobilie verstanden, welche durch am realen Objekt angebrachten Sensoren zusätzlich deren aktuellen und vergangenen Zustand darstellt (vgl. Bender et al. 2018, S. 300 & Jaspers et al. 2018, S. 347). Das Building Information Modeling mit seinem konsistenten und in einem 3D-Modell verankertem Datenmanagement bildet hierbei die Basis, wobei die erfassten Messwerte der Sensoren mit der BIM-Datenbank verknüpft werden. Die Fortschreibung dieser Datenbank mit kontinuierlich erfassten Messwerten, Betriebszuständen und Änderungen am Gebäude erlaubt es jederzeit das geplante, das historische und das aktuelle Gebäudeverhalten abzurufen (vgl. Stratbücker o.J.).

Die Anwendungsbereiche und -Beispiele von IoT während der Bewirtschaftungsphase von Immobilien (vgl. Kapitel 4.5) zeigen, dass IoT-Technologien meist im Zusammenspiel mit einer CAFM-Software zur Anwendung kommen. Aus Sicht der Bewirtschaftungsphase von Immobilien bzw. aus Sicht des Facility Managements, kann ein digitaler Zwilling demnach durch die Kombination von BIM, IoT, sowie CAFM-Technologien erreicht werden (vgl. Bender et al. 2018, S. 301 & Jaspers et al. 2018, S. 347).

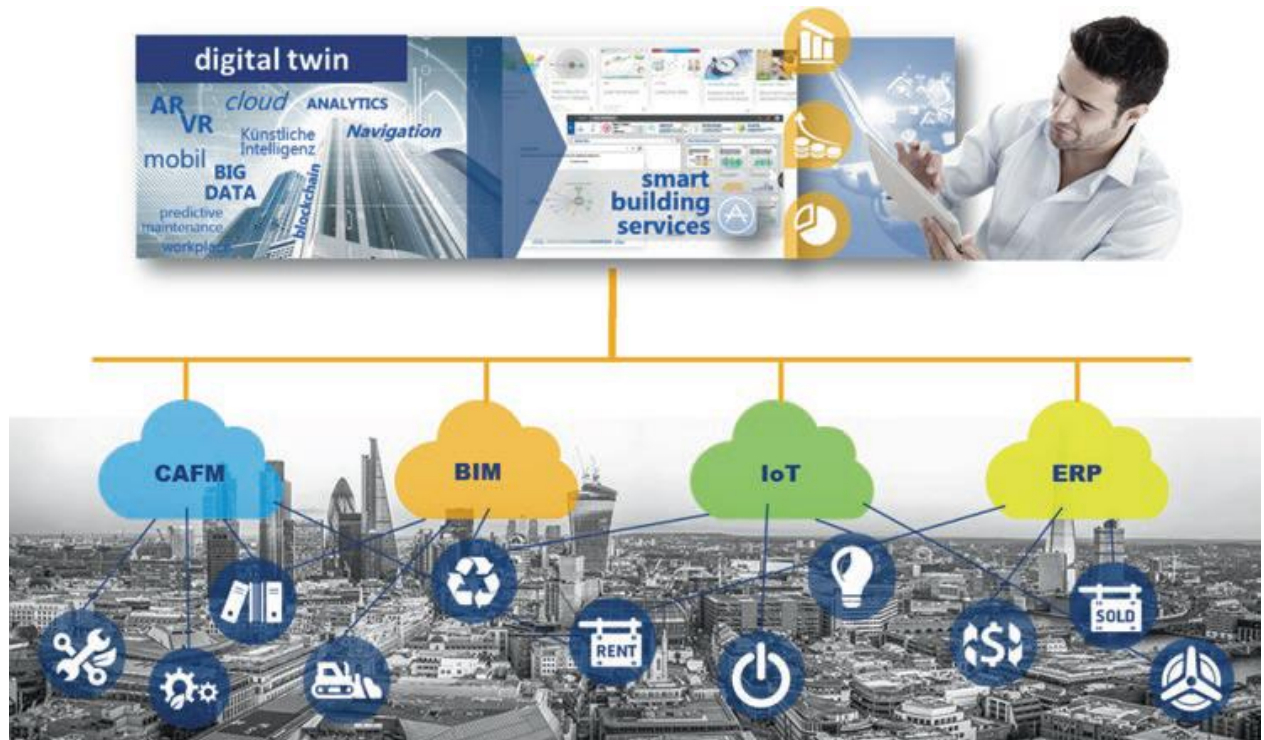
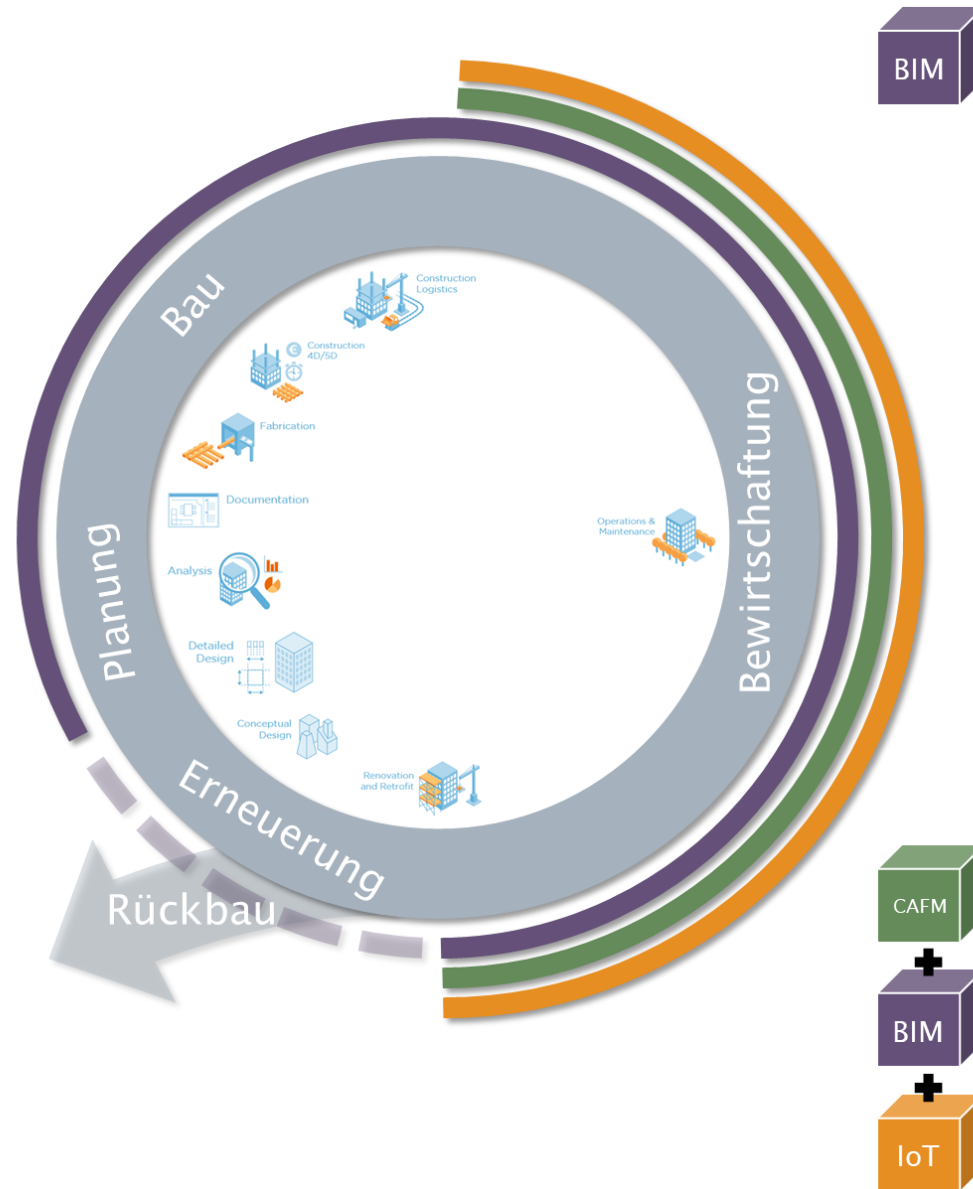


Abbildung 13: Der digitale Zwilling unter Einbeziehung von BIM-Daten (Bender et al. 2018, S. 300)

Die einzelnen Bestandteile eines digitalen Zwillings wurden in den vorgelagerten Kapitel 3 und 4 behandelt, wobei der Baustein ERP (Enterprise-Resource-Planning) in dieser Arbeit ausgeschlossen wird. In den folgenden Abschnitten wird der Nutzen von digitalen Zwillingen aus den bisherigen Erkenntnissen zusammenfassend dargestellt und anschliessend auf Optimierungsmöglichkeiten für die Bau- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen geschlossen.

5.2 Nutzen eines digitalen Zwillings im Lebenszyklus eines Gebäudes

Die grafische Darstellung auf der nächsten Seite gibt zusammenfassend eine Übersicht der eingesetzten Elemente (Technologien bzw. Methoden) eines digitalen Zwillings im Lebenszyklus eines Gebäudes und zeigt den jeweiligen Nutzen auf.



Übergabe der BIM-Daten vom Projekt-Informationsmodell (PIM) ins Liegenschafts-Informationsmodell (LIM):

- + Inbetriebnahme mit höherer Qualität und geringerem Aufwand
- + Darstellung des Gebäudes und Daten zu dessen Komponenten wie Bausubstanz und technische Anlagen
- + Grafisch unterstützte Indoor-Navigation für FM-Arbeiten
- + Reduzieren aufwändiger Suchzeiten
- + Kontinuierliche Verbesserung durch Bereitstellung der Erkenntnisse aus der Bewirtschaftungsphase für neue Gebäudeprojekte bzw. -investitionen



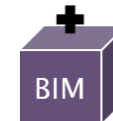
Erster Schritt in Richtung Digitalisierung durch den Einsatz einer CAFM-Software:

- + Strukturierte «Single-source-of-truth» aller FM- und Gebäude-bezogenen Daten und Informationen
- + Abbilden von FM-Prozessen mit automatisierten Workflows und Monitoring-Funktionalitäten
- + Unterstützung im Flächen- und Mietmanagement
- + Reaktives Instandhaltungsmanagement



Zurückgreifen auf geeignete Daten aus dem LIM (Gebäude- und Anlagendaten) im CAFM-System:

- + Tieferen Einblick in die räumlichen Eigenschaften von Gebäuden
- + Abschätzen voraussichtliche Energie-, Wartungs-, Reinigungs- und Flächenkosten
- + Entwickeln mehrjähriger Prognosen für FM-Prozesse



Echtzeitdaten für optimierte Entscheidungsprozess durch Internet of Things (IoT)-Technologie

- + Schnelle und genaue Analyse des Zustandes und der Eigenschaften ihrer Objekte
- + Verstehen der Verhalten von Gebäuden, Anlagen und anderer Objekte
- + Verbesserte Performance und effizientere Nutzung der Gebäuden, Anlagen und Dienstleistungen
- + Schaffen neuer Arten von Interaktionen mit und zwischen Anlagen, Menschen und Prozesse
- + Proaktives Instandhaltungsmanagement durch Just-In-Time-Wartung

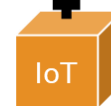


Abbildung 14: Nutzen eines digitalen Zwillings im Lebenszyklus eines Gebäudes (eigene Darstellung)

Wie die Abbildung 14 erkennen lässt, kann die Methode bzw. der Ansatz von BIM während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes angewendet werden. Damit das Potenzial von BIM jedoch ausgeschöpft wird, ist bei Neubauten wichtig, dass die in der Bauphase erfassten Daten bzw. Modelle in die Bewirtschaftungsphase übergeben werden. Bei bestehenden Bauten können die Daten bzw. Modelle manuell oder mithilfe digitaler Erfassungstechnologien erstellt werden (vgl. Kapitel 3.3.3).

Mit dem Einsatz einer CAFM-Software haben wohl die meisten Facility Manager bereits den ersten Schritt in Richtung Digitalisierung erfolgreich bestritten. Sollen jedoch die Prozesse und Dienstleistungen erheblich verbessert und die Nutzung von Gebäuden erheblich effizienter werden, so bieten digitale Zwillinge, d.h. die Kombination der drei Elemente BIM, CAFM und IoT eine Chance. Diese Kombination bildet denn auch die Königsdisziplin während der Bewirtschaftungsphase eines Gebäudes. D.h. aber nicht, dass ein digitaler Zwilling keinen Mehrwert für den Neubau weitere Gebäude oder die Erneuerung bestehender Gebäude darstellt. Denn durch die Einbindung von IoT-Technologien stehen Echtzeitdaten und somit verlässlichere Informationen zur Verfügung. Diese werden in den BIM-Daten bzw. -Modellen ergänzt und dadurch in die Bau- bzw. Erneuerungsphase überführt.

Welche Auswirkungen ein digitaler Zwilling auf der Kostenseite eines Gebäudes haben kann, wird im nächsten Kapitel beleuchtet. Dabei wird konkret auf die Bau- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen eingegangen.

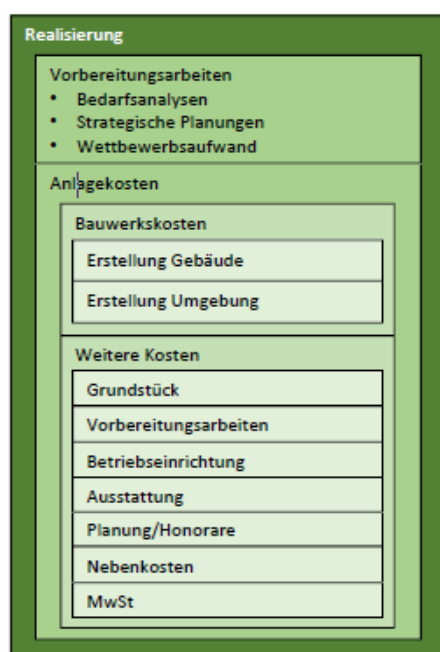
5.3 Optimierung der Bau- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen

Für die Möglichkeiten aufzuzeigen, welche ein digitaler Zwilling einer Sporthalle hinsichtlich der Optimierung ihrer Bau- und Bewirtschaftungskosten bietet, werden die Erkenntnisse aus den vorgelagerten Kapiteln konsolidiert. Als Bezugsrahmen dient das im Kapitel 2.4 erstellte Lebenszykluskostenmodell für Sporthallen.

In welchem Ausmass die Kostensenkungen liegen, kann allerdings zum heutigen Stand nur schwer abgeschätzt werden. Es gibt erst vereinzelt tatsächlich umgesetzte Beispiele (vgl. Kapitel 4.5), wobei allerdings im Bereich der Sporthallen keine bekannten Beispiele gefunden wurden oder diese nicht dokumentiert sind.

Die folgenden Abschnitte geben Antwort auf die Forschungsfrage drei: Welche Möglichkeiten hinsichtlich einer Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen bieten digitale Zwillinge?

5.3.1 Realisierung



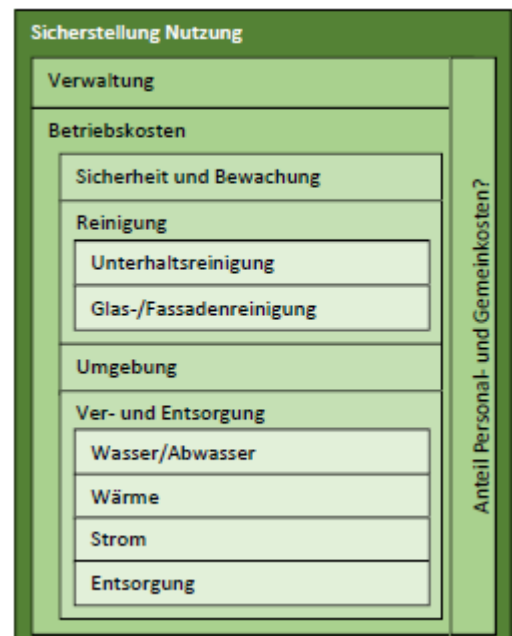
In der Realisierungsphase einer Sporthalle kann insbesondere BIM angewendet werden. Aufgrund der momentan noch relativ geringen Erfahrung mit BIM, führt dieser Ansatz eher noch zu Mehrkosten in der Bauphase. Anders gesagt, kann der Nutzen von BIM rein in der Bauphase durch vorliegende Projekte (noch) nicht belegt werden. Dies kann sich jedoch ändern, wenn einige Projekte bereits mit BIM gebaut wurden und dadurch Erfahrungen, sowie Basisdaten aus dem Lebenszyklus aufgebaut sind, welche schliesslich in Neubauten zurückgekoppelt werden können.

Einen Mehrwert bzw. eine Kosteneinsparung kann der Einsatz von BIM in der Realisierungsphase dennoch bieten, indem die erfassten Daten bzw. die erstellten BIM-Modelle an das Facility Management in die Bewirtschaftungsphase übergeben werden. Dies führt zu einem geringeren Aufwand während der Inbetriebnahme und somit zu tieferen Kosten. Allerdings findet diese Übergabe von der Realisierungsphase in die Bewirtschaftungsphase noch kaum statt, was das gesamte Potenzial von BIM aktuell in den meisten Projekten verpuffen lässt.

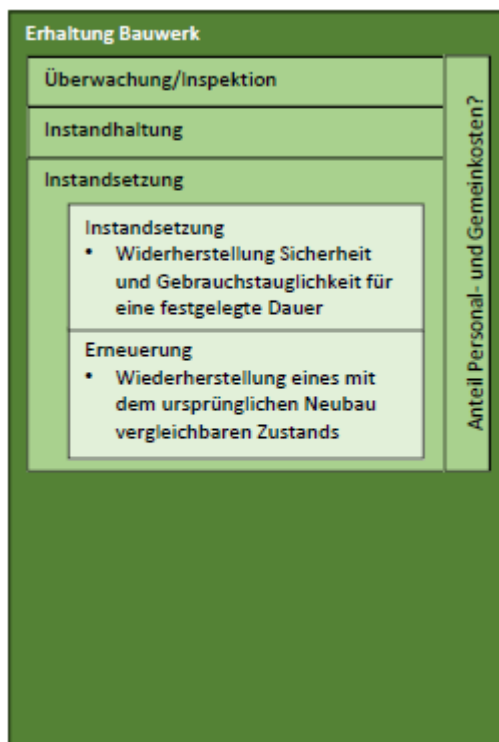
5.3.2 Sicherstellung Nutzung

Das grösste Potenzial eines digitalen Zwillings einer Sporthalle liegt in dessen Bewirtschaftungsphase. Insbesondere im, von den Experten in Gesprächen und im Workshop erwähnten Kostentreiber, Reinigungsmanagement. Durch einen digitalen Zwilling wird eine nutzungs- und witterungsabhängige Reinigung von Sportflächen, Garderoben, Nasszellen und Toiletten, aber auch von Aussenflächen wie Glasfassaden ermöglicht. Dies führt zu einer optimierten Ausnutzung der Reinigungskapazitäten bzw. zu einem Reduzieren benötigter Reinigungsarbeiten und schliesslich zu tieferen Reinigungskosten.

Neben einem optimierten Reinigungsmanagement kann ein digitaler Zwilling in gleichem Zuge den von den Experten zweitgenannte Kostentreiber - die Versorgungskosten - beeinflussen. Denn liegen detaillierte Nutzungsdaten der Sporthallen durch IoT-Lösungen vor, können die Anlagen der Gebäudetechnik wie Heizung, Lüftung, Beleuchtung oder Sanitärtechnik nutzer- und kontextabhängig angesteuert werden. Dadurch können nicht benötigte Anlagenteile im Ruhezustand verweilen und folglich die Energieeffizienz der Sporthalle erhöht und schliesslich die Versorgungskosten gesenkt werden.



5.3.3 Erhaltung Bauwerk



Im Rahmen des Instandhaltungsmanagements kann ein digitaler Zwilling, insbesondere IoT-Lösungen, die Überwachung bzw. Inspektion von Anlagen der Gebäudetechnik, aber auch die Bausubstanz der Sporthalle selbst, automatisieren. Dies erlaubt zum einen verbrauchsabhängige und dadurch effizientere Instandhaltungsintervalle. Zum anderen können Störungen bzw. Ausfälle bestimmter Anlagen vorbeugend im Sinne von Predictive Maintenance erkannt und frühzeitig behoben werden. Unterbrüche in der Nutzung bestimmter Infrastruktur der Sporthalle und einhergehende Einnahmeausfälle können minimiert werden.

Die aus der Realisierungsphase erstellten BIM-Modelle werden während der Bewirtschaftungsphase laufend mit den neu erfassten Daten angereichert. Findet eine Erneuerung der Sporthalle statt, oder wird eine neue Sporthalle gebaut, können die Erkenntnisse bzw. die angereicherten BIM-Modelle bereitgestellt werden. Dies erlaubt eine kontinuierliche Verbesserung und mit der Zeit effizientere und kostengünstigere Realisierungsphasen neuer Sporthallen.

Digitale Zwillinge haben also durchaus das Potenzial, die Bewirtschaftungskosten von Sporthallen zu senken. Der allergrösste Hebel, mit welchem sich die Bewirtschaftungskosten beeinflussen lassen, liegt allerdings in der vorgelagerten Realisierungsphase. Denn mit Entscheidungen in der Planung der Sporthalle wie der Lage, dem Grundriss, der Materialisierung werden bereits in der Planung und mit der ausführenden Bauqualität während dem Bau die Kosten der gesamten folgenden Nutzungsphase der

Sporthalle definiert. Daher ist für eine einschneidende Senkung der Bewirtschaftungskosten bereits in der frühen Planungs- und Bauphase das Facility Management mit deren Bedürfnisse zwingend einzubeziehen.

Da der grösste Hebel in der Planungs- und Bauphase der Sporthalle liegt, wollte das Projektteam ursprünglich die Beziehungen bzw. die Auswirkungen von Planungsentscheidungen auf die späteren Bewirtschaftungskosten identifizieren und so Möglichkeiten für eine Kostensenkung aufzeigen. Aufgrund der im Kapitel 2 geschilderten Komplexität der Kostenrechnung ist das Vorhaben jedoch gescheitert.

5.4 Möglicher Zusatznutzen der Daten in der Bewirtschaftungsphase

In diesem Kapitel werden weitere Anwendungen beleuchtet, welche die laufend gewonnen Daten ermöglichen. Die Anwendungen sind nicht abschliessend und sollen vielmehr eine Inspiration für Betreiber von Sporthallen dienen. Mit den folgenden Ausführungen wird die Forschungsfrage 4 beantwortet: Welcher Zusatznutzen kann durch die verfügbaren Daten ermöglicht werden?

5.4.1 Selbstregulierung nutzerspezifischer Bedingungen

Einige Möglichkeiten hierzu wurden bereits im Kapitel 4.5.1 erwähnt. Die Beispiele können in den Kontext von Sporthallen adaptiert werden. Ein weiterer gedachter Zusatznutzen liegt in der Selbstregulation von nutzerspezifischen Bedingungen der Sporthalle. Auf Basis der Belegungsdaten bzw. Reservierungsinformationen der Sporthalle oder Teile davon werden die Bedingungen wie Licht oder Wärme den Präferenzen der Nutzer voreingestellt. Weichen die Bedingungen davon ab, so regulieren sich die entsprechenden Anlagen von selbst. Durch das Gewährleisten jederzeitig optimalen Bedingungen kann ein positiver Beitrag an die Benutzererfahrung geleistet werden.

Interessant könnte diese Möglichkeit aber auch für die Simulation von bestimmten klimatischen Bedingungen im Spitzensport sein.

5.4.2 Energiemanagement / Nachhaltigkeit

Gebäude verursachen gemäss dem Bundesamt für Umwelt rund ein Viertel der gesamten Treibhausgasemissionen in der Schweiz (vgl. BAFU 2019). Beispiele im Rahmen eines optimierten Energiemanagements wurden bereits im Kapitel 4.5.4 erwähnt. Durch die nutzer- und kontextabhängige Ansteuerung der Gebäudetechnik kann neben der Reduktion der Versorgungskosten ein wesentlicher Beitrag an die ökologische Nachhaltigkeit von Sporthallen geleistet werden.

5.4.3 Betriebskostenmanagement

Werden die angefallenen Kosten mit Daten aus dem Raumverwaltungs- und Belegungsmanagements bzw. mit Nutzungsdaten über ein CAFM-System in Bezug gesetzt, kann eine verursachergerechte Verrechnung der Nutzung der Sporthalle bzw. Teile davon ermöglicht werden. Dies könnte denn auch dazu beitragen, die Ungewissheit der Betreiber von Sporthallen bzgl. der effektiven Kosten für eine Nutzungsstunde einer bestimmten Sporthallenfläche zu klären (vgl. Kapitel 2.3).

Dieses «in Bezug setzen» von anfallenden Kosten und Nutzungsdaten muss jedoch erst noch untersucht werden (vgl. Kapitel 6.2.1).

5.4.4 Mustererkennung für datenbasierte Optimierung und neue Geschäftsmodelle

Eine weitere interessante Möglichkeit besteht in einem zu den bisher erwähnten Anwendungen umgekehrten Ansatz. So bilden nicht bestehende Anwendungsbereiche oder Prozesse des Facility Managements den Ausgangspunkt für den gezielten Einsatz von Sensorik bzw. IoT-Lösungen, sondern die möglichst breite Ausstreuung von Sensoren für das Messen möglichst vieler Umgebungsdaten der Sporthalle. Aus dem riesigen Datenpool lassen sich dann durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz Muster identifizieren und neue Erkenntnisse für eine effizientere Bewirtschaftung der Sporthalle, aber auch für bisher nicht erkannte datenbasierte Geschäftsmodelle ableiten. Dabei können die erfassten Daten auch extern zur Verfügung gestellt werden.

6 Schlussbetrachtung

6.1 Fazit

Das Ziel der Forschungsarbeit war es, die Auswirkungen einer durchgängigen digitalen Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen zu beleuchten und die Möglichkeiten digitaler Zwillinge hinsichtlich einer Optimierung derselben Kosten darzustellen. Ebenso sollten mögliche Zusatznutzen durch die verfügbaren Daten ermittelt werden.

Eingeleitet wurde die Forschungsarbeit mit der Definition von Lebenszykluskosten im Kontext von Sporthallen. Bei näherer Betrachtung stellte sich diese Aufgabe als relativ komplex dar, zumal für Lebenszykluskosten, Bewirtschaftungskosten, Nutzungskosten, Betriebskosten usw. verschiedene in der Praxis angewendete Kostenmodelle vorhanden sind und die Begriffe nicht in jedem Modell kongruent verwendet werden. Schrittweise wurde mittels Diskussionen in einer Expertengruppe, durch Erkenntnisse aus einer Expertenumfrage mit Sporthallenbetreibern und aus einem Expertenworkshop ein umfassendes Lebenszyklusmodell für Sporthallen entwickelt. Mit diesem lassen sich die benötigten Kennzahlen von Sporthallen erfassen und Objekte miteinander vergleichen. So lassen sich Zusammenhänge und Muster erkennen und schliesslich die kostentreibenden Faktoren von Sporthallen eruieren. Als Erkenntnis der Expertenumfrage und des Workshops lässt sich auch sagen, dass eine qualitativ gute und detaillierte Erfassung einzelner Sporthallen zielführender wäre als eine grosse Abfrage vieler Sporthallen. Anhand des Lebenszyklusmodells für Sporthallen (vgl. Kapitel 2.4) lässt sich die erste Forschungsfrage «Wie setzen sich die Lebenszykluskosten von Sporthallen zusammen?» beantworten.

Nachdem die Zusammensetzung der Lebenszykluskosten, insbesondere der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten bekannt war, wurde als nächstes untersucht, welche Auswirkungen eine digitale Planung auf die genannten Kosten haben kann. Dabei stand der Ansatz bzw. die Methode BIM (Building Information Modeling) im Vordergrund. Immer mehr Neubauprojekte werden nach der BIM-Methode realisiert, wobei in den meisten Fällen die Planungs- und die Bauphase im Fokus stehen und der daran anschliessende Gebäudebetrieb nicht oder zumindest noch nicht hinreichend berücksichtigt wird. Doch gerade durch die Übernahme bzw. Integration der Datenbasis aus der Bau- in die Bewirtschaftungsphase und die dortige Datennutzung durch das Facility Management, kann das Potenzial von BIM erst vollständig ausgeschöpft werden – Qualitätssteigerung bei gleichzeitiger Aufwand- und Kostenreduktion. Der Berufsverband IFMA ist überzeugt, dass sich BIM konsequenterweise auch in der Bewirtschaftungsphase von Immobilien etablieren und damit das Facility Management in seinem Wirken neu prägen wird. Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage «Welche Auswirkungen hat eine durchgängige digitale Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen?» kann gesagt werden, dass die digitale Planung rein für die Bauphase allein einen geringen Nutzen bringt. Das volle Potenzial entsteht erst durch die Übergabe der Daten bzw. der digitalen Modelle von der Bau- in die Bewirtschaftungsphase und durch die dortige Nutzung durch das Facility Management, sowie der anschliessenden Rückkopplung der gewachsenen Datenbasis in die Planung neuer Gebäude.

Wichtige Bestandteile einer ganzheitlichen Lösung und von vielfältigen Facility-Management-Prozessen bilden IoT-gebundene Sensoren und Aktoren. Intelligente Gebäude, so genannte «Smart Buildings», werden sich mit dem IoT vernetzen und dadurch die Prozesse im Lebenszyklus von Immobilien automatisieren. Daten aus BIM dienen dabei als Basis. Aus diesem Grund wurde in einem weiteren Kapitel das Thema bzw. das Potenzial von IoT beleuchtet. Ein willkürliches Einsetzen von IoT-Technologie, wie grossartig und innovativ sie auch sein mag, wird langfristig aber keinen Nutzen stiften. Daher wurden im Kapitel 4.5 einige Anwendungsfälle im Bereich Raumverwaltungs- und Belegungsmanagement, Reinigungsmanagement, Instandhaltungsmanagement, Energiemanagement und Betriebskostenmanagement umrissen. Diese sind generisch beschrieben und können in einen beliebigen Kontext transferiert werden – so z.B. auf die Bewirtschaftung von Sporthallen.

Bisher wurden die beiden Ansätze bzw. Technologien BIM und IoT beleuchtet und deren wichtige Rolle bei der digitalen Revolution im Gebäudebereich aufgezeigt. Zwischen diesen beiden gibt es denn auch grosse Berührungspunkte, so ist das eine die Basis für das andere. Ziel muss es demnach sein, die verlässlichen BIM-Daten mit Echtzeitdaten von Sensoren und Aktoren im Gebäudebetrieb in Verbindung

zu bringen – es gilt einen sogenannten digitalen Zwilling aufzubauen. Im Kontext dieser Arbeit wird ein digitaler Zwilling als eine virtuelle Darstellung einer physischen Immobilie verstanden, die durch, am realen Objekt angebrachte Sensoren, zusätzlich deren aktuellen und vergangenen Zustand darstellt. Die Anwendungsbereiche und -Beispiele von IoT während der Bewirtschaftungsphase von Immobilien zeigen, dass IoT-Technologien meist im Zusammenspiel mit einer CAFM-Software zur Anwendung kommen. Aus Sicht des Bewirtschaftungsphase von Immobilien bzw. aus Sicht des Facility Managements kann ein digitaler Zwilling demnach durch die Kombination von BIM, IoT, sowie CAFM-Technologien erreicht werden. Aus den bisherigen Erkenntnissen wurde der Nutzen eines digitalen Zwillings im Kapitel 5.2 zusammenfassend dargestellt und anschliessend im Kapitel 5.3 auf Optimierungsmöglichkeiten für die Bau- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen, unter Bezugnahme des Lebenszyklusmodells, geschlossen. Dies lieferte denn auch mögliche Antworten auf die dritte Forschungsfrage «Welche Möglichkeiten hinsichtlich einer Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen bieten digitale Zwillinge?». Es zeigt sich, dass digitale Zwillinge durchaus das Potenzial haben, insbesondere die Bewirtschaftungskosten von Sporthallen zu senken. In welchem Ausmass die Kostensenkungen liegen, kann allerdings zum aktuellen Zeitpunkt nur schwer abgeschätzt werden. Es gibt, abgesehen von Sporthallen, erst vereinzelte tatsächlich umgesetzte Beispiele. Im Bereich der Sporthallen wurden keine bekannten Beispiele gefunden oder diese sind nicht dokumentiert. Der allgrösste Hebel, mit welchem sich die Bewirtschaftungskosten beeinflussen lassen, liegt allerdings in der vorgelagerten Realisierungsphase. Denn mit Entscheiden in der Planung der Sporthalle – wie Lage, Grundriss, Materialisierung – und mit der ausgeführten Bauqualität während des Baus werden die Kosten der gesamten anschliessend folgenden Nutzungsphase der Sporthalle definiert. Daher ist für eine einschneidende Senkung der Bewirtschaftungskosten bereits in der frühen Planungs- und Bauphase das Facility Management mit seinen Bedürfnissen zwingend einzubeziehen.

Die laufend gewonnenen Daten durch den Einsatz von BIM, IoT oder einer CAFM-Software resp. durch den Einsatz eines digitalen Zwillings können nicht nur für die Optimierung der Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten dienen, sondern weitergehende datenbasierte Anwendungen ermöglichen. Neben den Anwendungsbeispielen von IoT im Kapitel 4.5 wurden in dieser Forschungsarbeit einige weitergehende Möglichkeiten skizziert. Diese sind nicht abschliessend und sollen vielmehr als Inspiration für Betreiber von Sporthallen dienen. Eine interessante Möglichkeit besteht in einem, zu den sonstigen erwähnten IoT-Anwendungen, umgekehrten Ansatz. So bilden nicht bestehende Anwendungsbereiche oder Prozesse des Facility Managements den Ausgangspunkt für den gezielten Einsatz von Sensorik bzw. IoT-Lösungen, sondern die möglichst breite Ausstreuung von Sensoren für das Messen möglichst vieler Umgebungsdaten der Sporthalle. Aus dem riesigen Datenpool lassen sich dann durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz Muster identifizieren und neue Erkenntnisse für eine effizientere Bewirtschaftung der Sporthalle, aber auch für bisher nicht erkannte datenbasierte Geschäftsmodelle ableiten. Damit wurde auch die vierte und letzte Forschungsfrage beantwortet: «Welcher Zusatznutzen kann durch die verfügbaren Daten ermöglicht werden?»

Über die gesamte Forschungsarbeit betrachtet, kann die Frage nach den Auswirkungen einer durchgängigen digitalen Planung auf die Realisierungs- und Bewirtschaftungskosten von Sporthallen und die Frage nach den Möglichkeiten digitaler Zwillinge hinsichtlich einer Optimierung derselben Kosten nur bedingt beantwortet werden. Die Arbeit liefert jeweils nur Hinweise auf mögliche Antworten. Nichtsdestotrotz kann sie als Grundlage für weitere Forschungsprojekte dienen.

6.2 Ausblick

Dieses Projekt hat gezeigt, dass die Erfassung der Lebenszykluskosten von Sporthallen mit diversen Herausforderungen verbunden ist. Gleichzeitig wurde deutlich, dass digitale Zwillinge von Gebäuden grosses Potenzial bieten. Die Studie von [iot-analytics.com](https://www.iot-analytics.com) belegt, dass vernetzte Gebäude, sogenannte Smart Buildings, von der Branche als einer der grössten globalen Trends beurteilt werden.

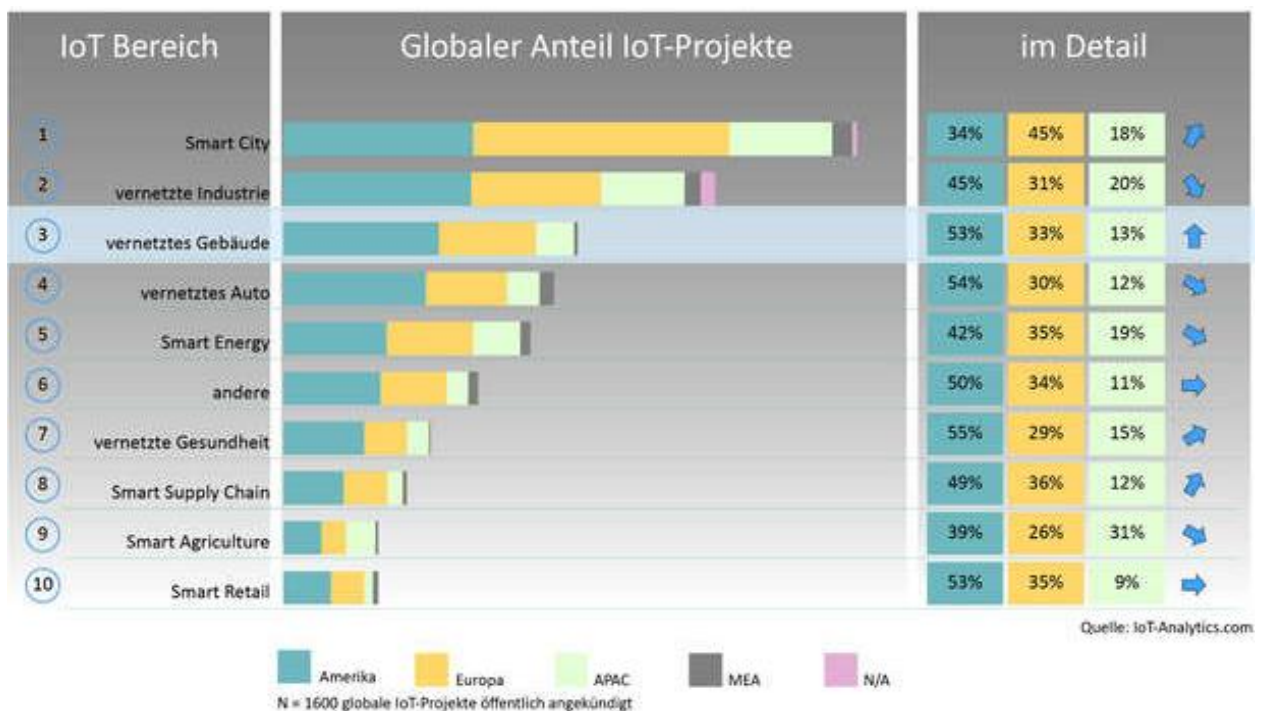


Abbildung 15: IoT-Projekte - Connected Buildings voll im Trend (Gebäude Netzwerk Initiative o.J.)

Um diese Chancen gezielt nutzen zu können, wäre es sinnvoll, diese Themen mit weiteren Projekten zu vertiefen. Zwei Projektideen werden im Folgenden kurz skizziert.

6.2.1 Automatisiertes Kostenmanagement durch IoT

Zum einen könnte der Ansatz verfolgt werden, das Kostenmanagement von Sporthallen mit Hilfe von IoT und einem digitalen Zwilling zu automatisieren. Dazu könnten mit Sensoren gemessene Umgebungs- und Nutzungsdaten auf ihre Korrelation und Kausalität mit den effektiv anfallenden Bewirtschaftungskosten untersucht werden. Anhand der Ergebnisse könnte anschliessend ein Modell für die Kalkulation der zu verrechnenden Nutzungspreise erarbeitet werden. Dieses würde den Sporthallen-Betreibern zukünftig ermöglichen, ohne aufwändige Erfassung der Bewirtschaftungskosten die nötigen Tarife für die jeweiligen Nutzungsgruppen zu ermitteln.

Dieses Kalkulationsmodell könnte anschliessend auf andere Gebäudetypen adaptiert werden, beispielsweise könnte es ebenfalls für Verwaltungs- und Bürogebäude einen grossen Nutzen bieten.

6.2.2 Digitale Zwillinge für private Bauherrschaften

Zum anderen wäre es interessant, das Prinzip des digitalen Zwillings auch für private Bauherrschaften von Wohnbauten zugänglich zu machen. Aktuell sind im privaten Bereich lediglich Smart-Home-Lösungen im Einsatz, die die Steuerung und Vernetzung von Haustechnikelementen anstreben. Eine Verbindung zu Planungs- und Baudaten der Gebäude ist aktuell noch nicht Standard. Ein digitaler Zwilling könnte den Gebäudeeigentümern Zugang zu einer Vielzahl von Informationen verschaffen, beispielsweise zu nötigen Wartungen, verbauten Produkten, verantwortlichen Unternehmen und Ansprechpartnern. Dies könnte ihnen einen signifikanten Mehrwert bieten, der in Verbindung mit einer intelligenten Plattform für die Bestellung von z.B. Unterhaltsarbeiten noch gesteigert werden könnte.

7 Conclusions

7.1 Récapitulation

Le but de ce travail de recherche était de mettre en lumière l'impact d'une planification entièrement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport, ainsi que les possibilités offertes par les jumeaux numériques pour optimiser ces coûts. Par ailleurs, il s'agissait d'identifier les utilisations supplémentaires que l'on pourrait faire des données recueillies.

Pour commencer, nous avons entrepris de définir les coûts du cycle de vie d'une salle de sport. Cette opération s'est révélée relativement complexe, d'autant plus que pour les coûts du cycle de vie, les coûts de gestion, les coûts d'utilisation, les coûts d'exploitation, etc., divers modèles cohabitent dans la pratique, et que ces termes ne sont pas employés avec le même sens d'un modèle à l'autre. Des discussions menées au sein d'un groupe d'experts, ainsi qu'un sondage réalisé auprès d'exploitants de salles de sport et un atelier de travail avec des experts ont progressivement permis de mettre au point un modèle de cycle de vie complet pour les salles de sport. Celui-ci permet de recenser les principales valeurs référentielles pour les salles de sport et de comparer les bâtiments entre eux. On peut alors mettre les choses en relation, déceler des schémas et identifier ainsi les facteurs de coûts. Le sondage réalisé auprès des exploitants de salles de sport et l'atelier de travail ont aussi montré qu'il serait plus pertinent de réaliser une analyse rigoureuse et détaillée d'un nombre restreint de salles de sport que d'en étudier un grand nombre. Le cycle de vie des salles de sport mis au point dans le cadre de cette recherche (cf. point 2.4) répond donc à la première question de recherche: «Que recouvrent les coûts du cycle de vie d'une salle de sport?».

Une fois les coûts du cycle de vie définis, en particulier les coûts de réalisation et de gestion, on a examiné les effets qu'une planification numérique, et plus spécifiquement la méthode BIM (Building Information Modeling), peut avoir sur ces coûts. Un nombre toujours croissant de projets de construction sont réalisés selon cette méthode mais, dans la plupart des cas, celle-ci est appliquée aux phases de planification et de construction, l'exploitation du bâtiment n'étant pas, ou du moins pas encore, suffisamment prise en compte. Or, c'est en reprenant, c'est-à-dire en intégrant, les données résultant de la phase de construction dans la phase d'exploitation et en les mettant au service du Facility Management qu'on peut tirer pleinement parti du potentiel du BIM – et obtenir ainsi une amélioration de la qualité doublée d'une réduction des dépenses et des coûts. L'association professionnelle IFMA est convaincue que le BIM va s'imposer aussi dans la phase de gestion des biens immobiliers et avoir un impact inédit sur l'efficacité du Facility Management. En réponse à la deuxième question de recherche («Quels sont les effets d'une planification entièrement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport?»), on peut donc affirmer qu'une planification numérisée de A à Z n'offre que peu de bénéfices dans la seule phase de planification mais qu'elle déploie pleinement ses effets lorsque les données et modèles numériques sont réemployés dans le cadre de la phase de gestion et exploités par le Facility Management, puis lorsque la somme des données obtenues est réinvestie dans la planification de nouveaux bâtiments.

Les capteurs et actionneurs associés à l'Internet des objets jouent un rôle important dans les solutions globales et dans les multiples processus du Facility Management. Les bâtiments interconnectés ou «smart buildings» vont se conjuguer à l'Internet des objets pour aboutir à une automatisation des processus tout au long de la durée de vie des constructions. Les données fournies par le BIM serviront de base. Nous avons donc consacré un chapitre au potentiel de l'Internet des objets. Toutefois, si novatrice que soit cette technologie, elle ne sera d'aucune utilité à long terme si l'on n'y recourt pas de manière raisonnée. C'est pourquoi nous donnons, au point 4.5, quelques exemples d'utilisation dans divers domaines: gestion des locaux et des capacités d'accueil, gestion du nettoyage et de l'entretien, gestion énergétique, gestion des coûts d'exploitation. Il s'agit d'exemples génériques qui peuvent être transposés dans n'importe quel contexte – p. ex. celui de la gestion des salles de sport.

Nous avons examiné jusqu'ici le BIM et l'Internet des objets, et montré le rôle important qu'ils jouent dans la révolution numérique appliquée au secteur du bâtiment. Tous deux convergent à plus d'un titre, l'un étant la base de l'autre. Il faut donc parvenir à associer les données fiables obtenues grâce au BIM avec celles fournies en temps réel par les capteurs et actionneurs utilisés dans les bâtiments – c'est-à-dire construire un jumeau numérique. Dans le présent travail, le terme «jumeau numérique» est

employé pour désigner la représentation virtuelle d'un immeuble physique. Celle-ci, grâce aux données fournies par les capteurs installés dans l'immeuble, reflète non seulement son état présent mais aussi son état passé. Les domaines d'application et les exemples de mise en œuvre de l'Internet des objets dans le cadre de la gestion des bâtiments montrent aussi que les technologies IoT sont la plupart du temps combinées à un logiciel CAFM. Par conséquent, pour la phase de gestion d'un immeuble ou pour le Facility Management, on peut aboutir à un jumeau numérique en associant BIM, Internet des objets et technologies CAFM. Nous avons expliqué l'utilité du jumeau numérique au point 5.2 et en avons déduit, au point 5.3, des possibilités pour l'optimisation des coûts de construction et de gestion des salles de sport, en tenant compte du modèle du cycle de vie. C'est ainsi que nous avons apporté des réponses possibles à la troisième question de recherche: «Quelles possibilités les jumeaux numériques offrent-ils pour réduire les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport?». Il s'avère que les jumeaux numériques présentent tout à fait le potentiel nécessaire pour réduire les coûts, notamment les coûts de gestion des salles de sport. Toutefois, il est encore difficile d'évaluer l'ampleur des économies qui pourraient être réalisées par ce biais. Il n'existe pour l'heure que quelques exemples de mise en œuvre effective en dehors du domaine des salles de sport. Dans ce dernier, par contre, nous n'avons pas trouvé d'exemples connus, ou alors seulement des exemples non documentés. Le levier le plus important pour influencer sur les coûts de gestion réside certainement dans la phase de réalisation. Car les décisions prises durant la planification d'une salle de sport – situation, plan au sol, matériaux de construction – et la qualité de l'exécution déterminent les coûts de la phase suivante, à savoir celle de l'utilisation. Aussi est-il impératif, pour réduire de façon draconienne les coûts de gestion, d'intégrer le Facility Management et ses exigences dès la phase de planification et de construction.

Les données obtenues en continu grâce à la méthode BIM, à l'Internet des objets ou à un logiciel CAFM, autrement dit à un jumeau numérique, peuvent non seulement servir à optimiser les coûts de réalisation et de gestion, mais aussi servir à d'autres applications reposant sur l'exploitation de données. Nous évoquons donc dans ce travail, outre les exemples d'application de l'Internet des objets donnés au point 4.5, un certain nombre d'autres possibilités – sans prétendre à l'exhaustivité, et plutôt à l'intention des exploitants d'installations sportives en quête d'idées. Une possibilité intéressante, notamment, réside dans une démarche inverse à celle des autres applications IoT évoquées: au lieu de partir de domaines d'application ou de processus du Facility Management existants et de faire un usage ciblé des capteurs et des solutions IoT, cette démarche consiste à démultiplier les capteurs de façon à récolter le plus de données possible sur la salle de sport. On exploitera ce gigantesque corpus à l'aide de l'intelligence artificielle pour identifier des schémas et en tirer de nouvelles connaissances, éléments grâce auxquels on pourra ensuite exploiter la salle avec plus d'efficacité et aussi concevoir des modèles d'affaires inédits. Nous avons ainsi répondu à la quatrième et dernière question de recherche: «Quelle peut être l'utilité additionnelle des données recueillies?».

Au terme de ce travail de recherche, force est de constater qu'on ne peut répondre que jusqu'à un certain point à la question de l'impact d'une planification entièrement numérisée sur les coûts de réalisation et de gestion des salles de sport, ainsi qu'à la question des possibilités offertes par les jumeaux numériques pour optimiser ces coûts. Cependant, le présent travail offre une base utile pour la réalisation de travaux de recherche ultérieurs.

7.2 Perspectives

Ce projet a mis en lumière les difficultés que pose le recensement des coûts du cycle de vie d'une salle de sport. Dans le même temps, il a montré le potentiel important des jumeaux numériques dans le domaine des bâtiments. Une étude réalisée par [iamot.com](https://www.iamot.com) révèle que pour le secteur de la construction, les bâtiments interconnectés ou «smart buildings» sont l'une des plus grandes tendances à l'échelle mondiale.

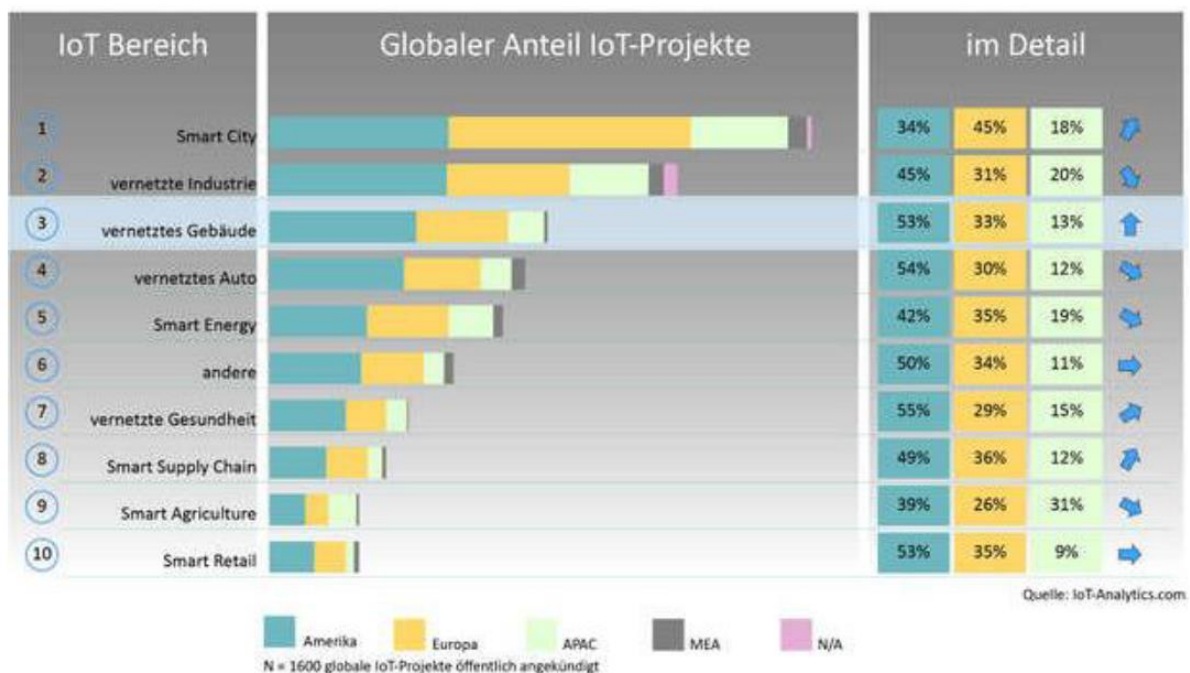


Fig. 15: Projets IoT – Les bâtiments connectés ont la cote (Gebäude Netzwerk Initiative o.J.)

Pour pouvoir exploiter ces opportunités de façon ciblée, il serait judicieux d'approfondir ces sujets dans le cadre d'autres projets. Deux thématiques seraient à cet égard intéressantes:

7.2.1 Gestion des coûts automatisée grâce l'Internet des objets (IoT)

Un premier sujet de recherche pourrait être l'automatisation de la gestion des coûts des salles de sport grâce à l'Internet des objets et à un jumeau numérique. On pourrait étudier les corrélations et rapports de causalité entre, d'une part, des données environnementales et données d'utilisation mesurées au moyen de capteurs et, d'autre part, les coûts de gestion effectifs. A partir des résultats obtenus, on pourrait élaborer un modèle de calcul des prix d'utilisation à facturer. Ce modèle permettrait aux exploitants des salles de sport de déterminer les tarifs à appliquer aux différents groupes d'utilisateurs sans avoir à effectuer le laborieux calcul des coûts de gestion.

Ce modèle de calcul pourrait être ensuite adapté à d'autres types de bâtiments, par exemple aux bâtiments administratifs et aux immeubles de bureaux, pour lesquels il pourrait être d'une grande utilité.

7.2.2 Jumeaux numériques pour les maîtres d'ouvrage privés

Il serait par ailleurs intéressant de mettre le principe du jumeau numérique à la portée des maîtres d'ouvrage privés. A l'heure actuelle en effet, on ne connaît, dans le secteur privé, que les maisons intelligentes, qui pilotent et associent des éléments domotiques. L'intégration des données de planification et de construction des bâtiments n'est pas encore chose courante. Avec un jumeau numérique, les propriétaires auraient accès à de nombreuses informations, concernant par exemple les travaux de maintenance nécessaires, les éléments en mauvais état, les entreprises responsables et les interlocuteurs. Il en résulterait pour eux des avantages significatifs, qui pourraient être encore accrus avec l'adjonction d'une plateforme intelligente permettant, par exemple, de commander des travaux d'entretien.

8 Osservazioni conclusive

8.1 Conclusioni

Il lavoro di ricerca è stato impostato sull'obiettivo di far luce sugli effetti della progettazione digitale continua sui costi di realizzazione e gestione delle palestre nonché di determinare le opportunità offerte dai gemelli digitali per ottimizzare questi costi. Inoltre si tratta di esplorare eventuali vantaggi aggiuntivi derivanti dai dati disponibili.

Il lavoro di ricerca si prefigge di definire i costi del ciclo di vita nel contesto delle palestre. A un esame più attento, questo compito si è rivelato piuttosto complesso, soprattutto perché nella pratica si usano diversi modelli di calcolo per i costi del ciclo di vita, i costi di gestione, i costi di utilizzo, i costi operativi, ecc. e i termini non sono usati coerentemente in ogni modello. Le discussioni in un gruppo di esperti, i risultati di un'indagine fra i gestori delle palestre e un workshop di esperti hanno portato all'elaborazione di modello completo del ciclo di vita delle palestre. Questo modello consente di rilevare i numeri chiave e paragonare i diversi oggetti in modo da identificare le correlazioni e gli schemi e attraverso di essi i fattori che determinano i costi delle palestre. Dall'indagine dei gestori delle singole palestre e dal workshop emerge che un sondaggio qualitativamente buono e dettagliato di singole palestre è più efficace che un ampio sondaggio di numerose palestre. Il modello del ciclo di vita delle palestre (v. capitolo 2.4) può essere utilizzato per rispondere alla prima domanda della ricerca: Quali sono i costi del ciclo di vita degli impianti sportivi?

Una volta determinata la composizione dei costi del ciclo di vita, in particolare dei costi di realizzazione e di gestione, il passo successivo è stato quello di analizzare l'impatto della pianificazione digitale su questi costi focalizzandosi sull'approccio o metodo BIM (Building Information Modeling). Sempre più progetti di nuove costruzioni vengono realizzati con il metodo BIM, per cui nella maggior parte dei casi l'attenzione si concentra sulle fasi di progettazione e costruzione trascurando o non considerando a sufficienza l'esercizio dell'edificio. Tuttavia, è proprio attraverso il trasferimento o l'integrazione del database dalla fase di costruzione alla fase di gestione e l'utilizzo dei dati da parte del facility management che il potenziale del BIM può essere pienamente sfruttato, aumentando la qualità e riducendo contemporaneamente gli sforzi e i costi. L'associazione professionale IFMA è convinta che il BIM si affermerà anche nella fase di gestione degli immobili andando quindi a rimodellare la caratteristica attività del facility management. Riguardo alla seconda domanda della ricerca (Quali effetti ha una pianificazione digitale continua sui costi di realizzazione e gestione delle palestre), si rileva che la pianificazione digitale offre pochi vantaggi per la fase di costruzione. Il pieno potenziale si manifesta solo attraverso il trasferimento di dati o modelli digitali dalla fase di costruzione alla fase di gestione e attraverso il loro utilizzo da parte del facility management, nonché la successiva implementazione nella progettazione di nuovi edifici del database arricchito.

I sensori e gli attuatori collegati all'internet degli oggetti sono componenti importanti di una soluzione olistica e di diversi processi di facility management. Gli edifici intelligenti, i cosiddetti "smart buildings", saranno collegati in rete con l'internet degli oggetti andando così ad automatizzare i processi del ciclo di vita degli immobili fondandosi sui dati del BIM. Pertanto un intero capitolo è dedicato all'argomento o al potenziale dell'internet degli oggetti. Tuttavia, un uso arbitrario della tecnologia dell'internet degli oggetti, per quanto efficace e innovativo possa essere, non produrrà benefici a lungo termine. Perciò il capitolo 4.5 analizza alcuni casi d'impiego nel campo della gestione dello spazio e dell'occupazione, della pulizia, della manutenzione, dell'energia e dei costi operativi. Questi esempi sono descritti in modo generico e possono essere trasferiti in altri contesti, ad es. nella gestione delle palestre.

Finora sono stati analizzati i due approcci, ossia le tecnologie BIM e l'internet degli oggetti, evidenziando il loro importante ruolo nella rivoluzione digitale nel settore dell'edilizia. Queste due tecnologie condividono numerosi elementi nel senso che uno è la base per l'altro. L'obiettivo deve quindi essere quello di collegare i dati BIM affidabili con i dati in tempo reale dei sensori e degli attuatori nell'ambito dell'esercizio dell'edificio, ovvero creare un cosiddetto gemello digitale. In questo contesto un gemello digitale è inteso come una rappresentazione virtuale di un immobile che espone il suo stato attuale e passato attraverso dei sensori collegati all'oggetto reale. Le aree di applicazione e gli esempi di internet degli oggetti durante la fase di gestione degli immobili dimostrano che queste tecnologie sono utilizzate per lo più in combinazione con il software CAFM. Dal punto di vista della fase di gestione

degli immobili o dal punto di vista del facility management, un gemello digitale può essere realizzato abbinando tecnologie BIM, internet degli oggetti e CAFM. Il capitolo 52. riassume i vantaggi di un gemello digitale partendo dai risultati analizzati e il capitolo 5.3 espone le opportunità di ottimizzazione dei costi di costruzione e di gestione delle palestre con riferimento al modello del ciclo di vita. Con ciò si ottengono anche delle risposte alla terza domanda di ricerca (Quali opportunità comportano i gemelli digitali in termini di ottimizzazione dei costi di realizzazione e di gestione delle palestre?). Risulta infatti che i gemelli digitali possono ridurre i costi di gestione delle palestre. Tuttavia, attualmente è difficile stimare l'entità di questa riduzione dei costi perché oltre alle palestre esistono solo pochi esempi effettivamente realizzati, ovvero non sono stati identificati esempi concreti o documentati. Va precisato inoltre che i costi di gestione sono maggiormente influenzabili durante la fase di realizzazione a monte perché le decisioni prese nella progettazione della palestra (ubicazione, planimetria, materiali) associate alla qualità dei lavori di costruzione nella fase di costruzione determinano i costi dell'intera fase successiva di utilizzo. Pertanto è imperativo includere il facility management e i suoi requisiti nelle prime fasi di progettazione e costruzione al fine di ottenere una significativa riduzione dei costi di gestione.

I dati ottenuti continuamente attraverso l'utilizzo di BIM, internet degli oggetti o CAFM o anche tramite l'impiego di un gemello digitale servono non solo per ottimizzare i costi di realizzazione e di gestione, ma consentono anche ulteriori applicazioni basate sui dati. Oltre agli esempi di attuazione dell'internet degli oggetti nel capitolo 4.5, il lavoro di ricerca propone anche una serie, non esaustiva, di altri impieghi come fonte d'ispirazione per i gestori delle palestre. Una possibilità interessante è quella di adottare un approccio rovesciato rispetto alle applicazioni menzionate dell'internet degli oggetti. Ovvero, per utilizzare in modo mirato la tecnologia dei sensori o le soluzioni dell'internet degli oggetti non si parte da nuovi settori di applicazione o nuovi processi di facility management, ma piuttosto si distribuiscono su larga scala i sensori per rilevare la maggior quantità possibile di dati ambientali della palestra. L'enorme massa di dati raccolti è analizzata attraverso l'intelligenza artificiale permettendo così di identificare dei modelli e di ricavare nuove basi per una gestione più efficiente della palestra e anche per elaborare dei modelli di business basati su dati prima sconosciuti. Così è data una risposta anche alla quarta e ultima domanda della ricerca: Quali vantaggi aggiuntivi possono essere enucleati dai dati disponibili?

Il lavoro di ricerca risponde solo limitatamente agli interrogativi riguardo agli effetti della pianificazione digitale continua sui costi di realizzazione e gestione delle palestre elucida solo in parte la questione delle possibilità dei gemelli digitali per ottimizzare questi costi. Piuttosto la ricerca abbozza solo una risposta che però può servire come base per ulteriori progetti di ricerca.

8.2 Prospettive

Questo progetto ha dimostrato che il rilevamento dei costi del ciclo di vita delle palestre comporta varie sfide. Allo stesso tempo però evidenzia anche che i gemelli digitali degli edifici offrono un grande potenziale. Lo studio di [iot-analytics.com](https://www.iot-analytics.com) dimostra che l'industria edilizia considera gli edifici collegati in rete (smart buildings) come una delle più grandi tendenze globali.

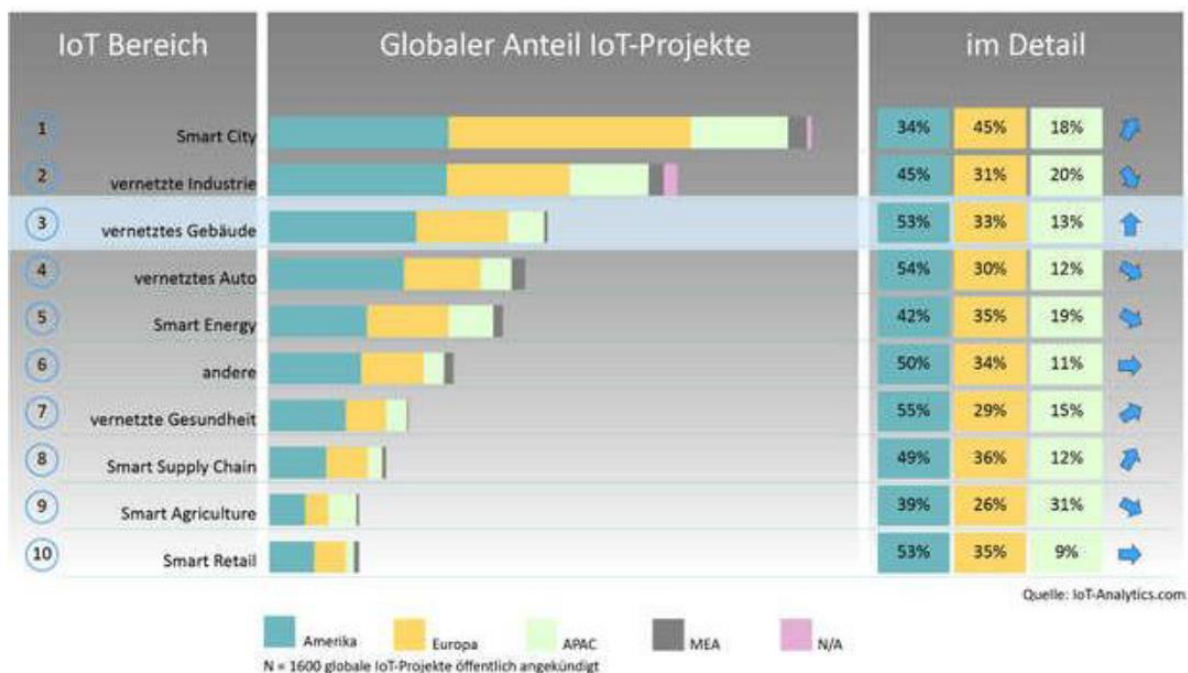


Figura 15: Progetti dell'internet degli oggetti – la tendenza degli edifici collegati (Gebäude Netzwerk Initiative o.J.)

Per sfruttare appieno e in modo mirato queste opportunità sarebbe necessario approfondire questi temi con ulteriori progetti. Di seguito sono descritte brevemente due idee di progetto.

8.2.1 Gestione automatizzata dei costi attraverso l'internet degli oggetti

Un approccio potrebbe essere quello di automatizzare la gestione dei costi delle palestre abbinando l'internet degli oggetti a un gemello digitale. I dati ambientali e di utilizzo rilevati dai sensori potrebbero essere esaminati per verificarne la correlazione e la causalità con i costi effettivi di gestione. Questi risultati servirebbero poi per sviluppare un modello di calcolo delle tariffe per l'uso della palestra. In futuro, ciò consentirebbe ai gestori delle palestre di stabilire le tariffe necessarie per i diversi gruppi di utenti senza dover rilevare i costi di gestione con metodi dispendiosi.

Questo modello di calcolo potrebbe essere adattato fruttuosamente ad altri tipi di edifici, ad es. immobili amministrativi o uffici.

8.2.2 Gemelli digitali per promotori edilizi privati

Potrebbe anche essere interessante rendere accessibile il principio del gemello digitale ai costruttori privati di edifici residenziali. Attualmente nel settore privato si usano solo soluzioni per la casa intelligente che controllano e connettono sistemi tecnologici per edifici e non è ancora diffuso il collegamento standard con i dati di progettazione e costruzione. Un gemello digitale potrebbe offrire ai proprietari di edifici l'accesso a una vasta gamma di informazioni, come ad es. la manutenzione necessaria, i prodotti installati, le aziende responsabili e le persone di contatto. Verrebbe così aumentato notevolmente il valore aggiunto che lieviterebbe ancora di più abbinando il sistema a una piattaforma intelligente per ordinare (ad es. lavori di manutenzione).

9 Literaturverzeichnis

Baldegger, Dr., J., et al., 2019. 4. Digital Real Estate Umfrage 2019 Schweiz. pom+Consulting AG. Online: <https://www.digitalrealestate.ch/products/digitalisierungsindex-2019/> (08.01.2020).

Balthasar, Prof. Dr., A., et al. 2013. Sportanlagenstatistik Schweiz 2012, S. 7, Luzern und Rüşchlikon: Interface, HSLU und Rütter Sococo. Online: https://www.baspo.admin.ch/content/baspo-internet/de/dokumentation/publikationen/sportanlagenstatistik-schweiz-2012/_jcr_content/contentPar/downloadlist/downloadItems/872_1464696912862.download/bericht_sportanlagestatistik_2012_d.pdf (24.04.2019).

Bauen digital Schweiz, o.J. Über uns. Online: <https://bauen-digital.ch/de/ueber-uns/> (14.01.2020).

Bauen digital Schweiz, 2018a. Spotlight 2018: Digital FM – Wo Digitalisierung wirkt.

Bauen digital Schweiz, 2018b. BIM Workbook – Verständigung. Online: <https://bauen-digital.ch/assets/Downloads/de/180722-BdCH-BIM-Workbook-Verstaendigung-web.pdf> (07.12.2019).

Bender, T., et al., 2018. Building Information Modeling. CAFM-Handbuch, S. 295-324, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Bildir, Z., 2019. Revolution im Facility Management. Build-Ing. Online: <https://www.build-ing.de/fachartikel/detail/revolution-im-facility-management> (10.11.2019).

Bosch Thermotechnik GmbH, o.J. Sensoren – Aufgaben, Arten und Einsatzbereiche. Online: <https://www.bosch-homecom.com/de/de/info-center/lexikon/sensor/> (10.12.2019).

Breunig, M., 2019a. BIM berührt alle Lebensphasen eines Gebäudes. Energie Experten. Online: <https://www.energie-experten.ch/de/business/detail/bim-beruehrt-alle-lebensphasen-eines-gebaeudes.html#c2372> (12.11.2019).

Breunig, M., 2019b. Massgeschneidert in die Betriebsphase. Dossier Haustech 01-2019. Online: https://www.bim-facility.ch/download/in/1219_ht_2019_1_06_dossier.pdf (15.12.2019).

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2019. Klima – Das wichtigste in Kürze. Online: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html> (15.12.2019)

CRB 2012. LCC – Leitfaden LCC - Planung der Lebenszykluskosten, S. 9.

energie-cluster.ch, 2016. BIM ist Grundgerüst für IoT. Online: <https://www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/1517/energie-cluster-ch-newsletter-222-interview-philipp-dohmen.pdf?lm=1478284515> (07.01.2020).

Gebäude Netzwerk Initiative, o.J. Neue Rollen für Planer und Bauherren. Online: <https://www.g-n-i.ch/de/aktuell/meldungen/iot-modul2.php> (12.03.2020).

Greenbird Vertriebs GmbH, o.J. Cleanbird. Online: <https://cleanbird.fm/> (12.12.2019).

Grösser, Prof. Dr., S., o.J. Digitaler Zwilling. Gabler Wirtschaftslexikon. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371> (07.01.2020).

Hofmann, M., et al., 2018. Big Data und Analytics im Facility Management. CAFM-Handbuch, S. 377-398, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Hryzhnevich, A., 2018. IoT-Architektur kurz und knapp und wie das alles funktioniert. Science Soft. Online: <https://www.scnsoft.de/blog/iot-architektur-und-wie-das-alles-funktioniert> (10.12.2019).

IFMA Schweiz, o.J. LIM Liegenschafts-Informationsmodell, IMB Informationsmodell Bewirtschaftung. Online: <https://www.ifma.ch/de/ifma-schweiz/news/ifma-aktuell/1860-lim-liegenschafts-informationsmodell-imb-informationsmodell-bewirtschaftung> (12.12.2019).

IFMA Schweiz, 2017. Facility Management und Building Information Modelling - Positionspaper der IFMA Schweiz. Online: https://www.ifma.ch/images/ifma/jdownloads/ifmaintern/07_innovationen/03_bim_und_fm_position_papier/positionspapier_bim_und_fm.pdf (09.12.2019).

Institut Digitales Bauen, o.J. Digitales Bauen – Herausforderung und Stand der Umsetzung in der Schweiz. Fachhochschule Nordwestschweiz. Online: <https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/institut-digitales-bauen/digitales-bauen-herausforderung-und-stand-der-umsetzung-in-der-schweiz> (25.11.2019).

Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH, o.J. Digitales Bauen. Berner Fachhochschule. Online: <https://www.bfh.ch/de/forschung/forschungsbereiche/digitales-bauen/> (25.11.2019).

Jaspers, E., et al., 2018. IoT im FM. CAFM-Handbuch, S. 337-375, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Koch, S., et al., 2018. CAFM-Software und ihre IT-Umgebung. CAFM-Handbuch, S. 273-294, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Marchionini, M., et al., 2018. Zum Verhältnis von Facility Management und CAFM. CAFM-Handbuch, S. 5-14, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Müller, S., 2014. Die neue Realität - Erweiterung des Data Warehouse um Hadoop, NoSQL & Co Teil 2: Analytische Datenbanken & NoSQL. it-novum GmbH. Online: <https://it-novum.com/blog/die-neue-realitaet-erweiterung-des-data-warehouse-um-hadoop-nosql-co-teil-2-analytische-datenbanken-nosql/> (15.12.2019).

netzwerk_digital, o.J. Digitalisierung im Schweizer Bau und Immobilienwesen. Online: <https://netzwerk-digital.ch/de/koordination/gipfeltreffen-digitalisierung-im-schweizer-bau-und-immobilienwesen/> (20.12.2019).

Qolomany, B., et al., 2019. Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings - A Comprehensive Survey.

Opic, M., et al., 2018. Anwendungsfelder für den IT-Einsatz im FM. CAFM-Handbuch, S. 45-71, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Schlundt, M., et al., 2018. Trends und Perspektiven im CAFM. CAFM-Handbuch, S. 511-533, 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Schweizerische Post AG, 2019. IntelliClean – logisch sauber. Online: <https://immobilien.post.ch/de/innovation/intelliclean> (12.12.2019).

Stratbücker, S., o.J. Digital Twin. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP. Online: https://www.bau.fraunhofer.de/content/dam/bau/de/documents/BAU2017/IBP_261_DigitalTwins_rz_web.pdf (12.01.2020).

Suppiger, P., 2020. BIM@SBB - Warum braucht es das FM in der strategischen Planung? Präsentation Swissbau Basel 2020. Online: https://www.swissbau.ch/-/media/swissbau/EventReport/2020/17-01-freitag/09-30-bim2fm/03_Praesentation_Patrick-Suppiger.pdf?la=de-CH (20.01.2020).

Weber, M., 2020. Die Schweiz übernimmt eine digitale Führungsrolle. Online: https://www.swissbau.ch/de-CH/aktuell/blog/2020/01/bauen-digital.aspx?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=sb20_aktuell20 (14.01.2020).

Wikipedia, 2019. Sensor. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sensor> (10.12.2019).