

Schlussbericht nach Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98



Smart Public Building – Universelle Plattform für interaktives Technologiemanagement in öffentlichen Gebäuden (SPUB)

Förderkennzeichen: 13FH9E03IA

Autoren:

Myriam Guedey,

Marc Philipp Jensen,

Valentin Kammerlohr,

Elisabeth Kraxner,

Dieter Uckelmann

Stuttgart, Januar 2022

Schlussbericht nach Nr. 3.2 BNBEST-BMBF 98

Smart Public Building – Universelle Plattform für interaktives Technologiemanagement in öffentlichen Gebäuden (SPUB)

Projektlaufzeit	01.10.2017 bis 31.07.2021
Projektart	Exploratives Projekt
Verbundprojekt	nein
Fördernummer	13FH9E03IA
Fördersumme	299.975,95 Euro (inkl. Projektpauschale)
Stichworte	Smart (Public) Buildings, Internet der Dinge, Smart Home, Open Source
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Dieter Uckelmann
Adresse	Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart
Telefon, E-Mail	+49 711 8926 2632, dieter.uckelmann@hft-stuttgart.de
Projektmitarbeiter HFT	Myriam Guedey, Marc Philipp Jensen, Elisabeth Kraxner
Bericht bearbeitet durch	Myriam Guedey, Marc Philipp Jensen, Elisabeth Kraxner, Valentin Kammerlohr, Dieter Uckelmann
Gesamtprojekt	FH-Impuls 2016: iCity – Intelligente Stadt
Stichworte Gesamtprojekt	Energie, Gebäude, Quartiere und Infrastruktur, Mobilität, Big Data/ IKT, Akustik, Datensicherheit, Finanzierung, Beteiligung und Akzeptanz
Geförderte Maßnahme	Forschung an Fachhochschulen
Förderbereich	Starke Fachhochschulen – Impuls für die Region
Fachhochschule	Hochschule für Technik Stuttgart (HFT), Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
Gesamtprojektleitung	Dr. Dirk Pietruschka (dirk.pietruschka@hft-stuttgart.de)
Projektpartner	-

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurze Darstellung.....	3
1.1.	Aufgabenstellung.....	3
1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	5
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2.	Eingehende Darstellung.....	7
2.1.	Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnis.....	7
2.1.1.	Anforderungsanalyse Smart Public Building.....	7
2.1.2.	Entwicklung der Systemumgebung	8
2.1.3.	Interne Infrastrukturen	10
2.1.4.	Externe Infrastrukturen.....	12
2.1.5.	Wartung, Kontrolle, Regelwerke und Selbststeuerung	13
2.1.6.	Geschäftsmodell und Datenschutzbewertung	14
2.1.7.	Projektmanagement, Dissemination und Anwenderintegration.....	15
2.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	18
2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	18
2.4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	18
2.5.	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	19
2.6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.....	20
3.	Literaturverzeichnis	21

1. Kurze Darstellung

1.1. Aufgabenstellung

Mit Sensor- und Steuerungstechnik in Smart Homes lassen sich Energieverbräuche senken, der Nutzungskomfort steigern und der Wert des Gebäudes erhöhen. Die Entwicklungen im Bereich der Smart Homes haben sich in den vergangenen Jahren mehr und mehr von der klassischen Gebäudeautomatisierung gelöst. Statt einer strukturierten, aber aufwendigen und meist kabelgebundenen Automatisierungstechnik, haben sich im privaten Bereich verstärkt kabellose „Single-Purpose“-Lösungen durchgesetzt. Sie zeichnen sich durch eine einfache Installation, App-Steuerung und die Nutzung des Internets der Dinge aus. Während die privaten Smart Homes von der dynamischen Entwicklung neuer Sensoren, Aktoren, Schnittstellen und Anwendungen profitieren, bleibt deren Nutzung in gewerblichen und öffentlichen Gebäuden bisher hinter den Erwartungen zurück. Dazu tragen die aufwendige Installation, eine schwer bewertbare Wirtschaftlichkeit, die Heterogenität der Lösungen und eine Top-Down-Planung bei.

Zur Senkung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes sowie zur Erhöhung der Auslastung und des Nutzungskomforts für gewerbliche und öffentliche Gebäude gilt es, neue Ansätze zur Anwendung der innovativen Technologien zu entwickeln. Dabei müssen die spezifischen Herausforderungen größerer Institutionen, wie Verfügbarkeit, Interoperabilität, Administration und Wartbarkeit gemeistert werden. Deshalb wird für die Server- und Client-Infrastruktur ein offener, modularer Ansatz auf Basis von openHAB gewählt. openHAB ist eine Java-basierte Open-Source-Anwendung zur Integration und Steuerung heterogener Smart-Home-Komponenten. Die technischen Arbeitsziele des Projekts, wie die Ausarbeitung spezifischer Beispielanwendungen für Smart Public Buildings, werden prototypisch an der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) umgesetzt. Explorativ untersucht werden zudem die besonderen Anforderungen öffentlicher Gebäude an den Einsatz smarterer Technologien, die Eignung von Smart-Home-Technologien für den Einsatz in Smart Public Buildings sowie die sich daraus ergebenden Chancen und Herausforderungen.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das explorative Projekt SPUB wurde allein durch die HFT Stuttgart bearbeitet, es waren keine weiteren Partner daran beteiligt. Für die Durchführung der Forschungsarbeiten standen bis auf die Grundausstattung der Hochschule weder Mittel noch Personal zur Verfügung. Daher wurden für die gesamte Projektlaufzeit eine volle Wissenschaftlerstelle sowie eine halbe Hilfwissenschaftlerstelle geschaffen, welche zu 100% vom BMBF finanziert wurden. Die für die Durchführung der Forschungsarbeiten notwendige technische Ausstattung in Form von Sensoren, Aktoren, Gateways und Servern sowie die elektrischen Installationsarbeiten wurden ebenfalls über die bewilligten Projektmittel finanziert. Gleiches traf auf die angefallenen Ausgaben für Dienstreisen und Publikationen sowie auf Veranstaltungskosten für die durchgeführten Workshops und die Konferenz zu. Für die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben konnte auf Erfahrungen aus bisherigen Arbeiten der HFT Stuttgart zum Internet der Dinge mit den entsprechenden Technologien (z.B. RFID, RTLS, Sensoren, Aktoren, HFT-Impulsprojekt 2015 - Bewegungsprofile von Studierenden: Werkzeuge zur standortbezogenen Analyse) und ihren Anwendungen im Bereich Industrie 4.0, Smart Home und Elektromobilität zurückgegriffen werden.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Leitung des Projektes hatte Prof. Dr. Dieter Uckelmann inne. Wie unter 1.1 beschrieben, wurden die technischen Arbeitsziele als Demo-Installation an der HFT Stuttgart unter Beteiligung verschiedener Fach- und Forschungsabteilungen sowie Studierender der Hochschule umgesetzt. Die Aufgaben des explorativen Projekts Smart Public Building waren in sieben Arbeitspakete (AP) gegliedert. Arbeitspaket 1 und 2 umfassten die wissenschaftlichen und technischen Grundlagenarbeiten (theoretische Analyse und Basisinstallation des Gebäudemanagementsystems), Arbeitspaket 3 bis 5 bildeten die Entwicklung und

technische Integration der Anwendungsfälle von smarten Technologien im öffentlichen Gebäude. Arbeitspaket 6 und 7 widmeten sich der wirtschaftlichen und datenschutzrechtlichen Betrachtung der Ergebnisse sowie ihrer Verbreitung innerhalb und außerhalb der Hochschule zur weiteren Verwertung:

- AP1: Anforderungsanalyse Smart Public Building
- AP2: Entwicklung der Systemumgebung
- AP3: Interne Infrastrukturen
- AP4: Externe Infrastrukturen
- AP5: Wartung, Kontrolle, Regelwerke und Selbststeuerung
- AP6: Geschäftsmodell und Datenschutzbewertung
- AP7: Projektmanagement, Dissemination und Anwenderintegration

Die Überprüfung der Zwischenergebnisse erfolgte durch vorab definierte Meilensteine (M), die das Erreichen von Teilzielen markierten (hier zusammengefasst pro Arbeitspaket dargestellt):

- M1: Klassifizierung, Fragebogen (1.1), Auswertung der Fragebögen (1.2), Basisinstallation (1.3)
- M2: LBS-Integration (2.1), Nutzerprofile (2.2), anwendungsspezifische Anpassungen (2.3)
- M3: Raumüberwachung (3.1), zwei zentrale Anbindungen (3.2), LBS-Integration (3.3)
- M4: Integration e-Bike-Sharing (4.1), zwei weitere externe Anbindungen (4.2)
- M5: Regelwerk Raumverwaltung (5.1), selbststeuernde Elemente (5.2), Benutzerkonten (5.3)
- M6: Privacy Impact Assessment (6.1), Geschäftsmodell (6.2)
- M7: Webseite (7.1), Anwender-/Entwicklerworkshop (7.2), Konferenz (7.3), Projektbericht (7.4)

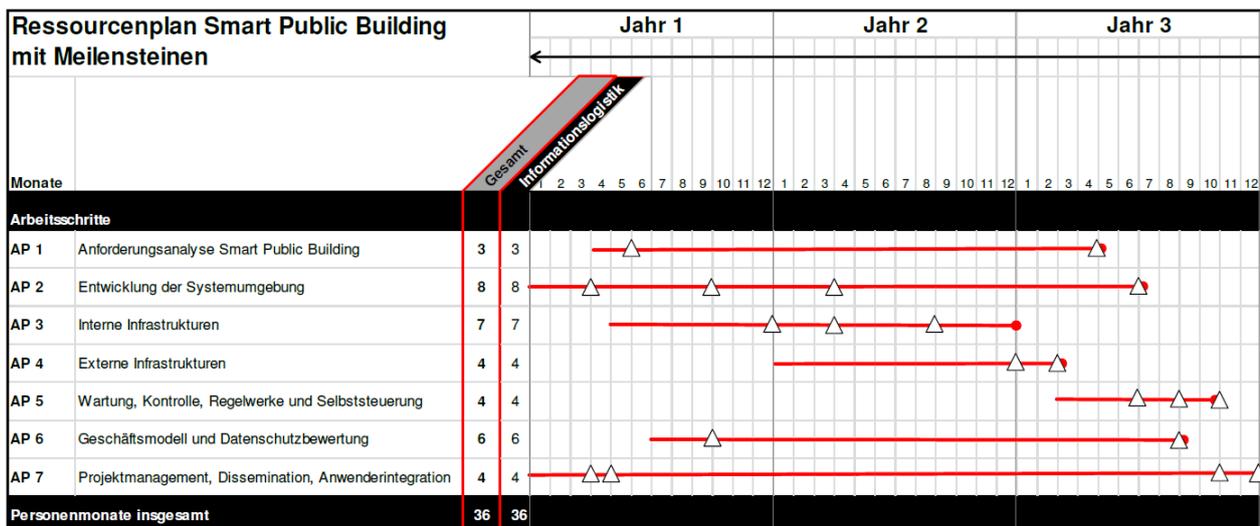


Abbildung 1: Arbeitsplan Smart Public Building

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Entwicklung der Anwendungen sowie zur Abstimmung der technischen Installationen arbeitete SPUB mit den Fachabteilungen der Hochschule sowie mit Forschungskolleg*innen und externen Dienstleistern und Ansprechpartnern zusammen. Auf Forschungsebene fand ein intensiver Austausch mit Kolleg*innen der HFT Stuttgart sowie externen Einrichtungen und interessierten Dritten statt.

Austausch/Zusammenarbeit innerhalb der Hochschule:

Stelle(n)	Austausch/Zusammenarbeit
Technische Abteilung	Planung und Durchführung von Installationen im Rahmen des Projektes, Stakeholder Input
Informationstechnische Dienste	Planung und Durchführung von Installationen im Rahmen des Projektes, Bereitstellung von Infrastruktur und Diensten, Stakeholder Input
Umweltmanagement	Stakeholder Input, Präsentation im Rahmen eines EMAS-Audits
Forschung	Aufbau und Betrieb eines freien LoRaWAN-Netzwerkes am Campus
	Entwicklung einer CO ₂ -Ampel für die Hochschule
	Mitarbeit an der Konzeption eines Lehrkapitels und Remote-Labors zum Smart (Public) Building
	Bereitstellung von Daten für das iCity-Teilprojekt 3.3: IoT-Sensorik, Cloud und Big Data im Bereich HLK-Anlagen
Datenschutzbeauftragter	Einschätzung zu den Installationen aus datenschutzrechtlicher Perspektive
Studierende	Integration in die laufenden Forschungsarbeiten durch Seminar- und Abschlussarbeiten sowie hilfswissenschaftliche Tätigkeiten

Austausch/Zusammenarbeit außerhalb der Hochschule:

Stelle(n)	Austausch/Zusammenarbeit
openHAB Community	Teilnahme und Beiträge zu den Smart Home Days, Diskussionen im Online-Forum, Meetup und Beitrag zur FrOSCon 2019, Integration von Mitgliedern in Konferenz und Workshops der HFT Stuttgart
The Things Network Region Stuttgart	Meetup an der HFT Stuttgart, Erfahrungsaustausch zu LoRaWAN und Sensorik in Gebäuden sowie Use Cases, Unterstützung bei der Umsetzung eines Use Cases an der Hochschule, Teilnahme versch. Mitglieder an der Konferenz und den Workshops der HFT Stuttgart
Parkraumbewirtschaftung Baden-Württemberg (PBW)	Bereitstellung von Echtzeit-Daten der PBW zur Integration der Parkplatz-belegung der Hofdienergarage in die Gebäudemanagementplattform
Industrie 4.0 Meetup der Region Stuttgart	Teilnahme an thematisch passenden Meetups und Veranstaltungen, Projektpräsentation, Aufbau Netzwerk mit Unternehmen der Region
FAU Erlangen-Nürnberg, TU Dortmund, TU Berlin, HS Darmstadt, HS Deggendorf	Wissenschaftlicher Erfahrungsaustausch zu Smart Buildings, Smart Home, Gebäudeautomation, Internet of Things und openHAB (siehe 2.5)
Externe Dienstleister (bspw. Fachplanung, Elektroinstallation), Netzbetreiber, Uni-Bauamt	Planung, Koordination und Installation von Systemen und smarten Komponenten in Gebäuden der Hochschule

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und erzieltetes Ergebnis

Im Folgenden werden die wichtigsten Forschungsergebnisse auf Arbeitspaketebene vorgestellt:

2.1.1. Anforderungsanalyse Smart Public Building

Ziele:

Erstellung einer Klassifizierung von öffentlichen Gebäuden und bestehenden smarten Anwendungen sowie von Anwendungspotenzialen für die jeweiligen Gebäudeklassen, die durch eine Befragung von öffentlichen Einrichtungen in Stuttgart zu ermitteln sind.

Ergebnisse:

Es erfolgte eine Klassifizierung öffentlicher Gebäude und bestehender smarterer Anwendungen für die jeweiligen Gebäudeklassen auf Grundlage einer Literaturrecherche. Abgeleitet davon wurden Unterschiede zum Privatgebäude und besondere Anforderungen öffentlicher Gebäude an den Einsatz von Smart-Home-Technologien ermittelt. Öffentliche Gebäude unterscheiden sich in einigen Aspekten wesentlich von privat genutzten Gebäuden, woraus sich auch andere Anforderungen an die eingesetzten Technologien ergeben. Tabelle 1 zeigt einen Auszug aus der Analyse.

Merkmal	Anforderung	Beispiele
Zugänglichkeit	Sicherheit	Vorhandensein und Funktionsfähigkeit von sicherheitsrelevanten Einrichtungen (Defibrillatoren, Feuerlöscher, ...)
Nutzung	Zuverlässigkeit	Stabil laufendes System, Redundanz, Netzwerksicherheit
	Standardisierung	Einhalten allgemeiner Normen (bspw. BSI Grundschrift) sowie spezieller Regularien (bspw. Hausordnung: Öffnungszeiten, Schließen von Fenstern und Türen, Schadenmeldung, ...)
Größe	Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit	Notwendigkeit von signifikant mehr Geräten (Sensoren, Aktoren und auch Gateways) und dadurch Wartungsaufwand (bspw. Batterien), weitere Infrastrukturen von Interesse (Fahrstühle, Verbrauchszähler, Parkplätze, ...) müssen integriert werden
	Konnektivität	Reichweiten und Störanfälligkeiten der eingesetzten Drahtlostechnologien müssen berücksichtigt werden (bspw. Repeater, andere Technologien oder System-Architekturen)
Nutzer*innen	Ressourcen	Besucheraufkommen und Raumbelastungen sind von Interesse, etwa um Auslastungen optimieren zu können
	Flexibilität	Art und Motivation der Nutzer*innen unterscheiden sich tlw. stark voneinander. Smarte Anwendungen in öffentlichen Gebäuden müssen dem Rechnung tragen, bspw. durch anpassbare User Interfaces
Datenschutz	DSGVO	Anders als im privaten Raum müssen Anwendungen wie bspw. Videoüberwachung verhältnismäßig und notwendig sein, vernetzte Präsenzmeldungen in Einzelbüros benötigen ausdrückliches Einverständnis

Tabelle 1: Einige der Unterscheidungsmerkmale und sich daraus ergebender Anforderungen öffentlicher Gebäude

Eine Befragung öffentlicher Gebäude der Stadt Stuttgart bzgl. smarterer Anwendungen wurde auf Grundlage der Klassifizierung (Recherche mehrerer öffentlicher Gebäude pro Klasse) in Form eines Online-Fragebogens mit quantitativen und qualitativen Elementen (vgl. Sultan Dag 2003) durchgeführt, um neben dem Status Quo auch Potenziale erfassen zu können (vgl. Kuckartz 2014). Insgesamt wurden 121 Einrichtungen zur Teilnahme eingeladen, die Rücklaufquote lag mit knapp 40% im oberen mittleren Bereich (vgl. Mayer 2013), wobei nicht alle Fragebögen vollständig ausgefüllt wurden. Die Auswertung der Umfrage ergab, dass nur etwa ein Viertel (26%) der öffentlichen Gebäude in Stuttgart bereits smarte Anwendungen einsetzen, diese aber in allen identifizierten Kernbereichen (Energie, Sicherheit, Gebäudemanagement, Komfort) mit Ausnahme des Bereiches Partizipation (Einflussnahme der Nutzer*innen auf das System). Auf den Kernbereich Gebäudemanagement entfielen verhältnismäßig wenige Nennungen (12%), was auf die fehlende Vernetzung der einzelnen Anlagen und Geräte miteinander zurückzuführen ist (sog. Insellösungen). Bei den eingesetzten Technologien dominierten die kabelgebundenen Bussysteme (93%). Investitionen in smarte Anwendungen planten zum Zeitpunkt der Befragung nur etwa 25% der Einrichtungen. Die Installation der Systeme wurde überwiegend als aufwendig und komplex eingeschätzt, ebenso wurden hohe Investitionen als Hinderungsgrund genannt.

Abschließend wurde eine Matrix über bestehende smarte Anwendungen, angelehnt an die Funktionalitäten der Smart-Home-Plattform openHAB, erstellt und um neue, der Umfrage und Literatur entnommener Anwendungspotenziale erweitert. Das Dokument zur Anforderungsanalyse wurde im GitLab-Repository der HFT Stuttgart veröffentlicht.¹

2.1.2. Entwicklung der Systemumgebung

Ziele:

Basierend auf einer Open-Source-Software (openHAB) für das Smart Home soll eine 1) Client-Server-Umgebung aufgesetzt und um 2) Funktionen für Location Based Services (LBS), 3) verteilte smarte Systeme und die 4) Einbindung verschiedener Nutzerprofile erweitert werden.

Ergebnisse:

1) Für die Basisinstallation der zu integrierenden Infrastrukturen und die Implementierung der Anwendungen wurde ein Server in Bau 2 der HFT Stuttgart aufgesetzt und in das Hochschulnetzwerk eingebunden. Als grundständige Dienste wurden neben der Smart-Home-Managementplattform openHAB auch Grafana (Visualisierung), Node-RED (Prototypenbau, Wartung), verschiedene Datenbanken mit ihren DBMS (u.a. MySQL, InfluxDB), Mosquitto (MQTT) sowie Nginx (Reverse Proxy) installiert und konfiguriert – dem Antragsziel entsprechend wurde soweit möglich ausschließlich offene Software (OSS) eingesetzt. Zur Basisinstallation gehörten darüber hinaus ca. 120 Sensoren, Aktoren und Gateways verschiedener Funkprotokolle (Z-Wave, LoRaWAN, EnOcean, MAXI, Bluetooth, WLAN), die im Projektverlauf exemplarisch in Seminar- und Vorlesungsräumen von Bau 2 sowie vereinzelt auch in Büros und Besprechungsräumen installiert und in das System eingebunden und visualisiert wurden. Um Anforderungen wie Reichweite und Zuverlässigkeit testen zu können, wurde Sensoren sowohl in den oberen Stockwerken als auch in den beiden Untergeschossen platziert. Die Installationen wurden mit der Technischen Abteilung und den Informationstechnischen Diensten der Hochschule abgestimmt.

2) Für die Funktionalität Location Based Services wurde ein Konzept auf Basis von BLE-Beacons erstellt und prototypisch an der Hochschule implementiert (vgl. 2.1.3). Der entwickelte Prototyp basierte auf technischen Funktionalitäten (Google Eddystone Notify), die während des Projektverlaufes seitens Googles eingestellt wurden.² Gleiches betraf den Support für die verwendete Hardware (Bluetooth Beacons), in der Folge waren die Beacons nicht mehr über die App des Herstellers konfigurierbar. Es wurden alternative

¹ https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/smartpublicbuilding/publications/-/blob/master/SPUB_Bericht_1.pdf

² <https://android-developers.googleblog.com/2018/10/discontinuing-support-for-android.html>

Möglichkeiten basierend auf offener Software geprüft, die sich jedoch als ungeeignet erwiesen bzw. im Falle der vielversprechenden WLAN-basierten Lösung FIND3³ mangels Weiterführung des Projektes (Server waren nicht mehr erreichbar) nicht mehr sinnvoll genutzt werden konnten. Letztlich wurde ein neues, proprietäres System (Juniper Mist) ausgewählt, das mit einer festen Anzahl von BLE-Arrays die Virtualisierung von Beacons (vBLE) ermöglicht und somit ohne weitere Hardware (Beacons) auskommen soll. An der Hochschule wurde ein exemplarischer Aufbau mit acht Access Points in Abstimmung mit dem Uni-Bauamt, der Technischen Abteilung und der IT geplant. Die Bauarbeiten im vorgesehenen Bereich (Bau 1, 2. Stock) verzögerten sich aufgrund der Corona-Pandemie in erheblichem Maße, sodass die Installation des Systems erst kurz vor Projektende fertig gestellt werden konnte. Eine abschließende Einschätzung bezüglich der Eignung liegt daher noch nicht vor, wird derzeit aber im Rahmen von Studienarbeiten vorgenommen.

3) Ein Unterscheidungsmerkmal smarter öffentlicher Gebäude zum Smart Home ist die durchschnittliche Gebäudegröße bzw. im Falle der Hochschule die Tatsache, dass es sich um einen Komplex aus mehreren großen Gebäuden handelt. Für diese verteilten smarten Systeme (vgl. Abbildung 2, rechts) wurde ein Konzept entwickelt, das ein zentrales Management der verschiedenen openHAB-Instanzen ermöglicht. Das Konzept wurde anschließend implementiert und in einer Testumgebung mit mehreren Servern erprobt. Gemäß den ermittelten Anforderungen öffentlicher Gebäude (vgl. 2.1.1) lag der Fokus auf der Zuverlässigkeit und Sicherheit des Systems sowie darauf, Installations- und Wartungsroutinen mit möglichst geringem Aufwand automatisiert durchführen zu können. Das Konzept nutzte die Container-Technologie Docker sowie Docker Swarm zur Orchestrierung der Docker-Instanzen, wodurch die einzelnen Nodes (= Gebäude) zentral konfiguriert, ausgerollt, gewartet und gesichert werden konnten. Die Virtualisierung mittels Docker in Verbindung mit der Nutzung eines Reverse Proxy reduzierte den Zugang zum System im lokalen Netzwerk zudem auf genau einen Socket, um die ansonsten offen im Netzwerk verfügbare openHAB-Installation vor unbefugten Zugriffen zu schützen. Docker ermöglicht es darüber hinaus, openHAB auf ganz unterschiedlichen Hosts (Raspberry Pi, virtuelle Maschine, PC etc.) und OS (Windows, Linux, MacOS) zu installieren, was in einem diversen Netzwerk wie dem der Hochschule von Vorteil ist. Zur Visualisierung des zentralen Managements wurden die einzelnen Gebäude in einem eigenen Webinterface zu einer Übersicht „HFT Stuttgart“ zusammengefasst.

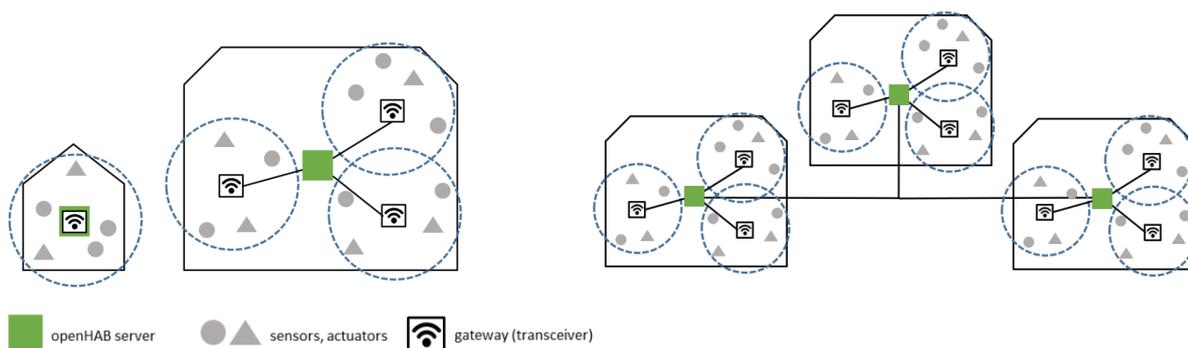


Abbildung 2: Typischer Aufbau eines Smart Home (links) im Vergleich zu einem smarten öffentlichen Gebäude (Mitte) bzw. mehreren smarten öffentlichen Gebäuden mit verteilten Systemen (rechts). Abbildung basierend auf Heimgaertner et al. 2017.

4) Die zum Projektstart verfügbare Version 2 der Managementplattform openHAB bietet standardmäßig nicht die Möglichkeit, Nutzerprofile zu erstellen und zu verwalten. Jedoch ist die Funktionalität erforderlich, um innerhalb des Systemaufbaus eine Zugriffskontrolle mittels abgestufter Rollen zu ermöglichen. Innerhalb des Vorhabens wurden daher die einzelnen Systemkomponenten betrachtet und in einem ersten Schritt

³ <https://github.com/schollz/find3>

Nutzerrollen und Nutzerprofile ermittelt. Eine Trennung besteht hierbei zwischen administrativen und anwenderbezogenen Sichten auf das System. Entsprechend dieser Sichten wurden Nutzerprofile definiert, die Administrierenden, Lehrenden und Studierenden die Interaktion mit jeweils zugewiesenen Komponenten und Sensoren ermöglicht. Erreicht wurde diese Funktionalität durch das Einbinden und einer an die Anforderungen angepassten Konfiguration eines Reverse Proxy (Nginx). Ein kontrollierter Zugriff auf die definierten Sichten, die in verschiedenen User Interfaces umgesetzt wurden, ist somit nur für autorisierte Nutzer durch eine vorherige Authentifikation am System möglich.

2.1.3. Interne Infrastrukturen

Ziele:

In den Bereichen 1) verteilte Infrastrukturen, 2) zentrale Infrastrukturen und 3) Indoor-Navigation sollen folgende Szenarios untersucht werden: 1a) Raumüberwachung, 1b) Integration von Nutzer*innen als „soziale“ Sensoren, 1c) Überwachung von sicherheitsrelevanten mobilen Einrichtungen, 2a) Erfassung der Hauptzähler, 2b) Anbindung der Fahrstühle, 2c) Anbindung des Raumbuchungssystems, 3a) Installation von Bluetooth Beacons im Gebäude.

Ergebnisse:

1a) Raumüberwachung: Es wurde ein Konzept für die Raumüberwachung erstellt und in einem Labor (Raum 2/260), das auch als Seminar- und PC-Raum genutzt wird, umgesetzt. Das Konzept umfasste neben der Installation verschiedener Sensoren und Aktoren und ihrer Integration in die Plattform auch die Untersuchung von möglichen Nutzungsszenarios sowie die Erstellung entsprechender User Interfaces (Visualisierungen, Analyse, manuelle Steuerung). Ausgehend von dem Labor wurden ein grundständiges Monitoring und Controlling (Raumklima, Heizungen) auf weitere Seminar- und Vorlesungsräume sowie auf einige Büros in Gebäude 2 ausgeweitet (vgl. 2.1.2, Basisinstallation), sodass auch das Konzept für das Management verteilter Instanzen sowie die Zuverlässigkeit der Funkverbindungen und der Wartungsaufwand über einen längeren Zeitraum erprobt werden konnten. Die Raumüberwachung wurde anschließend um ein Konzept zur automatischen Erfassung der Raumbesetzung auf Basis von BLE/WLAN erweitert. Das Konzept basierte auf dem Paxcounter, einem Microcontroller-Board (ESP32) mit LoRaWAN-Schnittstelle und Open-Source-Software zur datenschutzkonformen Abschätzung von Passagierflüssen. Der Paxcounter zählt die Verbindungsversuche (Bluetooth und WLAN) von Mobilgeräten in der näheren Umgebung. Verschiedene Software-Konfigurationen und Mobilgeräte wurden in Kombination getestet und die Ergebnisse ausgewertet. Die Kommunikation via LoRaWAN über das auf dem Campus installierte Netzwerk (vgl. 2.1.3) lief stabil, die Zählungen erwiesen sich jedoch als recht ungenau, sodass lediglich Belegungskategorien (wenig, mittel, viel) sinnvoll dargestellt werden konnten. Aufgrund anstehender technischer Änderungen innerhalb der mobilen Betriebssysteme durch Google und Apple (Nutzung wechselnder, randomisierter MAC-Adressen) müssen die Ergebnisse zukünftig erneut überprüft werden. Ebenfalls auf dem ESP32 bzw. dem ESP8266 basiert die CO₂-Ampel, die in Kooperation als weiterer Raumsensor im Rahmen des Vorhabens entwickelt und implementiert wurde (vgl. 2.1.7).

1b) Integration von Nutzer*innen als „soziale“ Sensoren: Basierend auf einer Befragung von Studierenden der HFT Stuttgart wurde ein Konzept zur Einbindung subjektiver Empfindungen, bspw. des Raumklimas, zur Anpassung der Aktoren in den Vorlesungs- und Seminarräumen erstellt. Da die Umfrage ergab, dass die Studierenden keine automatisierte Erhebung von Daten (auch nicht anonymisiert) über die Auswertung von Sensoren ihrer Smartphones (Lautstärke, WiFi) wünschten, konzentrierte sich das Konzept auf manuelle Feedback-Möglichkeiten. Die getestete Version war als eine Abstimmung per Smartphone gestaltet, die von den Lehrenden während der Vorlesung durchgeführt werden musste. Dieser recht aufwändige Prozess wurde in der Folge in einem weiteren Konzept durch ein Feedbacksystem vereinfacht: Studierende geben nur noch bei Bedarf über ihr Smartphone eine Rückmeldung, die den Lehrenden auf einem Touch-Display angezeigt wird, sodass diese darauf reagieren können (bspw. Herunterregeln der Heizung über das Display).

Die Implementierung erfolgte über (virtuelle) Items in openHAB sowie über zwei separate User Interfaces für Studierende und Lehrende, die miteinander sowie mit der Raumsteuerung verknüpft waren.

1c) Für die Überwachung von sicherheitsrelevanten mobilen Einrichtungen wurde ein Konzept erstellt und prototypisch implementiert. Exemplarisch erfasst wurden Defibrillatoren, Erste-Hilfe-Kästen sowie Feuerlöscher in Bau 2 der Hochschule. Hierfür wurden die Kunststoffboxen der Defibrillatoren und Erste-Hilfe-Kästen mit Kontaktsensoren ausgestattet. Die Sensoren gaben eine Meldung an das SPUB-System aus, wenn sie geöffnet (Defibrillatoren) bzw. entfernt (Erste-Hilfe-Kästen) wurden. Bei den Feuerlöschern erwies sich diese Art von Sensorik, die auf magnetischen Relais basiert, als sehr unzuverlässig – vermutlich, da die Schaltungen durch die metallischen Körper der Feuerlöscher beeinflusst wurden. Über ein User Interface in openHAB konnte jederzeit der aktuelle Status der Einrichtungen (anwesend/abwesend) eingesehen werden. Im Rahmen der Überwachung sicherheitsrelevanter Einrichtungen wurde ein weiteres Konzept zur Schadenmeldung mittels Webformularen entwickelt. Die standardisierten Formulare richteten sich nach den Vorgaben der Technischen Abteilung der Hochschule, wurden mit openHAB verknüpft und konnten per Mobiltelefon aufgerufen, ausgefüllt und mit Fotos automatisiert an eine hinterlegte E-Mail-Adresse gesendet werden.

2a) Erfassung der Hauptzähler: Die Erfassung der Hauptzähler für Energie und Wasser erfolgte beispielhaft in Bau 2 der Hochschule. Die Zähler für Wasser und Fernwärme befinden sich im zweiten Untergeschoss, der Stromzähler ist im ersten Untergeschoss installiert. In beiden Geschossen war zum damaligen Zeitpunkt keine Netzwerkverbindung via Ethernet oder WLAN vorhanden. Beim Wasserzähler handelte es sich zudem um einen mechanischen Zähler ohne Schnittstelle, Strom- und Fernwärmezähler verfügten bereits über optische Schnittstellen (SML, M-Bus). Für die Hauptzähler der Gebäude sind die jeweiligen Netzbetreiber zuständig. Im Fall der Hochschule waren es drei verschiedene Stellen. Da der zuständige Betreiber des Fernwärmezählers einer Erweiterung des Zählers (Einbau einer entsprechenden Funkkarte in den Zähler) widersprach und es kein geeignetes Modul zur Auslese der optischen Schnittstelle am Markt gab, konnten nur der Wasser- sowie der Stromzähler erfasst werden. Als geeignete Funktechnologie wurde LoRaWAN ausgewählt, da diese Technologie ohne laufende Kosten (SIM) und auch für weitere Use Cases an der Hochschule genutzt werden konnte. Mit drei Gateways, die in Absprache mit der IT-Abteilung in das lokale Netzwerk eingebunden wurden, konnte ein LoRaWAN-Netzwerk auf dem Campus aufgebaut werden, das auch von Dritten außerhalb der Hochschule genutzt werden kann, da es Teil des offenen „The Things Network“ (TTN) ⁴ ist. Sowohl Stromzähler als auch Wasserzähler erhielten von den Netzbetreibern einen sog. Impulszähler, an den ein LoRaWAN-Kommunikationsmodul angeschlossen und für TTN konfiguriert wurde. Die Daten beider Zähler wurden verschlüsselt über TTN gesendet und über das M2M-Protokoll MQTT in openHAB eingebunden. Darüber hinaus wurde mittels Node-RED und openHAB ein Monitoring implementiert, das im Falle von Fehlfunktionen automatisiert Alerts an den Administrator via Telegram sendete.

2b) Anbindung der Fahrstühle: Die Anbindung der Aufzüge in den Gebäuden der HFT Stuttgart wurde geprüft. Die Prüfung ergab, dass keiner der in den Hochschulgebäuden eingesetzten Aufzüge vernetzt war oder entsprechend nachgerüstet werden konnte, sodass eine Integration in das SPUB-System nicht sinnvoll möglich war.

2c) Anbindung des Raumbuchungssystems: Das an der Hochschule eingesetzte Raumbuchungssystem LSF verfügt über eine SOAP-Programmierschnittstelle. Aufgrund der im Zeitfenster des Vorhabens angesetzten Einführung des Nachfolgesystems und der damit verbundenen Auslastung der zuständigen Abteilung konnte jedoch kein Zugang zur Schnittstelle für Forschungszwecke bereitgestellt werden. Eine dynamische Anbindung der Raumbuchung war somit nicht möglich. Alternativ wurde eine statische Anbindung implementiert, für die exemplarisch die semesterweise Belegung einiger Räume in Bau 2 via einer

⁴ <https://www.thethingsnetwork.org/>

automatisierten iCal-Abfrage vorgenommen und mittels eines passenden Bindings in openHAB integriert werden konnte.

3a) Installation von Bluetooth Beacons im Gebäude: Das Bereitstellen von Location Based Services in öffentlichen Gebäuden mit Bluetooth Beacons wurde in einem Konzept untersucht. Als Anwendungen wurden die Indoor-Navigation und das Angebot ortsbezogener Information betrachtet. Die aufgebauten Prototypen basierten auf fünf Bluetooth Beacons, die für den Use Case Navigation im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss von Bau 1 der Hochschule installiert wurden. Die Beacons markierten bestimmte Bereiche, wie beispielsweise den Haupteingang oder das Sekretariat. Für den Use Case ortsbezogene Information wurde ein Beacon vor einem Seminarraum in Bau 2 genutzt. Mittels Push-Nachrichten und Öffnen einer URL erhielten Smartphone-Besitzer, sobald sie den Sendebereich eines Beacons betraten, eine Nachricht, die sie zu einer in openHAB integrierten OSM-Karte (Open Street Map) mit aktuellem Standpunkt (Use Case Navigation) oder einem User Interface weiterleitete, auf dem die entsprechenden Raumsensordaten hinterlegt waren (Use Case ortsbezogene Information). Eine Ausweitung der Prototypen wurde geprüft, konnte jedoch aufgrund technischer Änderungen (vgl. 2.1.2) nicht mehr im Zeitraum des Vorhabens durchgeführt werden.

2.1.4. Externe Infrastrukturen

Ziele:

1) Konzept zur Einbindung eines E-Bike-Sharing in Kooperation mit dem iCity Teilprojekt 5.1, 2)
Integration und Visualisierung von Daten aus mindestens zwei externen Quellen, beispielsweise von der Parkraumbewirtschaftung Baden-Württemberg (Parkplätze), Luftdaten.info (Feinstaubdaten) oder von lokalen Wetterstationen mit Online-Zugriff (bspw. Weatherunderground).

Ergebnisse:

1) Es wurde ein Konzept zur Integration eines E-Bike-Sharing (Verfügbarkeit, freie Ladestationen, Link zur Buchung) in die SPUB-Plattform erarbeitet. Die Einbindung des e-Bike-Sharing wurde anschließend geprüft, konnte jedoch nicht umgesetzt werden, da das E-Bike-Sharing an der HFT Stuttgart aus versicherungstechnischen Gründen nicht wie geplant eingesetzt werden konnte. Alternativ wurden Möglichkeiten der Einbindung einer Akkuwechsel-Station, die auf dem Campus installiert werden sollte, diskutiert. Aufgrund der Corona-Pandemie verzögerte sich die Installation dieser Wechselstation jedoch, sodass sie bis zum Ende des Förderzeitraumes nicht aufgebaut werden konnte. Als Alternative wurde das an der HFT Stuttgart aufgebaute, offene LoRaWAN-Netzwerk – das sich bei Forscher*innen der HFT und in der Lehre etabliert hatte – durch die Installation leistungsstärkerer Gateways, wie sie auch von einigen kommunalen Betrieben (bspw. Stadtwerke) eingesetzt werden, verbessert. Unter Nutzung von LoRaWAN wurde dann als weiterer Use Case ein Parkplatz der Technischen Abteilung im Innenhof zwischen Bau 1 und Bau 3 der Hochschule mit einem Parkplatzsensor ausgestattet und in openHAB eingebunden.

2) Die Anbindung weiterer externer Infrastrukturen wurde geprüft:

a) Auf dem Dach von Bau 3 der Hochschule ist eine Wetterstation installiert, die vom Zentrum für akustische und thermische Bauphysik (ZfB) betrieben wird. Nach Gesprächen mit den Zuständigen erhielt SPUB den technischen Zugang zu den Daten der Wetterstation, die via HTTP abrufbar waren. Nach einem ersten erfolgreichen Test musste die geplante Vollintegration jedoch gestoppt werden, da die Wetterstation umgebaut und hierfür aus dem Netzwerk genommen wurde. Alternativ wurden die lokalen Wetterdaten aus der Weather API des Webservice OpenWeatherMap⁵ über das entsprechende Binding in das Smart Public Building integriert und visualisiert.

⁵ <https://openweathermap.org/>

b) Ergänzend zu den Wetterdaten des Webservice wurden Daten des Stuttgarter Projektes Luftdaten.info⁶, das Temperatur, Luftfeuchte sowie Luftqualität (PM10, PM2.5) über ein Citizen-Science-Sensornetzwerk misst, in das SPUB-System integriert. Da in der näheren Umgebung des Campus zum damaligen Zeitpunkt keine weiteren Luftdaten.info-Datenpunkte erhoben wurden, wurde ein Sensor des Projektes zusammengebaut, an der Fassade von Bau 2 installiert und in das lokale Netzwerk eingebunden. Dieser Sensor wurde dann über die Luftdaten.info API via HTTP mit openHAB verknüpft und die Daten auf dem User Interface des nächstgelegenen Büroraumes angezeigt, sodass Nutzer*innen bei schlechten Luftwerten im Außenbereich bspw. das Lüften verkürzen konnten.

c) Zur Einbindung der Daten des Parkhauses Hofdienergarage, das sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu Bau 2 der Hochschule befindet, fanden Gespräche mit der Parkraumbewirtschaftung Baden-Württemberg statt. Für das Vorhaben wurden die Zugänge zur technischen Schnittstelle der Parkhaus-belegung bereitgestellt. Die Daten des Parkhauses Hofdienergarage konnten darüber abgerufen und in openHAB dargestellt werden. Im weiteren Verlauf des Vorhabens hat sich die API geändert, sodass die Funktionalität nicht mehr gegeben war. Seit Ende 2020 existiert mit dem Open-Data-Portal MobiData BW⁷ der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH eine weitere Möglichkeit, Verkehrsdaten aus Baden-Württemberg abzurufen. Auch die Echtzeitdaten der Parkraumbellegung sind seit 2021 Teil der Plattform, ihre Nutzung konnte in SPUB jedoch nicht mehr getestet werden.

2.1.5. Wartung, Kontrolle, Regelwerke und Selbststeuerung

Ziele:

- 1) Erstellung von Regeln und Skripten zur Steuerung von Systemkomponenten, bspw. zur Raumverwaltung,
- 2) Erweiterungen zur Berücksichtigung selbststeuernder Tools, 3) Bereitstellung abgestufter Kontrollfunktionen über eine Benutzerkontensteuerung.

Ergebnisse:

1) Ausgehend von einer Literaturrecherche wurde eine Klassifikation von Regeln nach Anwendungskategorien in der Gebäudeautomatisierung erstellt und um eine Gewichtung bzgl. der Relevanz für öffentliche Gebäude ergänzt. Auf Grundlage der Klassifikation wurden anschließend konkrete Beispiele für Regeln aus dem Forum der openHAB Community gesammelt, typisiert und zugeordnet. Für die System- und Raumverwaltung wurden beispielhaft Regeln und Skripte erstellt und implementiert. Das Monitoring umfasste die Beobachtung der Batterieleistung der Geräte mittels Schwellwerten, den Gerätestatus bzgl. seiner Konnektivität, den Status einiger wichtiger Komponenten (bspw. sicherheitsrelevante Einrichtungen, siehe 1.1.8, oder Fenster) sowie den aktuellen Systemstatus. Ein tägliches E-Mail-Reporting wurde eingerichtet, sodass eine zeitnahe Behebung auftretender Fehlfunktionen, bspw. durch schwache Batterien, erfolgen konnte. Für das Monitoring des LoRaWAN-Netzwerkes und die Benachrichtigung im Fehlerfall wurde ergänzend Node-RED eingesetzt (siehe 2.1.3, 2a). Hier erfolgte das Alerting exemplarisch auf ein Mobiltelefon mittels Telegram.

2) Selbststeuernde Elemente: Zusätzlich zum Monitoring und Regeln zur manuellen Steuerung der Geräte eines Raumes via User Interface, wurden Regeln und Skripte zur Selbststeuerung einiger Komponenten erstellt und in einem Raum in Bau 2 der Hochschule getestet. openHAB verfügt über eine eigene Rule Engine, mit deren Hilfe sich komplexe Automatisierungsprozesse umsetzen lassen. Durch die Verknüpfung von Auslösern (bspw. Uhrzeit, Kalendereintrag, Sensorwert, Systemstart, ...) mit Aktionen lassen sich verschiedene Szenarios umsetzen. Für die Heizung wurden so beispielsweise die Steuerung nach Zeit- bzw. Stundenplan sowie die Steuerung in Abhängigkeit von gemessener Raumtemperatur und tatsächlicher Anwesenheiten (Paxcounter, Präsenzmelder) implementiert. Mit Erscheinen von openHAB 3 wurde die Rule

⁶ <https://sensor.community/de/>

⁷ <https://www.mobidata-bw.de/lv/dataset/activity/gebuedelte-parkdaten-bw>

Engine umfassend in das User Interface integriert mit dem Ziel, das Erstellen von Regeln für Anwender*innen einfacher zu gestalten. Dies hat zur Folge, dass die bis dato genutzte DSL (Domain Specific Language) zur Regelerstellung absehbar nicht mehr unterstützt werden wird. Daher wurde gegen Ende des Vorhabens eine Untersuchung zur Übertragbarkeit der in der DSL verfassten Regeln in wiederverwendbare Templates basierend auf allgemeinen Skriptsprachen (JavaScript, Jython) durchgeführt und in Teilen umgesetzt.

3) Benutzerkontensteuerung: Standardmäßig wird keine Benutzerkontensteuerung im Sinne einer Autorisierung durch openHAB bereitgestellt. Jeder Anwender und jede Anwenderin kann mit gleicher Berechtigung auf das System zugreifen. Eine Beschränkung des Zugriffs auf bestimmte Kontrollfunktionen ist jedoch für den Mehrbenutzerbetrieb erforderlich. Kontrollfunktionen sind in diesem Kontext Funktionen, die eine direkte Steuerung einzelner im System angelegter Aktoren ermöglicht. Anhand der bereits definierten Nutzerprofile soll neben der Zugriffskontrolle auf einzelne Sichten auch die Steuerung der Kontrollfunktionen geprüft werden. Ein Konzept für eine Schnittstellenlösung wurde entwickelt, die innerhalb der definierten Systemarchitektur als Proxy fungiert: Mit Hilfe einer zusätzlichen Anmeldemaske kann sich ein Anwender am System authentifizieren und anhand der zugewiesenen Nutzerrolle vollständig oder mit eingeschränktem Zugang mit dem System interagieren. Hat ein Anwender nicht die erforderlichen Rechte, eine Aktion auszuführen, verwirft das System die Anfrage und übermittelt diese nicht an das SPUB-System. Eine Umsetzung des Konzepts wäre technisch nur mit einem hohen Aufwand möglich gewesen, zudem wäre die Flexibilität der Managementplattform dadurch deutlich eingeschränkt worden. Dies führte zu dem Ergebnis, dass eine Beschränkung der Kontrollfunktionen rein über die bereits definierten Nutzerprofile, die mittels Reverse Proxy implementiert wurden (vgl. 2.1.2), vorgenommen wurde. Die Erkenntnisse zur Steuerung von Kontrollfunktionen beziehen sich auf die zum Zeitpunkt der Untersuchung aktuelle Version 2.5 von openHAB. Seit Version 3 bietet openHAB eine Token-basierte Authentifizierung, jedoch beschränkt auf die Nutzeroberfläche für Administratoren. Version 3 wurde erst zum Projektende veröffentlicht und konnte daher innerhalb der Projektlaufzeit nicht eingehend betrachtet werden.

2.1.6. Geschäftsmodell und Datenschutzbewertung

Ziele:

- 1) Entwicklung eines serviceorientierten Betreibermodells auf Basis des Business Model Canvas,
- 2) Erstellung eines Privacy Impact Assessment in Anlehnung an die RFID-Empfehlungen des BSI

Ergebnisse:

1) Basierend auf dem Business Model Canvas von Osterwalder (vgl. Osterwalder und Pigneur 2013) wurde in einem Expertenworkshop mit vier Teilnehmern des Kompetenzzentrums für Digitalisierung in Forschung, Lehre und Wirtschaft der HFT Stuttgart ein serviceorientiertes Geschäftsmodell für ein Smart Public Building aus Perspektive der Hochschule entwickelt. Es clustert die neun Building Blocks entsprechend der originalen BMC-Gitterstruktur, welche die Wertangebote mit der Infrastruktur des Unternehmens auf der einen und den Kunden auf der anderen Seite verbindet. Das Modell basiert auf Beratungsleistungen und Schulungen in verschiedenen Bereichen des Smart Public Building, wie Datenschutz, ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Technologien, Internet of Things sowie Nachrüstung von Bestandsbauten. Krüger et al. (2018) weisen darauf hin, dass die Erweiterung der klassischen Beratungskompetenzen um das „Early and Rapid Prototyping“ bei Beratungs-Geschäftsmodellen im Bereich Digitalisierung entscheidend sei, da Co-Kreation und eine frühe Überprüfung der strategischen Konzepte notwendig sind. Neben der Beratung bilden daher die Entwicklung von IoT-Prototypen und die entsprechenden openHAB-Erweiterungen für öffentliche Gebäude ein weiteres Angebot. Dargestellt und abgewickelt werden können die Leistungen über ein Steinbeis-Transferzentrums der HFT Stuttgart.

Bereits während der Entwicklung des BMC kamen mögliche Risiken und Schwächen des Geschäftsmodells zur Diskussion. Auch Osterwalder und Pigneur schlagen einen Prozess der Anwendung des Canvas vor, der nach der Erstellung des BMC vorsieht, die Geschäftsmodellinnovation hinsichtlich ihrer Stärken, Schwächen,

Chancen und Risiken (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats – SWOT) zu evaluieren. In Ergänzung zum BMC Smart Public Building wurde daher eine allgemeine SWOT-Analyse erstellt, die in einer Unternehmens-, Markt- und Umfeldanalyse die Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken des Geschäftsmodells betrachtet. Schwächen und Risiken des Konzepts liegen vor allem in der Akquise von qualifiziertem IT-Personal sowie in fehlenden Ressourcen für Vertrieb und Marketing, um das Angebot am Markt bekannt zu machen. Zu den Stärken zählen das vorhandene Know-how und die Referenzinstallationen an der Hochschule basierend auf herstellerunabhängigen Lösungen. Neue IoT-Technologien können so in einem sozialen und technischen Umfeld wertungsfrei auf ihre Eignung hin untersucht werden, was insbesondere für öffentliche Auftraggeber attraktiv sein dürfte. Bei der Betrachtung des Umfeldes stellt die Digitalisierung in der Gebäudeautomation eine Chance dar, da sie Möglichkeiten zur Energie- und CO₂-Einsparung in (öffentlichen) Gebäuden bietet. Für eine weiterführende, detailliertere Analyse auf Basis der einzelnen Building Blocks, wie Osterwalder und Pigneur es in Ergänzung zur allgemeinen Analyse vorschlugen, fehlen Erfahrungswerte, da es sich lediglich um ein erstes Konzept für ein Geschäftsmodell handelt.

2) Projektbegleitend wurden mehrere Gespräche mit dem damaligen Datenschutzbeauftragten der Hochschule geführt. Das Vorhaben und die geplanten Installationen (Technologien, Umfang, Dauer, Zweck der Datenerhebung) wurden mit ihm besprochen und in der Folge eine Verfahrensbeschreibung nach §11 des Landesdatenschutzgesetzes Baden-Württemberg erstellt. Eine Datenschutzfolgeabschätzung (DSFA) wurde nicht erforderlich, da es sich nach Einschätzung des Datenschutzbeauftragten bei den im Projekt erhobenen, verarbeiteten und gespeicherten Daten nicht um persönliche Daten handelte. Alternativ wurde auf Grundlage einer Literaturrecherche eine allgemeine Untersuchung zum Thema Datenschutz in smarten öffentlichen Gebäuden durchgeführt mit dem Ziel, die Grundlage für eine Empfehlung zur datenschutzkonformen Einführung neuer Technologien in öffentlichen Gebäuden zu schaffen. Methodisch orientierte sich die Untersuchung an den RFID-Empfehlungen des BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2011), die mittels Entscheidungsbaum-Analyse feststellen, ob und in welchem Detailgrad bei der Einführung einer neuen Technologie oder Änderung eines bestehenden datenverarbeitenden Systems eine DSFA durchgeführt werden muss. Es wurden exemplarisch einige der in smarten Gebäuden einsetzbaren Technologien und Anwendungen (bspw. WLAN, Bluetooth, RFID, Präsenzmeldung, Videoüberwachung) betrachtet, Entscheidungsbäume für diese Technologien und Anwendungen erstellt sowie Handlungsempfehlungen für Betreiber und Nutzer daraus abgeleitet.

2.1.7. Projektmanagement, Dissemination und Anwenderintegration

Ziele:

- 1) Interne Projektabwicklung, Dissemination und Integration in das Gesamtkonzept iCity, 2) Organisation Anwender- und Entwicklerworkshops, Planung und Durchführung einer akademischen Konferenz,
- 3) Integration von interessierten User Groups sowie Studierenden und anderen Stakeholdern

Ergebnisse:

1) Die interne Projektabwicklung wurde durch einen 14-tägigen Jour fixe mit der Leitung und den Projektmitarbeitern strukturiert, der dem Austausch über aktuelle Fortschritte, Herausforderungen und der weiteren Planung diente. Die Dokumentation des Arbeitsstandes erfolgte im Wesentlichen über die Wiki-Software Confluence der HFT Stuttgart. Zwischenergebnisse und Entwicklungstätigkeiten wurden darüber hinaus im internen GitLab versioniert sowie im Transferportal des M4Lab veröffentlicht. Ein Projektsteckbrief und weiterführende Informationen zum Forschungsvorhaben wurden zudem auf der Website der HFT Stuttgart veröffentlicht. Die wissenschaftliche Dissemination erfolgte durch Vorträge auf nationalen und internationalen Konferenzen und die Publikation in den entsprechenden Konferenzbänden. Die Vorstellung des Projektes sowie der anhängigen Themen erfolgte darüber hinaus auch im Rahmen von nicht-wissenschaftlichen Veranstaltungen, wie dem Smart Public Building Summit (2018), dem Tag der Informationslogistik an der Hochschule für Technik Stuttgart (2018 und 2019) sowie bei einem Workshop

zur Smart City Solingen (2020). Weiterhin wurden regelmäßig Beiträge über das Vorhaben im Stallgeflüster – der hochschuleigenen Zeitschrift – sowie auf der Website der Hochschule veröffentlicht. Eine vollständige Übersicht ist unter 2.6 gelistet.

An das iCity Management und den Projektträger wurden regelmäßig Erfolgskontrollberichte und Zwischenberichte erstattet. Zur Integration des Projektes in das Gesamtkonzept iCity wurden die Forschungsthemen und Ergebnisse zudem auf den iCity Beiratssitzungen, in Lenkungskreisen und auf der Abschlusskonferenz vorgestellt. Auch für intern organisierte Strategie-Workshops und externe Veranstaltungen im Themenbereich von iCity, wie die Vortragsreihe des Dialogforum Region Stuttgart zur Zukunftsstadt oder den studentischen Workshop Gründermotor Zünder, haben Leitung und Mitarbeiter*innen des Vorhabens SPUB Beiträge geleistet.

2) Es wurde eine eintägige akademische Konferenz „Smart Public Building“ an der HFT veranstaltet, an der etwa 40 Interessierte aus Wissenschaft und Wirtschaft teilnahmen. Neben den Beiträgen externer Forscher*innen und Kolleg*innen der HFT Stuttgart wurden auf dieser Konferenz in drei Vorträgen auch Zwischenergebnisse aus dem Forschungsvorhaben vorgestellt und diskutiert (vgl. 2.6). Alle Beiträge sind in einem digitalen Konferenzband im Open Access veröffentlicht worden.⁸ Weiterhin wurden ein openHAB Entwickler- und ein Anwenderworkshop an der Hochschule organisiert und durchgeführt, an denen etwa 30 Personen aus Wissenschaft, Wirtschaft und der Zivilgesellschaft teilnahmen. Geleitet wurden die Workshops von zwei Experten der openHAB-Community.

3) Die Integration interessierter User Communities erfolgte durch Beiträge im openHAB-Forum, im openHAB Slack-Channel und durch die aktive Teilnahme an den Smart Home Days der openHAB Foundation. Darüber hinaus wurden die Projektinhalte und Zwischenergebnisse auf verschiedenen Meetups in der Region Stuttgart (The Things Network, IoT und Industrie 4.0, CodeDoor) sowie auf der Free and Open Source Software Conference (FrOSCon) vorgestellt. Ein Meetup des The Things Network Region Stuttgart zu den Potenzialen von LoRaWAN in öffentlichen Gebäuden wurde an der HFT Stuttgart organisiert. Neben einem projektbegleitenden Erfahrungsaustausch haben sich Mitglieder der TTN-Community zur Anbindung der Hauptzähler (vgl. 2.1.3) aktiv eingebracht.

Innerhalb der Hochschule haben sich während des Vorhabens gute Kontakte zum Umweltmanagement etabliert und das Projekt „Smart Public Building“ wurde bei einem EMAS-Auditing vorgestellt. Durch die regelmäßige Einbindung der Technischen Abteilung sowie der Informationstechnischen Dienste in das Vorhaben konnte eine Vertrauensbasis geschaffen werden, sodass sich die teilweise aufwendigen Installationen der technischen Systeme im Projektverlauf gut durchführen ließen. Eine Liste der Zusammenarbeit mit internen und externen Stellen findet sich unter 1.5. Im Rahmen einer hochschulinternen Kooperation mit Studierenden und weiteren Forscher*innen und Mitarbeiter*innen ist zudem eine CO₂-Ampel zum bedarfsgerechten Lüften an der Hochschule entwickelt worden, deren Dokumentation und Quellcode öffentlich zur Verfügung steht.⁹

Studierende der Hochschule wurden durch die regelmäßige Ausgabe von Themen für der Abschluss- und Seminararbeiten und ihre Betreuung in den Studiengängen Informationslogistik, Umweltorientierte Logistik, Photogrammetry and Geoinformatics sowie Software Technology in das Forschungsvorhaben involviert. Folgende Arbeiten mit direktem Bezug zum Vorhaben wurden durchgeführt:

⁸ https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/smartpublicbuilding/publications/-/blob/master/Conference_Proceedings_SPUB_2018.pdf

⁹ <https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel>

Seminararbeiten:

- Daniel Merz, Moritz Sambeth, Benjamin Hueber (2020): HFTgoesGREEN. CO2-Ampel für Vorlesungs- und Seminarräume an der HFT Stuttgart
- Marvin Lichtenfeld, Robin Frech (2019): Entwicklung eines Parkplatzüberwachungssensors mit Energy Harvesting
- Hendrik Höing, Marius Scherff (2017): Aufbau eines Sensornetzwerks sowie Messung, Visualisierung und Analyse der Sensordaten mittels openHAB

Bachelorarbeiten:

- Lisa Kipfer (2021): Regelwerk zur automatisierten Steuerung eines Vorlesungsraumes auf Basis der Smart-Home-Plattform openHAB
- Merita Berisha (2020): Smart Industrial Buildings: Bestandsaufnahme, Analyse von Anforderungen und Anwendungspotentialen in Gebäuden im industriellen Umfeld am Beispiel der Metropolregion Stuttgart
- Kenan Ercan (2020): Passenger Flow Metering in einem Smart Public Building
- Arzu Sahin (2019): Ermittlung einer Handlungsanleitung für die Datenschutz-Folgenabschätzung im smarten öffentlichen Gebäude
- Kai Philipp Müller (2019): Automatische Anwesenheitserkennung von Personen (Studierenden) in öffentlichen Gebäuden: Technische Möglichkeiten, Einsatzszenarien und datenschutzrechtliche Einschränkungen
- Marius Scherff (2019): Smart Meter Anwendungen in openHAB für öffentliche Gebäude – Konzeption und prototypische Umsetzung
- Benjamin Wohlfarth (2018): Automatisierung öffentlicher Gebäude durch die Einbindung einer App-gesteuerten Abstimmung in die openHAB Heimsteuerung
- Markus Kulas (2018): Konzeption und Integration einer Anwendung zur Erfassung und Verwaltung von Schäden in öffentlichen Gebäuden mittels Smartphones in openHAB
- Claudia Kieckeben (2018): Konzeption und Umsetzung einer intelligenten Ladestation mit integriertem Abrechnungssystem
- Nikolai Noller (2018): Konzeption, Entwicklung und Test einer Smart Lecture Room Anwendung mit der Einbindung in OpenHAB und der Visualisierung in HABPanel
- Andreas Jäkel (2018): Location Based Services für die kontextbasierte Visualisierung von Sensordaten in öffentlichen Gebäuden
- Jens Hilgert (2018): Anwendung zur Erfassung sicherheitsrelevanter Einrichtungen in Gebäuden mit Einbindung in openHAB
- Marius Böhm (2018): Integration von Location Based Services auf Basis von Bluetooth Beacons und openHAB in öffentlichen Gebäuden
- Nicola Fiedler (2017): Bestandsaufnahme, Analyse von Anforderungen und Anwendungspotentialen in öffentlichen Gebäuden am Beispiel der Stadt Stuttgart

Masterarbeiten:

- Alexander Dobler (2019): Adaption of the openHAB Smart Home System for Usage in Public Institutions with Multiple Buildings
- Marc Philipp Jensen (2019): Evaluation and Implementation of a Web-based 2D/3D Visualization for Smart Building Control

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Den wesentlichen Kostenfaktor stellte die Beschäftigung einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin sowie ihrer Elternzeitvertretungen im Umfang von einer E13-Stelle sowie die Finanzierung von wissenschaftlichen Hilfskräften zur Unterstützung der umfangreichen Installationsarbeiten dar. Größere Positionen entfielen zudem auf Sachmittel für Endgeräte, Sensoren, Aktoren und Gateways, die an der Hochschule verbaut wurden. Auch Installationsarbeiten, die von externen Dienstleistern durchgeführt werden mussten, wie die Montage und der elektrische sowie informationstechnische Anschluss des Bluetooth-basierten Ortungssystems an der Hochschule für Technik, zählen dazu. Weiterhin wurden mit den Mitteln die Durchführung einer akademischen Konferenz an der Hochschule sowie von zwei openHAB-Workshops in 2018 ermöglicht. Die über die gesamte Projektlaufzeit angefallenen Kosten sind dem Verwendungsnachweis zu entnehmen.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht den im Projektantrag dargestellten Vorhaben. Die Fokussierung von Smart Public Building auf den Einsatz von drahtlosen smarten Technologien für öffentliche Gebäude am Beispiel einer Hochschule war so bisher einmalig. Es handelte sich bei dem Vorhaben um ein Pilotprojekt, in dem das Potenzial dieser smarten Technologien und offener Software für öffentliche Gebäude erforscht wurde, ohne eine frühzeitige Bindung mit einem Technologielieferanten einzugehen. Der offene Umgang mit möglicherweise auftretenden Problematiken in Bezug auf die zu untersuchenden Technologien oder ihren sozialen Folgen (Datenschutz) sollte frei von wirtschaftlichen Interessen sichergestellt werden. Die (Zwischen-)Ergebnisse des Vorhabens wurden soweit wie möglich im Open Access veröffentlicht und regelmäßig auf anwendungsbezogenen Veranstaltungen in der Region vorgestellt. Durch die Verwendung der Ergebnisse in Folgeprojekten mit öffentlichen Partnern (Stadt, Stadtwerke) kommen die Arbeiten mittelfristig wie vorgesehen Ländern und Kommunen mit ihren öffentlichen Gebäuden zu Gute. Somit war die geleistete Arbeit aus mehrfacher Sichtweise angemessen und im öffentlichen Interesse.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen vor allem öffentlichen Einrichtungen zu Gute kommen, die sich mit dem Einsatz von innovativen Technologien im Sinne eines Smart Public Buildings auseinandersetzen. Die wirtschaftlichen Potenziale liegen im Bereich der Einsparungen durch geringere Energieverbräuche, eine bessere Raumauslastung und geringere Technologiekosten durch den Einsatz von Open-Source-Software. Gespräche und Präsentationen des Projektes während der Laufzeit haben gezeigt, dass insbesondere öffentliche Träger wie Städte, Kommunen oder Stadtwerke ein hohes Interesse an der flexiblen Nachrüstung von Bestandsgebäuden mit smarten Technologien und Open-Source-Software haben.

Durch die Nutzung und den Ausbau eines Open-Source-Systems für öffentliche Gebäude sind die Chancen zur weiteren Verbreitung der Ergebnisse sehr gut. Anwendungspotenziale finden sich zudem für industrielle Anwender, deren Anforderungen an ein smartes Gebäude in vielen Bereichen Ähnlichkeiten aufweisen. Auf wissenschaftlicher Ebene haben die durchgeführte Konferenz sowie die Vorträge und Veröffentlichungen im Open Access zur Verbreitung der Ergebnisse beigetragen. In der Lehre wurden und werden die Ergebnisse des Vorhabens vor allem in den Studiengang Informationslogistik sowie in den Masterstudiengang Umweltorientierte Logistik eingebracht. In Anlehnung an das Vorhaben wurden darüber hinaus zahlreiche Seminar- und Abschlussarbeiten durchgeführt (siehe 2.1.7).

Die Ergebnisse fließen weiterhin in Impulsprojekten der iCity-Intensivierungsphase ein, wo sie gemeinsam mit externen Partnern weiterentwickelt werden. Zwei Folgeprojekte mit direktem Bezug zu SPUB sind bereits angelaufen, zwei weitere Vorhaben befinden sich derzeit in der Antragsphase (siehe Erfolgskontrollbericht, c). Die Ergebnisse werden derzeit außerdem in eine geplante, neue Vorlesung im Studiengang Informationslogistik zum Internet der Dinge eingearbeitet. Im Projekt entwickelte

Lösungsansätze wurden in den Git-Repositories der HFT Stuttgart (intern und je nach Reifegrad auch extern über das Transferportal des M4Lab) dokumentiert und öffentlich zugänglich gemacht. Beide Repositories sollen im Rahmen der Folgeprojekte in iCity überführt und weiter ausgebaut werden.

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Vorhabens wurde in der aktuellen Literatur regelmäßig nach ähnlich gelagerten Forschungsarbeiten recherchiert sowie ein wissenschaftlicher Austausch auf Konferenzen und anderen Veranstaltungen im praktischen Umfeld gepflegt. Auf dem Gebiet der smarten öffentlichen Gebäude (Architektur verteilter Smart-Home-Systeme, vgl. 2.1.2) konnte auf eine Arbeit der Universität Tübingen aufgebaut werden (Heimgaertner et al. 2017), andere Arbeiten berührten lediglich Teilaspekte des vorliegenden Vorhabens, etwa den Einsatz von openHAB in Lehre und Forschung:

Stelle	Bezug zum Vorhaben
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik	Smart-Home-Labor und Forschungsarbeiten im Bereich Smart Home mit openHAB; Projekt: ForeSight - Plattform für kontextsensitive, intelligente und vorausschauende Smart-Living-Services
Universität Tübingen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze	Forschungsarbeiten im Bereich Smart Home mit openHAB; Projekt: Scaling Home Automation to Public Buildings: A Distributed Multiuser Setup for OpenHAB 2
Ruhr-Universität Bochum Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft	Smart-Home-Labor und Forschungsarbeiten im Bereich Smart Home mit openHAB; Projekt: Entwicklung und Erprobung eines Intervention-User-Interfaces für die Bereiche SmartHome/Ambient-Assisted-Living (AAL)
Technische Universität Berlin, Institut Wirtschaftsinformatik und quantitative Methoden, Information Systems Engineering	Einsatz von openHAB in Forschungs- und Studierendenarbeiten: Designing Suitable Access Control for Web-Connected Smart Home Platforms; openHAB Binding opensense.network
Technische Hochschule Deggendorf, Technologie Campus Cham	Einsatz von openHAB in Forschungs- und Studierendenarbeiten; Projekte zur Steuerung von Geräten im Smart Home für körperlich eingeschränkte Personen
Hochschule Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik	Einsatz von openHAB in Forschungs- und Studierendenarbeiten; Studienarbeit: Zähler auslesen mit dem Raspberry Pi, um hohe Verbräuche zu detektieren

2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Wissenschaftliche Vorträge und Veröffentlichungen:

- D. Uckelmann (Ed.). (2018). Smart Public Building 2018. Conference Proceedings (Vol. 156). ISBN: 978-3-940670-66-3. Open Access¹⁰.
- Dobler, Alexander; Uckelmann, Dieter; Lückemeyer, Gero (2018): Simplify openHAB Utilization in Public Institutions Using Cloud Technologies. In: Dieter Uckelmann (Hg.): Smart Public Building 2018. Conference Proceedings (Vol. 156). S. 31–42.
- Jensen, Marc Philipp; Uckelmann, Dieter; Coors, Volker (2018): Evaluation and implementation of a web-based 2D/3D visualization for smart building control. State of the art and challenges. In: Dieter Uckelmann (Hg.): Smart Public Building 2018. Conference Proceedings (Vol. 156). S. 71–80.
- Uckelmann, Dieter; Wohlfarth, Benjamin; Guedey, Myriam (2018): Smart Public Building. Challenges and First Findings. In: Dieter Uckelmann (Hg.): Smart Public Building 2018. Conference Proceedings (Vol. 156). S. 1–14.
- Guedey, M., Uckelmann, D. (2019) Smart Home Goes Public – Retrofitting Public Buildings with Smart Home Technologies and Open-source Software. In: Proceedings of CHANCES: Practices, spaces and buildings in cities' transformation, Bologna, 2019, S. 356-367. DOI 10.6092/unibo/amsacta/6596.
- Guedey, M., Uckelmann, D. (2019): Using Open-source Software in a Smart Public Building. Free and Open Source Conference (FrOSCon), 10. August 2019, Siegburg-Bonn. Vortrag im Science Track. Open Access¹¹.
- Guedey, M.; Pfeiffer, A.; Uckelmann, D. (2020): Transferring Research on IoT Applications for Smart Buildings into Engineering Education. 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Porto, Portugal. Open Access. DOI: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125150.
- Guedey, M.; Uckelmann, D. (2020): Exploring Smart Public Buildings Towards Sustainability. ICT4S 2020 – 7th International Conference on ICT for Sustainability, 21.-27. Juni 2020, Bristol, United Kingdom. Poster-Präsentation. Open Access¹².
- Guedey, M.; Uckelmann, D. (2020): Exploring Smart Home and Internet of Things Technologies for Smart Public Buildings. IoT '20: Proceedings of the 10th International Conference on the Internet of Things, Malmö, Sweden. Open Access. DOI: 10.1145/3410992.3411009.

Wissenschaftliche Konferenzen als Organisator und Gastgeber:

- 19.-20.10.2018, Smart Public Building 2018 - Akademische Konferenz zu smarten öffentlichen Gebäuden, Hochschule für Technik Stuttgart. Etwa 40 Teilnehmer*innen aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Anwendungsbezogene Veranstaltungen als Organisator und Gastgeber:

- 20.10.2018, Zwei Workshops zur Anwendung von und Entwicklung für openHAB, Hochschule für Technik Stuttgart. Etwa 30 Teilnehmer*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und der interessierten Bevölkerung.
- 11.07.2019, Meetup „The Things Network Region Stuttgart“, Community-Treffen zu offenen LoRaWAN-Netzwerken und Use Cases für eine Smart and Open Region, Hochschule für Technik Stuttgart. Etwa 15 Teilnehmer*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und der interessierten Bevölkerung.

¹⁰ https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/smartpublicbuilding/publications/-/blob/master/Conference_Proceedings_SPB_2018.pdf

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=v18V4C3F-6s>

¹² https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/smartpublicbuilding/publications/-/blob/master/Poster_ICT4S_2020.pdf

Vorträge auf anwendungsbezogenen Veranstaltungen:

- Uckelmann, D.: Vom Internet der Dinge zu smarten Gebäuden. Vortrag im Rahmen der iCity-Reihe zur LINStadt an der IHK am 28.07.2020, Stuttgart.
- Guedey, M.: Vortrag zum Projekt Smart Public Building, Workshop Modellprojekte Smart Cities, 5. - 6. Februar 2020, Solingen.
- Guedey, M.: Smart Public Building. Industrie 4.0 und IoT Meetup, 28. Mai 2019, Steinenbronn.
- Guedey, M.: Smart Home goes Public. Anwendungsorientierte Forschung an der HFT Stuttgart. Smart Home Day der openHAB Foundation, 25. Mai 2019, Darmstadt.
- Guedey, M.: Smart Home goes Public. Anwendungsorientierte Forschung an der HFT Stuttgart. 12. Tag der Informationslogistik, 16. Mai 2019, Hochschule für Technik Stuttgart.
- Uckelmann, D.: Smart Public Buildings. 11. Tag der Informationslogistik, 19. April 2018, Hochschule für Technik Stuttgart.
- Uckelmann, Dieter; Wohlfarth, Benjamin (2018): Smart Public Building. Smart Building Summit 2018. WEKA Fachmedien GmbH, 15.05.2018, Stuttgart. Vortrag und Publikation.

Weitere Veröffentlichungen in nicht-wissenschaftlichen Medien:

- CO2-Ampel: Lüften gegen Covid-19. Wissenschaftler bauen CO2-Ampeln für Räume an der HFT. Artikel auf der HFT-Website, 26. November 2020.
- Informationslogistik für die intelligente Stadt, Artikel im Stallgeflüster 54, November 2020.
- Informationslogistik für die intelligente Stadt. Digitalisierung als Chance für Städte, Quartiere und Gebäude. Artikel auf der HFT-Website, 4. August 2020.
- LoRaWAN an der HFT Stuttgart. Artikel im Stallgeflüster 52, September 2019.

3. Literaturverzeichnis

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Hg.) (2011): Privacy Impact Assessment Guideline for RFID Applications. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/PIA/Privacy_Im, zuletzt geprüft am 20.12.2021.

Heimgaertner, Florian; Hettich, Stefan; Kohlbacher, Oliver; Menth, Michael (2017): Scaling home automation to public buildings: A distributed multiuser setup for OpenHAB 2. In: 2017 Global Internet of Things Summit (GloTS). 2017 Global Internet of Things Summit (GloTS). Geneva, Switzerland, 06. - 09.06.2017: IEEE, S. 1–6.

Krüger, Nicolai; Teuteberg; Frank (2018): Consulting Business Models in the Digital Era. In: Paul Drews (Hg.): Data driven X. Turning data into value: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2018: Leuphana Universität, 6.-9. März 2018, Bd. 3. Lüneburg: Leuphana Universität, S. 1273–1284.

Kuckartz, Udo (2014): Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Springer eBook Collection). Online verfügbar unter <http://link.springer.com/978-3-531-93267-5>.

Mayer, Horst Otto (2013): Interview und schriftliche Befragung. Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung. 6., überarbeitete Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag (Sozialwissenschaften 10-2012).

Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves (2013): Business model generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. New York: Wiley&Sons.

Sultan Dag (2003): Methoden empirischer Sozialforschung. Online verfügbar unter <http://forge.fh-potsdam.de/~stadtentwicklung/sozialforschungreferat>, zuletzt geprüft am 20.12.2016.