

Konzeption und prototypische Umsetzung
einer Steuerzentrale eines smarten Büros mit
dem Fokus einer einfachen Handhabung der
formalisierten Interaktionen für
Softwareentwickler

MASTER-THESIS

für die Prüfung zum
Master of Science
des Studienganges Professional Software Engineering
an der
Knowledge Foundation @ Reutlingen University

von

Mikka Jenne

Abgabedatum 31. August 2022

| | |
|----------------------|-------------------------------------|
| Bearbeitungszeitraum | 24 Wochen |
| Teilnehmernummer | 800864 |
| Kurs | PSEJG20 |
| ErstprüferIn | Prof. Dr. Natividad Martinez Madrid |
| ZweitprüferIn | Dr. Robin Braun |



Zusammenfassung

Augmented Reality ist eine Technologie, die dem Nutzer ein visuelles Erlebnis mit einer angereicherten Welt voller virtueller Objekte ermöglicht. Das Resultat, eine Kombination aus Realität und Virtualität, bietet dem Benutzer eine neue Art der Wahrnehmung der Gegenwart.

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Konzeption und Umsetzung eines industriellen Assistenzsystems unter Verwendung der Augmented Reality Technologie. Dabei soll die Umgebung mit Hilfe des SLAM Verfahrens analysiert werden, um auf dieser Basis dreidimensionale Objekte als Referenz zu realen Objekten im Raum virtuell platzieren zu können. Durch die entstehende Visualisierung können Informationen zu den jeweiligen Objekten in eine Datenbank eingetragen und angezeigt werden, dadurch kann das Überwachen von Industriemaschinen vereinfacht werden.

Zu dem Konzept gehört sowohl die Ausarbeitung der grundlegenden Softwarearchitektur, als auch ein allgemein-gültiges Datenmodell zur Persistierung der generierten Daten. Für die bestmögliche Umsetzung der Augmented Reality Experience werden hierzu bereits schon bestehende Frameworks und Software Development Kits, beispielsweise Google ARCore, verwendet.

Der entstandene Prototyp ist ein eigenständiges System. Die Architektur ist modular aufgebaut, um eine stetige Weiterentwicklung zu gewährleisten.

Abstract

Augmented Reality is a technology that enables the user to have a visual experience with an enriched world full of virtual objects. The result offers the user a new way of perceiving surrounding as an Combination of reality and virtuality.

This bachelor thesis deals with the conception and implementation of an industrial assistance system using augmented reality technology. The environment can be analyzed with the help of the SLAM method in order to be able to place three-dimensional objects virtually as a reference to real objects in space. The resulting visualization enables information on the respective objects to be entered in a database and displayed, which enables the simplified monitoring of Industrial machines.

The concept includes the development of the basic software architecture as well as a generally applicable data model for saving the generated data. Already existing frameworks and software development kits where used for the best possible implementation of the augmented reality experience as Google ARCore.

The created prototype is an standalone system. The architecture is modular in order to ensure continuous further development.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Forschungsfragen | 4 |
| 1.3 Zielsetzung der Arbeit | 4 |
| 1.4 Forschungsstrategie und Forschungsmethoden | 4 |
| 1.4.1 Experteninterview | 5 |
| 1.4.2 Systematisches Literaturreview | 5 |
| 1.4.3 Usability-Test | 5 |
| 1.5 Aufbau der Arbeit | 6 |
| 2 Grundlagen | 8 |
| 2.1 Internet der Dinge | 8 |
| 2.1.1 Paradigmen und Kommunikationsmodelle | 13 |
| 2.1.2 Historische Entwicklung | 14 |
| 2.1.3 Ziele von IoT | 15 |
| 2.2 Smart Home | 16 |
| 2.2.1 Smart Office - Intelligentes Büro | 20 |
| 2.2.2 Historische Entwicklung | 21 |
| 2.2.3 Ziele von Smart Home | 22 |
| 2.3 Technologien | 23 |
| 2.3.1 Übertragungsmethoden | 23 |
| 2.3.2 MQTT | 24 |
| 2.3.3 AMQP | 27 |
| 2.4 Home Assistant | 28 |
| 2.4.1 Konzept und Architektur | 29 |
| 2.4.2 Ziele und Schwerpunkte | 31 |
| 2.4.3 Stärken und Schwächen | 32 |
| 2.4.4 Optionen der Regel- und Automatisierungserstellung | 33 |
| 2.5 openHAB | 34 |
| 2.5.1 Konzept und Architektur | 35 |
| 2.5.2 Ziele und Schwerpunkte | 39 |
| 2.5.3 Stärken und Schwächen | 39 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.5.4 | Optionen der Regel- und Automatisierungserstellung | 40 |
| 2.6 | Vergleich von Home Assistant und openHAB | 41 |
| 3 | Stand der Technik | 42 |
| 3.1 | Systematisches Literaturreview | 42 |
| 3.1.1 | Ziele des Systematischen Literaturreviews | 42 |
| 3.1.2 | Suchstrategie- und anfragen | 42 |
| 3.1.3 | Datenextraktion und Synthese | 45 |
| 3.2 | Zusammenfassung | 45 |
| 3.2.1 | Publikationen | 46 |
| 3.2.2 | Stand der Technik aus Nutzer- und Produktsicht | 48 |
| 4 | Anforderungsanalyse | 50 |
| 4.1 | Marktanalyse | 50 |
| 4.1.1 | Allgemeine Marktsituation und Marktprognose | 51 |
| 4.2 | Zielgruppenanalyse | 55 |
| 4.2.1 | Ziel der Zielgruppenanalyse | 55 |
| 4.2.2 | Zielgruppendefinition | 55 |
| 4.2.3 | Zielgruppe | 56 |
| 4.3 | Anwendungsfälle - Use Cases | 58 |
| 4.3.1 | Check-in mit einem Service-Roboter | 59 |
| 4.3.2 | Notfall-Evakuierung mit einem Service-Roboter | 63 |
| 4.4 | Experteninterview | 66 |
| 4.4.1 | Ziel des Experteninterviews | 66 |
| 4.4.2 | Aufbau des Experteninterviews | 66 |
| 4.4.3 | Zusammenfassung der Experteninterviews | 67 |
| 4.5 | Anforderungen | 67 |
| 5 | Konzeption | 70 |
| 5.1 | Ziel der Konzeption | 70 |
| 5.2 | Anwendungsumfeld | 71 |
| 5.3 | Konzept | 72 |
| 5.3.1 | Konzeptkomponenten | 72 |
| 5.3.2 | Sichtweisen | 73 |
| 5.4 | Architekturkonzept | 78 |
| 5.4.1 | Aufbau des Frameworks | 79 |
| 5.4.2 | Kommunikationsschicht | 81 |
| 5.4.3 | Logik- und Prozessschicht | 83 |
| 6 | Umsetzung | 85 |
| 6.1 | Auswahl des Frameworks | 85 |
| 6.1.1 | OSGi | 86 |
| 6.1.2 | Spring | 86 |

| | | |
|-----------------------------|--|--------------|
| 6.2 | Implementierung | 87 |
| 6.2.1 | Generische Programmierung | 87 |
| 6.2.2 | Zustandsraum | 89 |
| 6.2.3 | Reflection | 90 |
| 6.2.4 | Transformation | 90 |
| 6.2.5 | Inverse Transformation | 94 |
| 6.2.6 | Regeldefinition | 95 |
| 6.2.7 | Parallelisierung | 96 |
| 6.2.8 | Regelwerk -und management | 96 |
| 6.2.9 | Implementierung von Anwendungsfällen | 97 |
| 6.3 | Fazit der prototypischen Implementierung | 98 |
| 6.3.1 | Modellierungsvorgaben und -grenzen | 98 |
| 7 | Evaluation | 99 |
| 7.1 | Usability-Test | 99 |
| 7.1.1 | Ziel des Usability-Tests | 99 |
| 7.1.2 | Durchführung des Usability-Tests | 99 |
| 7.1.3 | Fazit | 101 |
| 7.2 | Experten Interview | 101 |
| 7.2.1 | Ziele des Experten Interviews | 101 |
| 7.2.2 | Fazit | 101 |
| 7.3 | Evaluation der Anforderungen | 101 |
| 7.4 | Evaluation der Forschungsfrage | 101 |
| 8 | Fazit | 102 |
| 9 | Ausblick | 103 |
| Index | | I |
| Literaturverzeichnis | | VI |
| Anhang | | VI |
| A | | VI |
| B | | VII |
| C | | IX |
| D | | X |
| E | | XIV |
| F | | XVIII |

Kapitel 1

Einleitung

Die folgende Master-Thesis befasst sich mit der Konzepterstellung einer zentralen Steuerzentrale, die dem Entwickler die formalen Interaktionen, weitere Funktionen hinzuzufügen, erleichtern soll. Hierfür werden bereits bestehende Plattformen für Smart Home analysiert und daraus ein Konzept erstellt, die den Anforderungen entsprechend einen größeren Mehrwert in der Weiterentwicklung der Plattform bietet. Die Umsetzung des ausgearbeiteten Konzeptes wird nur in sehr geringem Maß behandelt.

In diesem Teil der Arbeit wird auf die Motivation des Themas eingegangen. Darüber hinaus werden sowohl die Forschungsfragen als auch die Zielsetzung der Arbeit genauestens dargelegt. Darauf folgend findet eine Übersicht über die Arbeit im Gesamten statt, mit der die Inhalte angerissen werden. Eine nähere Betrachtung des Standes der Technik untermauert die Beweggründe dieser Themenwahl und Ausarbeitung dessen.

1.1 Motivation

Jede neu entwickelte Technologie durchlebt im Laufe der Entstehung und Publikation ein enormes Aufsehen. So lange bis diese Technik eine standardisierte Verwendung in der Gesellschaft findet oder sich als unpraktikabel erweist und nicht weiter vorangetrieben oder eingestellt wird. Es wird in der Zeit des Aufkommens und der Forschung viel darüber fantasiert, debattiert und geplant, ohne jedoch die Ausmaße und Resultate der Forschungen und Praktiken abwägen zu können. Durch fehlende Erfahrung und nicht ausgereifte Konzepte werden Höhepunkte und Illusionen erwartet, die zu diesem Zeitpunkt technisch nicht umsetzbar sind. Um solche kühnen Versprechungen und Übertreibungen, sogenannte Hypes, die jede neue technologische Idee mit sich bringt, von dem zu differenzieren was wirtschaftlich umsetzbar ist, werden bestimmte Phasen der Entwicklung durchlaufen. [GARTNER 2022]

Die oben erwähnten Phasen der Entwicklung sind in einem sogenannten Hype-Zyklus, engl. Hype-Cycle, dargestellt. Dieser Zyklus ist ein visualisiertes Modell, das die Entwicklung einer neuen Technologie von der Innovation und Entstehung über die Forschung und Umsetzung bis hin zur ausgereiften Marktfähigkeit repräsentiert und so diese Phasen der Entwicklung versinnbildlicht.

Entwickelt wurde der Hype Cycle von der Gartner Inc. Forschungsgruppe. Durch die Mitarbeiterin Jackie Finn wurden die Definitionen der Entwicklungsphasen¹ geprägt. Diese sind wie folgt in fünf Phasen dargestellt:

1. *Innovationsauslöser, engl. Innovation Trigger*: Ein potentieller technologischer Durchbruch löst die Dinge aus. Frühe Proof-of-Concept (PoC) Ansätze und ein großes Medieninteresse lösen eine erhebliche Publizität aus. Oft gibt es keine brauchbaren Produkte und die Marktreife ist nicht bewiesen. [GARTNER 2022]
2. *Höhepunkt überhöhter Erwartungen, engl. Peak of Inflated Expectations*: Frühe Publizität bringt eine Reihe von Erfolgsgeschichten hervor – oft begleitet von zahlreichen Misserfolgen. Einige Unternehmen ergreifen Maßnahmen; viele nicht. [GARTNER 2022]
3. *Trog der Ernüchterung, engl. Trough of Disillusionment*: Das Interesse schwindet, da Experimente und Implementierungen nicht liefern. Hersteller der Technologie reißen es heraus oder scheitern. Investitionen werden nur fortgesetzt, wenn die überlebenden Anbieter ihre Produkte zur Zufriedenheit der frühzeitigen Anwender verbessern. [GARTNER 2022]
4. *Steigung der Erleuchtung, engl. Slope of Enlightenment*: Mehr Beispiele dafür, wie die Technologie dem Unternehmen zugute kommen kann, beginnen sich zu herauszukristallisieren und werden allgemeiner verstanden. Produkte der zweiten und dritten Generation erscheinen von den Technologieanbietern. Mehr Unternehmen finanzieren Pilotprojekte; Konservative Unternehmen bleiben vorsichtig. [GARTNER 2022]
5. *Plateau der Produktivität, engl. Plateau of Productivity*: Mainstream-Akzeptanz beginnt sich abzuheben. Kriterien zur Bewertung der Lebensfähigkeit des Anbieters sind klarer definiert. Die breite Markteinsetzbarkeit und Relevanz der Technologie zahlen sich eindeutig aus. [GARTNER 2022]

Nachdem ein innovativer Gedanke den *Höhepunkt überhöhter Erwartungen* passiert hat, z.B. die Revolutionierung der Softwareentwicklung oder Szenarien, wie z.B. die Vollautomatisierung eines Gebäudes oder Service-Roboter die uneingeschränkt interagieren können, die man in der Form nur aus Science-Fiction Filmen kennt, folgt der *Trog der Ernüchterung*. In Folge dessen wird festgestellt, dass die Erwartungen nicht in Gänze übertragbar sind, bzw. nur zu einem geminderten Teil in die Realität umgesetzt werden können und der verfolgte Gedanke an Interesse verliert. Nach erneutem Aufgriff der Technologie findet eine realistischere Beurteilung der Innovation statt, die dazu beiträgt, dass die Technologie wieder an Interesse gewinnt. Die objektive und realitätsnahe Betrachtungsweise formt ein neues und realistisches Bild der Potentiale, als auch der Grenzen. Mit dem neu gewonnenen Maßstab geht die ehemals neue innovative Idee in eine routinierte Technologie über, die an Anerkennung gewinnt und in der breiten Masse akzeptiert wird. Die Technologie erfährt mit steigender Zuwendung eine stetigere Weiterentwicklung, die dann zu einer Community geformt wird. Mit der Erreichung dieses Status befindet sich die Innovation, bezogen auf den Hype Cycle, in der letzten Phase, dem *Plateau der Produktivität*, und bestätigt so die Marktreife. Dieser Zeitpunkt löst

¹Die Entwicklungsphasen der Gartner Inc. ist unter folgender URL zu finden: "<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>"

die Zukunftsvision auf und es handelt sich um eine am Markt etablierte Technologie.

Zum aktuellen Zeitpunkt befindet sich die Technologie rund um Plattformen für intelligente Geräte im privaten als auch im unternehmerischen Bereich, engl. *Smart Home (SH)* oder *Connected Home*, im Anfangsstadium der letzten Phase, dem sogenannten *Plateau der Produktivität*. Mit zunehmender Akzeptanz werden im Umfeld des Internets der Dinge, engl. *Internet of Things*, stetig Szenarien entwickelt, die das Wachstum und die Verwendung von solchen Plattformen vorantreibt. Mit einer immer tiefer gehenden Forschung und Umsetzung von Anwendungsbeispielen werden Bereiche offenbart, die eine solche Plattform im privaten als auch im geschäftlichen Umfeld immer attraktiver gestaltet. Mit steigender Konnektivität und Kompatibilität mehreren Geräten und Gegenständen können Szenarien und Prozessautomatisierungen, wie die Steuerung von Service-Robotern, umgesetzt werden. Der jetzige technologische Fortschritt und die über die Forschungsjahre gesammelten Erfahrungen bringt das Segment der intelligenten Geräte der IoT den ursprünglich angedachten Visionen und Ideen näher, sodass ein weiterer Ausbau dieser Technologie und dessen Anwendung stattfindet und sich vollständig in den Markt etabliert. Der finale Schritt der endgültigen Marktreife ist ein faszinierender und wichtiger Grund für meine Motivation, mich dieser Technologie und der dahinterstehenden Theorie zu widmen. Ein weiterer dazu beitragender Aspekt ist die Steuerung und Verknüpfung von Geräten, sowie die Automatisierung von Prozessen innerhalb eines intelligenten Büros, um stetig hinzukommende Anwendungsfälle abdecken und einfach implementieren zu können. Einen Ansatz zu schaffen, der einem Softwareentwickler eine Struktur vorgibt, die in sich jedoch beliebig erweiterbar ist, sodass die Einschränkung von Prozessabbildungen minimiert wird.

Die Einsatzgebiete von intelligenten Geräten, beziehungsweise die Verwendung von Kompaktlösungen, Plattformen und Steuereinheiten zielen räumlich auf Gebäude, Häuser und Wohnungen ab und bieten viele Verwendungs- und Einsatzmöglichkeiten, die stetig ausgebaut und optimiert werden. Diese sehen wie folgt aus:

- Komfort
- Entertainment
- Überwachung und Sicherheit
- Steuerung von Prozessen
- Management von Automatisierungen (Automationen)

Neben der Affinität von Smart Home zum Internet der Dinge und der damit einhergehenden Technologie bringt diese Vorteile mit sich, wie z.B. die Modernisierung von Wohn- und Bürogebäuden und die routinierte Ausführung und Abarbeitung von Prozessen, die dem Menschen Aufgaben und Arbeiten abnehmen.

1.2 Forschungsfragen

Die in der Arbeit zentral behandelte Forschungsfrage ist wie folgt definiert:

F1: Wie kann man die Usability von Prozessautomatisierungen und Regeldefinitionen von SmartHome-Plattformen optimieren, sodass die formalen Interaktionen der Softwareentwickler schneller sind?

Eine Konkretisierung identifiziert konkret die Herausforderungen existierender Plattformen in Bezug auf die Definition von Regeln und Automatisierungen:

F1.1: Welche sind die Usability-Herausforderungen existierender Plattformen, bzw. welche Anforderungen würden für eine Optimierung gelten?

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Erarbeitung eines Konzeptes und die prototypische Implementierung des Frameworks, welches dem Softwareentwickler das Umsetzen von Regeln und zu automatisierende Prozesse im Rahmen der Programmierung erleichtert und in der Ausprägung der Regeln nicht einschränkt. Dabei wird sich an bestehenden Produkten orientiert, die versuchen, diese Automatisierungen für den Nutzer vereinfacht darzustellen. Die aktuellen Praktiken setzen trotz dessen eine starke Lernkurve voraus. Mit dem Framework soll dem Anwender eine Struktur an die Hand gegeben werden, mit der Regeln und Prozesse innerhalb eines smarten Büros einfach abgebildet werden können. Die Abarbeitung von Regeln und Prozessen sollen über das Framework koordiniert werden, sodass der Anwender sich ausschließlich um die Regeldefinition und um die abzubildende Umgebung durch Geräte, Zustände und weitere potentielle Mittel innerhalb eines smarten Büros, kümmern muss.

1.4 Forschungsstrategie und Forschungsmethoden

Dieser Abschnitt der Arbeit widmet sich der Forschungsstrategien und der darauf angewendeten Forschungsmethoden. Hierbei werden die Strategien kurz erläutert und die Methoden skizziert. Die Anwendung der Strategien findet zu späterem Zeitpunkt statt.

Diese Arbeit ist in die drei Phasen aufgeteilt, Forschung, Konzeption und Evaluation. Zuerst erfolgt durch ein systematisches Literaturreview eine Analyse des aktuellen Stands der Technik, welche die Forschungsfragen aufgreift und anhand dessen den aktuellen Stand identifiziert. Schwerpunkt dabei liegt auf der einfachen Handhabung der formalisierten Interaktionen eines Softwareentwicklers bei der Weiterentwicklung, bzw. bei der Ergänzung einer bestehenden Softwarelösung, um weitere Anwendungsfälle abzudecken. In der Phase der Anforderungserhebung werden Experteninterviews durchgeführt, mit denen die Anforderungen des Produktes, für welches ein Konzept erstellt wird, identifiziert werden. Ergänzend dazu werden im Rahmen der Arbeit weitere Anforderungen durch

das Requirements Engineering (RE) und der Anwendung des *user-centered design*-Prinzips² sowie des *target group analysis*-Ansatzes (4.2) ermittelt. Dabei wird die Nutzerorientierung auf den Softwareentwickler ausgelegt. Zur anschließenden Evaluation wird ein Usability Test durchgeführt und darauf erneut ein Experten Interview, damit Eindrücke über das Konzept entstehen und die Erfahrungen der Experten während des Usability Tests in die Beantwortung der Forschungsfrage mit einfließen.

Die soeben genannten Forschungsmethoden werden im Nachfolgenden näher erklärt.

1.4.1 Experteninterview

Zu Anfang wird bei einem Experten Interview der Hintergrund des Interviews erläutert. Nachdem die interviewende Person den Grund dargelegt hat, stellt ein Forscher einem Experten ausgewählte Interview-Fragen, die für die Forschung relevant sind und dazu beitragen die Forschungsfrage zu beantworten.

Die Interview-Fragen können als offene oder geschlossene Fragen formuliert werden, je nachdem ist eine beliebige Reihe an Antworten möglich oder nur eine begrenzte Anzahl an Antworten [ROBSON 2002]. Der Verlauf des Interviews kann von dem Forscher selbst bestimmt werden. Sind nur bestimmte Antworten gewünscht, so können die Fragen strukturiert und geschlossen formuliert werden. Ebenso gibt es den semi-strukturierten und den unstrukturierten Ansatz, bei dem das Interview offen gestaltet werden kann. Der Semi-Strukturierte Ansatz eignet sich, wenn spezielle Fragen adressiert werden, bzw. eine Reihenfolge festgelegt ist, sodass der Interviewer eine klare Reihenfolge hat. Mit dem unstrukturierten Vorgehen wird ein völlig offenes Interview angestrebt, bei dem der Verlauf abhängig von dem Inhalt der Konversation ist.

Die Durchführung von Experteninterviews zählt zu den qualitativen Forschungsansätzen, um Daten zu bestimmten Kontexten zu sammeln.

1.4.2 Systematisches Literaturreview

Mit einem systematischen Literaturreview wird zur evidenzbasierten Identifizierung, Bewertung und Interpretation von bestehender Literatur eine wissenschaftliche Methode angewendet, mit der Fragestellungen zu einer bestimmten Thematik herausgearbeitet werden können. Mithilfe dieses Ansatzes soll die Erzielung einer Schlussfolgerung zu einem untersuchten Objekt ermöglicht werden. Die Methodik des systematischen Literaturreviews orientiert sich an den Richtlinien von Kitchenham et al.. Diese ist in drei aufeinander aufbauende Schritte gegliedert. Zu Beginn erfolgt die Planung, anschließend die Durchführung und abschließend die Dokumentation und Offenlegung der Ergebnisse [KITCHENHAM und CHARTERS 2007].

1.4.3 Usability-Test

Ein Usability-Test ist eine Methode zur Testung von Prototypen oder Arbeitsversionen von Computerschnittstellen [LAZAR, FENG und HOCHHEISER 2017]. Das Testen der Nutzbarkeit kann durch

²Iterativer Prozess zur Ermittlung von Anforderungen, die nutzerorientiert aufgestellt werden. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/user-centered-design> Abgerufen am 08.05.2022

vorab definierte Aufgaben, die durch Probanden und Benutzer in einer dafür vorgesehenen Umgebung durchgeführt werden, erfolgen. Die Aufgaben können je nach Anwendungsfeld oder -kontext unterschiedlich ausfallen. Ebenso können solche Tests auch dazu beitragen, um physische Interaktionen mit bspw. Geräten zu bewerten.

Alle Ansätze für Usability-Tests haben ein grundlegendes Ziel: Die Qualität einer Schnittstelle zu verbessern und den dafür vorgesehenen Anwendern diese Benutzung so einfach wie möglich zu gestalten [LAZAR, FENG und HOCHHEISER 2017]. Während diese Tests optimaler Weise Schnittstellenfehler aufdecken, die den Benutzern Schwierigkeiten bereiten, ist gleichzeitig rauszufinden, welches Schnittstellendesign gut funktioniert, um dieses für Zukünftige Entwicklungen beizubehalten.

Zur Kategorisierung von durchgeführten Tests, werden Werkzeuge verwendet, die das Verhalten und die Meinungen der Benutzer messbar macht. Eines dieser Werkzeuge ist das *System Usability Scale (SUS)*³. Dabei handelt es sich um einen einfachen technologieunabhängigen Fragebogen, anhand dessen die Gebrauchstauglichkeit eines Systems bewertet werden kann. Dieser ist eine Praktik zur quantitativen Analyse der Nutzbarkeit. Der Umfang umfasst zehn Fragen nach der Likert-Skala [LIKERT 1932].

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Master-Thesis gliedert sich nach den soeben genannten einleitenden Information im Aufbau in insgesamt zehn Kapitel. Das erste Kapitel (1) beschreibt die Motivation (1.1), welche die Intension kundtut, diese Thematik rund um IoT und Smart Home zu bearbeiten. Darauf folgend werden die Forschungsfragen (1.2), die im Rahmen der Thesis behandelt werden, erläutert. Nach der Beschreibung der Forschungsfragen wird im anknüpfenden Abschnitt (1.3) die Zielsetzung der Arbeit erläutert. Hierbei werden zusätzliche Schwerpunkte und Ziele aufgegriffen. Abschließend wird das Unternehmen, in der die Thesis geschrieben wird, hervorgehoben und deren Absichten in Verbindung mit Innovationen beleuchtet.

Das Kapitel (2) widmet sich den essentiellen und wichtigen Grundlagen dieser Arbeit. Zu Anfang wird dem Leser der Terminus des Internet of Things (2.1) offenbart, um zum Teil den Kontext im Bezug zu dieser Arbeit zu begreifen, gefolgt von einer Einführung in die Thematik des Smart Home (2.2), der Problematik der Begriffsdefinition, der historischen und kontinuierlichen Entwicklung und mit den Zielen, die mit der Verwendung einer Smart Home Lösung bewältigt werden sollen. Mit dem Verständnis der übergeordneten Begriffe, IoT und Smart Home, werden Technologien (2.3) aufgegriffen, die im Rahmen dieser Arbeit erwähnenswert sind und verwendet werden. Abschließend werden in Kapitel (2) die Softwarelösungen, Home Assistant und openHAB (2.4 & 2.5), dargestellt. Diese dienen zur Grundlage für die Evaluation als auch zur Gegenüberstellung der Lösungen in Kapitel (7) Diskussion und Evaluation.

Die theoretischen und methodischen Hintergründe sowie den Stand der Technik wird in Kapi-

³System Usability Scale. <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html> Besucht am 03.07.2022

tel (3) angesprochen. Dieser Teil enthält Beschreibungen, Forschungen und aktuelle Erkenntnisse über Technologien, die im Umfeld der Smart Home Anwendungen innerhalb des IoT verwendet werden. Zudem werden in Zusammenhang der Erkenntnisse und Möglichkeiten der Technologie die Szenarien dargestellt.

Kapitel (4) befasst sich mit den Anforderungen, engl. Requirements, die für die eigentliche Konzeption relevant sind. Innerhalb dieses Kapitels wird anhand von Informationen und den umzusetzenden Szenarien die Anforderungen für die Konzeption erarbeitet. Hierbei werden aus der Praxis bekannte Verfahren verwenden, um die Anforderungen zu definieren. Mittels den zugrundeliegenden Anforderungen wird im nachfolgenden Schritt die eigentliche Konzeption dargelegt.

Nach Aufbereitung der Anforderungen durch das sogenannte Anforderungsmanagement, engl. *Requirements Engineering*, wird in Kapitel (5) das Konzept erarbeitet, welches als Grundlage für die prototypische Implementierung und Umsetzung des Konzepts dient. Das Konzept befasst sich mit den Anforderungen und setzt diese ein, um die Organisation des Systems in Komponenten, deren Beziehungen zueinander und zur Umgebung sowie deren Prinzipien zu definieren. Zum Ende des Konzepts steht eine Architektur, die sich aus den Anforderungen und auch aus den Analysen der eigentlichen Forschungsfrage abzeichnet.

In Kapitel (6) wird die Umsetzung des Konzepts skizziert. Darunter welche Problem während der Implementierung aufraten als auch deren Lösungsfindung. Ebenso wird hier aus praktischer Sicht auf die Architektur geschaut, welche Komponenten, Bibliotheken und zusätzliche Systeme, engl. *Frameworks*, verwendet wurden. Das erzielte Ergebnis und Resultat wird abschließend zusammengefasst und neutral betrachtet.

Nach Abschluss der Umsetzung und dessen Ergebnisdokumentation befasst sich das Kapitel (7) mit der Diskussion und Evaluation. Hier findet eine Analyse des Konzepts sowie deren Umsetzung und objektive Betrachtung statt. Anschließend werden Vergleiche zwischen der Eigenentwicklung und bereits bestehender Softwarelösungen, die im Grundlagenkapitel aufgefasst werden, aufgestellt und bewertet.

Im vorletzten Teil, Kapitel (8), wird ein Fazit aus den Erkenntnissen und Ergebnissen gezogen. Dieses Schlussresümee führt nochmals die Höhepunkte sowie eine eigene Einschätzung auf.

Zum Abschluss der Thesis wird in Kapitel (9) ein Ausblick gegeben. Dieser gibt Aufschluss darüber, welche Erweiterungsmöglichkeiten es für die in dieser Thesis erfolgten Arbeit gibt und wie innovativ sich dieser Grundbaustein in Zukunft erweisen könnte.

Kapitel 2

Grundlagen

In diesem Kapitel werden die für diese Thesis relevanten Grundlagen geschaffen, um ein Grundverständnis und fundiertes Wissen über verwendete Technologien zu erlangen und die nachfolgende Recherche, Konzeption und Umsetzung besser verstehen zu können.

2.1 Internet der Dinge

Das Internet der Dinge (IdD), im Englischen Internet of Things (IoT), zählt als eines der Schlagworte in der Informationstechnologie (IT). In der Domäne des IoT bekommen Gegenstände und Objekte eine eindeutige Identität, die eine Kommunikation miteinander als auch das Entgegennehmen von Befehlen erlaubt. Mit dem Internet der Dinge lassen sich Anwendungen sowie Prozesse automatisieren und Aufgaben erledigen ohne das von außen Eingegriffen werden muss [LUBER und LITZEL 2016]. Die Prozessautomatisierung findet sich auch im Kontext des Smart Home wieder, welches in nachfolgendem Kapitel genauer aufgegriffen wird.

In der einschlägigen Literatur gibt es für das Internet of Things keine allgemeingültige Definition, die alle Anwendungsbereiche abdeckt. Die Definitionen und Auslegungen der Interpretation unterscheiden sich je nach Anwendungsgebiet. Demnach gibt es viele verschiedene Forschungsgruppen, darunter Forscher, Akademiker, Innovatoren, Entwickler und Geschäftsleute, die den Begriff oder die zugrundeliegende Problemstellung definiert haben. Die Ursprünge jedoch sind dem Experten für digitale Innovationen, Kevin Ashton¹, zuzuschreiben.

Die in der Literatur auffindbaren Definitionen verfolgen zwei Sichtweisen. Zum einen die aktive Sicht, d. h. die Daten sind von Menschen erstellt, zum anderen die passive, bei der die Daten von Dingen, darunter die Sensoren und Aktoren, erstellt werden [MADAKAM, RAMASWAMY und TRIPATHI 2015]. Eine aus dem Zusammenhang hervorgehende, aus dem wissenschaftlichen Artikel entnommene Definition ist folgende:

¹ Britischer Technologie-Pionier, Mitgründer des Auto-ID Centers am Massachusetts Institute of Technology (MIT). https://de.wikipedia.org/wiki/Kevin_Ashton (Abgerufen am 22.03.2022)

“An open and comprehensive network of intelligent objects that have the capacity to auto-organize, share information, data and resources, reacting and acting in face of situations and changes in the environment” [MADAKAM, RAMASWAMY und TRIPATHI 2015]

Daraus kann die Ableitung erfolgen, dass der Begriff des Internet der Dinge für die Vernetzung von Gegenständen im privaten Gebrauch, sowie von industriellen Geräten und Maschinen über das Internet, steht. Damit Geräte individuell angesprochen werden können, werden diese mit einer eindeutigen Identität, genauer einer Internetprotokoll (IP)-Adresse, im Netzwerk belegt und mit elektronischer Intelligenz ausgestattet [LUBER und LITZEL 2016]. Darüber können die Netzwerkteilnehmer über das Internet kommunizieren und Prozesse automatisiert erledigen. Die sogenannten *intelligenten Geräte* werden auch oft mit dem englischen Begriff, *Smart Devices*, betitelt.

Neben der Kommunikation der Geräte untereinander kann ebenso entweder über das Gerät selbst oder eine zentrale Schnittstelle via Internet interagiert werden. Dadurch sind Objekte und Gegenstände durch einen Benutzer von beliebigen Orten aus auch außerhalb des Netzwerks erreich- und bedienbar. Diese Art und Weise wird auch in dem zentralen Thema des Smart Home verwendet. Die Funktion als auch die Umsetzung wird im Kapitel (2.2) näher beleuchtet.

Das Internet der Dinge ist ein elementarer Baustein der IT-Welt. Mit dem IoT wird die Vision verfolgt, eine globale Infrastruktur zu erstellen, mit der physische Objekte miteinander vernetzt werden und jeder Zeit zur Verfügung stehen. Das Internet of Things kann auch als globales Netzwerk angesehen werden, indem die Kommunikation zwischen Mensch zu Mensch, Gerät zu Mensch und Gerät zu Gerät ermöglicht wird. Viele Forschungsartikel sprechen von der Verschmelzung der digitalen und physischen Welt.² Die Vereinigung beider Welten ist die Verknüpfung physischer Objekte, die eindeutig identifizierbar sind, mit einer virtuellen Repräsentation in einer vergleichbaren Internet-Struktur.

Gesamtbild des Internet of Things

Der folgenden Abbildung (2.1) ist zu entnehmen, welche Technologien rund um das Internet der Dinge liegen und in Verbindung damit stehen.

²Das Internet der Dinge – der digitale Zwilling der Welt. Kompetenzzentrum Öffentliche IT in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut. <https://www.oeffentliche-it.de/trendsonar-iot> Abgerufen am 23.03.2022.



Abbildung 2.1: Technologische Einordnung von IoT [SIEPERMANN und LACKES 2018]

Beispielsweise ist das IoT eine wesentliche Grundlage für das Themengebiet *Big Data*. Die durch Sensoren und Akteure erzeugten Daten können eine Grundlage für die Verwendung im Bereich *Big Data* sein. Dabei werden die Datenmengen gespeichert und mithilfe von Mustern und Herangehensweisen des Big Data³ analysiert. Big Data ist kein Bestandteil dieser Arbeit und wird demnach nicht weiter ausgeführt. Das Beispiel dient lediglich zu Veranschaulichung und Interpretation der oben aufgeführten Abbildung (2.1).

Eine allgemeine exemplarische Skizzierung eines Systems, welches nach dem IoT-Konzept aufgebaut ist, kann der folgenden Abbildung (2.2) entnommen werden:

³Definition und Funktionsweise von Big Data. <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/> Abgerufen am 25.03.2022



Abbildung 2.2: Exemplarische Darstellung eines IoT-Systems [GILLIS 2022]

Hierbei werden die jeweiligen Komponenten verdeutlicht, die in einem System zu finden sind. Mit den *IoT-Geräten*, darunter beispielsweise Sensoren und Aktoren, findet die Datenerzeugung statt. Mit dem dahinterstehenden *Gateway* werden die aus den Geräten erzeugten Daten gesammelt und an zentraler Stelle an die Cloud gesendet. Nach der Datensammlung können diese an verschiedene Komponenten zur weiteren Verarbeitung gesendet werden, die durch die Visualisierung über das Smartphone stattfinden kann oder zur Durchführung von Prozessanalysen dient. Ebenso können die Daten an weitere Backend-Systeme zur Weiterverarbeitung übermittelt werden.

Anwendungsbereiche des IoT

Grundlegend kann im Bereich des Internet of Things zwischen zwei Anwendungsbereichen unterschieden werden. Dies ist zum einen der private Bereich und zum anderen der industriellen. Der private Bereich deckt hauptsächlich die Thematik rund um den Gebrauch von Alltagsgegenständen ab und deren Vernetzung untereinander zur komfortableren und intelligenteren Nutzung der Geräte. Darin inbegriffen sind Gebäudeautomatisierungen und Ereignissesteuerungen über das Internet. Diese Funktionen sind Hauptbestandteil des Smart Home-Konzeptes, welches in Abschnitt (1.5) genauer aufgegriffen wird.

Der industrielle Bereich beschäftigt sich mit der Vernetzung von Maschinen und Anlagen miteinander, so dass sich ganze industrielle Prozesse automatisieren lassen und so die Effizienz der Prozess- und Produktionsabläufe gesteigert werden. Die Nutzung des IoT im industriellen Bezug ist

ein elementarer Bestandteil der heutigen *Industrie 4.0*⁴, auch bekannt als *Industrial Internet of Things, dt. Industrielles Internet der Dinge (IIoT)*.

Im Rahmen dieser Arbeit wird zwischen den beiden Anwendungsbereichen differenziert und den Fokus auf den privaten Bereich gelegt.

Mit dem Internet der Dinge-Ansatz gibt es zwei Paradigmen, die in Kombination als auch alleinstehend Anwendung finden. Diese werden im folgenden Abschnitt kurz erläutert.

Edge und Cloud Computing

Bei den beiden Paradigmen handelt es sich zum einen um Edge Computing und zum anderen um Cloud Computing. Ziel beider Ansätze ist das Verwalten von Daten, bzw. das Arbeiten mit erzeugten Daten.

Das Edge Computing verfolgt einen *dezentralen Ansatz*, bei dem die Berechnung und Erhebung der Daten direkt auf dem Gerät durchgeführt wird. Dies bedeutet, dass jedes Gerät über eine eigene Intelligenz verfügt, bei der Daten direkt nach der Erzeugung verarbeitet und gespeichert werden können. Zu einem späteren Zeitpunkt können in Form einer Datenbündelung oder einer Vorauswahl die Informationen an ein Rechenzentrum weitergegeben werden.

“Edge computing is different from traditional cloud computing. It is a new computing paradigm that performs computing at the edge of the network. Its core idea is to make computing closer to the source of the data [...]” [CAO u. a. 2020]

Bei Cloud Computing handelt es sich grundlegend um Bereitstellungen von Computerdiensten, Kapazitäten, Ressourcen und der Rechenleistung über das Internet, die nicht in einem eigenen Rechenzentrum verwaltet und betrieben werden müssen. Die Verwaltung wird dem Anbieter des Cloud Computing überlassen. Hauptsächlich steht dabei die flexible Ressourcennutzung, Skalierung und Verteilung von Rechenleistungen im Vordergrund. In Zusammenhang mit den verfügbaren Ressourcen werden auch verschiedene Modelle, Cloud Typen und diverse Dienste angeboten⁵. Diese werden ihm Rahmen der Arbeit nicht weiter ausgeführt.

“Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.” [MELL und GRANCE 2011]

Mit dem Cloud Computing wird im Vergleich zum Edge Computing ein zentraler Ansatz verfolgt, bei dem die erzeugten Daten von den Akteuren und Sensoren direkt an eine zentrale Stelle gelangen. Von dort aus findet die Verarbeitung und Analyse der Daten statt.

Eine Kombination beider Ansätze vereint deren Vorteile und ist als *Hybrid Cloud* bekannt. Diese Konstellation ist in den meisten Architekturen wiederzufinden.

⁴Definition und Beschreibung der Industrie 4.0 <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html> Abgerufen am 25.03.2022

⁵Einblick in die Cloud-Umgebung von dem Anbieter Microsoft. <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/> Abgerufen am 28.03.2022

2.1.1 Paradigmen und Kommunikationsmodelle

Damit eine umfassende Grundlage im Bereich IoT geschaffen wird, behandelt folgender Abschnitt Paradigmen und Kommunikationsmodelle, die in dieser Umgebung verwendet werden. Für die Darstellung dieser Modelle wird eine Literaturquelle genutzt, die ein paar der gängigsten und prägnantesten Architekturen und Modelle abgedeckt. Die Repräsentation der Interaktionsparadigmen sind den Schaubildern (2.3) zu entnehmen.



Abbildung 2.3: Client-Server, Peer-to-Peer und Message Passing Interaktionsparadigma [MINERVA, BIRU und ROTONDI 2015]

| Name | Beschreibung |
|------------------------------|---|
| Client-Server (2.3a) | Basierend auf einer sehr einfachen Interaktion zwischen Clients und dem Server. Ein Client sendet eine Anfrage an den Server und erwartet dementsprechend eine Antwort. |
| Peer to Peer (P2P) (2.3b) | Gegensatz zu Client-Server Konzept. Hierbei können Geräte sowohl als Client Dienste abfragen, als auch als Server Dienste anbieten. |
| Message Passing (2.3c) | Basierend auf einer einfachen Organisation in der ein Absender eine Nachricht mittels einer Warteschlange (Queue) an einen Empfänger weiterleitet. |

Tabelle 2.1: Interaktionsparadigmen nach [MINERVA, BIRU und ROTONDI 2015]

Eine Analyse und detailliertere Darstellung der jeweiligen Ansätze kann der Ausarbeitung, aus der die Paradigmen verwendet wurden, entnommen werden.

Im Zusammenhang mit Architekturen, die in dem Bereich IoT Anwendung finden, und Interaktionsparadigmen wird häufig zur Unterstützung verschiedener Interaktionsmodelle auf Protokolle gesetzt, die Daten und Primitiven transportieren. Diese Kommunikationsmodelle sind in zwei Bereiche, die ihre Anwendung in Machine to Machine (M2M) finden, kategorisiert:

- Simple Object Access Protocol (SOAP)⁶: Dabei handelt es sich um ein Standardprotokoll, das dafür entwickelt wurde, um verschiedene Programmiersprachen auf verschiedenen Plattformen untereinander kommunizieren zu lassen.
- Representational State Transfer (REST)⁷: Dabei handelt es sich um eine Reihe von Architekturprinzipien, die auf die Anforderungen leichtgewichtiger Webdienste und mobiler Anwendungen abgestimmt sind. Anfragen, die über diese Form gesendet werden, können in mehreren Formaten beantwortet werden, darunter beispielsweise Hypertext Markup Language (HTML), Extensible Markup Language (XML) und JavaScript Object Notation (JSON).

Beide verfolgen das Ziel der Datenübermittlung zwischen Web-Anwendungen über eine Schnittstelle, das sogenannte Application Programming Interface (API). REST Architekturen werden bei einem IoT-Szenario aufgrund ihrer Simplizität und ihres Komforts bevorzugt. [MINERVA, BIRU und ROTONDI 2015]

2.1.2 Historische Entwicklung

Die ersten Konzepte zu dem heute bekannten IoT liegen schon einige Jahrzehnte zurück. Die historische Definition des Internet of Things wurde im Jahr 1999 von Kevin Ashton geprägt. Von der Definition bis hin zum erstmaligen Einsatz, bzw. zur Umsetzung eines Konzepts vergingen noch ein paar Jahre. Ein kurzer Einblick in die chronologische Entstehung des IoT ist der folgende Tabelle zu entnehmen:

⁶Detailliertere Definition des Begriffs SOAP. <https://www.redhat.com/en/topics/integration/whats-the-difference-between-soap-rest> Abgerufen am 29.03.2022

⁷Detailliertere Definition des Begriffs REST. <https://www.redhat.com/en/topics/integration/whats-the-difference-between-soap-rest> Abgerufen am 29.03.2022

| Jahr | Industrielle Beteiligung und Zuordnung |
|-------------|---|
| 1970 | Der erste Vorschlag zu miteinander verbundenen Geräten und Maschinen |
| 1990 | John Romkey und Simon Hackett entwickelten den ersten Toaster, der über das Internet an- und ausgeschaltet werden konnte. ⁸ |
| 1995 | Das Unternehmen Siemens leitete das erste Mobilfunkmodul ein, welches für die Kommunikation zwischen Maschinen zuständig ist (M2M-Technologie). |
| 1999 | Die Definition des Begriffs IoT von Kevin Ashton wurde veröffentlicht und von der Gesamtheit akzeptiert, als er bei Procter & Gamble (P&G) an den sogenannten Radio-Frequency Identifitaction (RFID) Chips arbeitete. RFID-Chips verwenden elektromagnetische Felder, die an Objekte angebracht sind, um diese identifizieren und verfolgen zu können. Ein solches System besteht aus einem Funktransponder, einem Funkempfänger und -sender. |
| 2004 - 2005 | Der Begriff wurde in angesehenen Publikationen verwendet, darunter dessen von Boston Globe und The Guardian. International Telecommunication Union (ITU) veröffentlichte deren ersten Bericht über das Thema. |
| 2008 - 2011 | Die Definitionen und Publikationen fanden erste Anwendungen in praktischen Umsetzungen. Gartner Inc. nahm den Begriff in ihre Recherche-Arbeiten mit auf. |

Tabelle 2.2: Historische Entwicklung vom Internet der Dinge [DURGA, PROF und KUMAR 2020]

Mittlerweile ist das Internet der Dinge ein fester Bestandteil der Industrie, ebenso im privaten Umfeld. Viele Szenarien und Konzepte werden erarbeitet und umgesetzt. Die Kommunikation von Maschinen untereinander ist in der heutigen Zeit fester Bestandteil der Industrie und wird immer weiter ausgebaut. Forschergruppen sind daran interessiert, mehrere Gebiete und Anwendungsbereiche innerhalb des IoT zu erschließen. Stark vertreten ist dabei das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS)

2.1.3 Ziele von IoT

Die Definition von dem Internet der Dinge gibt die Richtung an, in die sich die Zielsetzung von IoT bewegt. Davon ist die Intention abzuleiten, dass die Lücke zwischen der realen und der virtuellen Informationswelt so gering wie möglich gehalten, bzw. zunehmend minimiert wird. Dieser Informationsbedarf oder auch die Informationslücke besteht, da in der realen Welt Objekte, Dinge und Gegenstände einen bestimmten Zustand vorzeigen. Ein Beispiel dazu ist „die Temperatur liegt bei 35 Grad Celsius“ oder „das Licht ist an und hat 75 % Helligkeit“. Diese Informationen sind in der virtuellen Welt nicht ohne weiteres verfügbar. Das Bestreben demnach, welches auch zum Großteil im Bereich Smart Home abgedeckt wird, ist, dass viele reale Gegenstände ihre Zustandsinformationen für die Weiterverarbeitung in der virtuellen Welt, beziehungsweise im Netzwerk zur Verfügung stellen. Diese Informationen können beispielsweise Aussagen zu der aktuellen Nutzung, zur bestimmten Positionierung im Raum und über die Alterung eines Gerätes geben. Diese Zustandsinformationen können dazu beitragen, dass die Nutzung des Gegenstandes vom Anwender ausgewertet und so

optimiert werden kann, z.B. durch die Erkennung eines Defekts oder einer Automatisierung, damit die Ressource effizient genutzt wird.

2.2 Smart Home

Smart Home, im Deutschen „*intelligentes Zuhause*“, ist eine Domäne des IoT. Diese Rubrik der Anwendung widmet sich überwiegend dem Gebrauch von sämtlichen Haushaltsgeräten und -einrichtungen. Ein kleiner Ausschnitt solcher Nutzgegenstände sind unter anderem Lampen, Kontaktoren, Thermostate, Service-Roboter, Staubsauger-Roboter, Kühlschränke Geräte rundum die Haussicherheit.

Unter dem Oberbegriff Smart Home ist eine Weise zu verstehen, mit der die Erhöhung der Wohn- und Lebensqualität erzielt, Energieverbrauch unter Verwendung vernetzter und fern steuerbarer Geräte effizienter gestaltet, Sicherheit gesteigert und Abläufe verschiedener Prozessschritte automatisiert werden kann.

Der Begriff *intelligentes Zuhause* wird verwendet, wenn die Haustechnik und Haushaltsgeräte untereinander vernetzt sind. Die Definition im Deutschen Gebrauch, welche nach (Strese et al. 2010) in der Untersuchung im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung zum Programm „*Next Generation Media (NGM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie*“ aufgegriffen wird, lautet wie folgt:

„Das Smart Home ist ein privat genutztes Heim (z.B. Eigenheim, Mietwohnung), in dem die zahlreichen Geräte der Hausautomation (wie Heizung, Beleuchtung, Belüftung), Haushaltstechnik (wie z.B. Kühlschrank, Waschmaschine), Konsumelektronik und Kommunikationseinrichtungen zu intelligenten Gegenständen werden, die sich an den Bedürfnissen der Bewohner orientieren. Durch Vernetzung dieser Gegenstände untereinander können neue Assistenzfunktionen und Dienste zum Nutzen des Bewohners bereitgestellt werden und einen Mehrwert generieren, der über den einzelnen Nutzen der im Haus vorhandenen Anwendungen hinausgeht.“ [STRESE u. a. 2010]

Eine vergleichbare Definition wurde zu späterem Zeitpunkt durch eine Literaturrecherche publiziert. Diese beschreibt die zugrundeliegende Thematik weniger aus Anwendersicht sondern widmet sich vielmehr dem System und der Konnektivität.

„A smart home is a place with heterogeneous systems to many front devices with the support of embedded information and communication architectures[...]“ [BALAKRISHNAN, VASUDAVAN und MURUGESAN 2018]

Den beiden Definitionen ist zu entnehmen, dass die Kernaussage eine ähnliche ist, es jedoch in Büchern, Fachartikeln, Publikationen an Universitäten und in den verbreiteten Medien bis heute keine durchgängige gibt. Aus der einschlägigen Literatur wird ersichtlich, dass viele Synonyme für die Benennung der Thematik verwendet werden, darunter beispielsweise [STRESE u. a. 2010]:

- Connected Home
- Elektronisches Haus
- Intelligentes Haus (engl. Smart House)
- Smart Living
- Home of the Future

Eine elementare Information im Zusammenhang dieser Arbeit ist die Verwendung des Begriffs *intelligentes Büro*, die ebenso in den Kontext des Smart Home gehört. Hierbei wird lediglich die Räumlichkeit im unternehmerischen Jargon verwendet, die ebenso eine Grundlage für die Verwendung von Komponenten des Smart Home bietet. Im Abschnitt (2.2.1) wird nochmals konkret darauf eingegangen.

Es wird deutlich, dass die Verwendung des Begriffs als auch die zugrundeliegenden technischen Verfahren weiträumig einsetzbar sind und deshalb die Begriffsdefinition nicht eindeutig festgehalten werden kann.

Teilsysteme des Smart Home

Der primäre Anwendungsbereich des Smart Home ist die Automatisierung häuslicher Prozesse. Dadurch sollen dem Nutzer in vielerlei Hinsicht Aufwände erspart und Informationen zentralisiert angezeigt werden. Die Hausautomatisierung umfasst eine Menge von Teilsystemen. Ein Ausschnitt dieser Teilsysteme ist der folgenden tabellarischen Auflistung zu entnehmen:

| Segment | Beschreibung |
|------------------|---|
| Licht | Beleuchtung, Lichtmanagement/Szenarien, Storen/Rollos |
| Zutritt | Zutrittskontrolle, Klingelanlage, Schlosser, Anwesenheits- und Bewegungserfassung |
| Überwachung | Technische Alarne: Feuer, Rauch, Gas; Intrusion: Glasbruchmelder, Video; Babyphon, Urlaubswachschutz |
| Notfall | Sprinkleranlage, unabhängige Stromversorgung, Fluchtwegsystem |
| Metering | Verbrauchszähler für Strom, Gas, Wasser, Wärme, uvm. |
| Konsumelektronik | TV, Internet, Smartphones, Tablets, Spielekonsolen etc. |
| Hausgeräte | Kühlschrank, Waschmaschine, Staubsauger, Service-Roboter; Hausgerätemonitoring, -diagnostik, und -fernbedienung |
| Heimlogistik | Einkaufs- und Speiseplanung, häusliche Dienste |
| Hobby | Haustierversorgung, Aquarienmanagement, etc. |
| Mobilität | PKW mit Diagnistik, Navigationssystem mit local based services, Info-/Entertainmentangebote etc. |

Tabelle 2.3: Teilsysteme des Smart Home [STRESE u. a. 2010]

Die Ausstattung des Smart Home mit Intelligenz und die Vernetzung der Teilsysteme untereinander haben zum Ziel, die Aufgaben möglichst autonom mit wenig übergeordneter, zentraler Steuerung abzuarbeiten. Dabei müssen die erzeugten als auch erforderlichen Daten mit anderen Komponenten des Gesamtsystems ausgetauscht werden.

Eine mögliche Vernetzung und auch Verwendung solcher Komponenten wird in folgender Abbildung (2.4) skizziert. Diese Grafik dient als grobe Übersicht potentieller Anwendungsszenarien, repräsentiert jedoch nicht alle Möglichkeiten der Anwendung. Darüber hinaus gibt es weitaus mehr

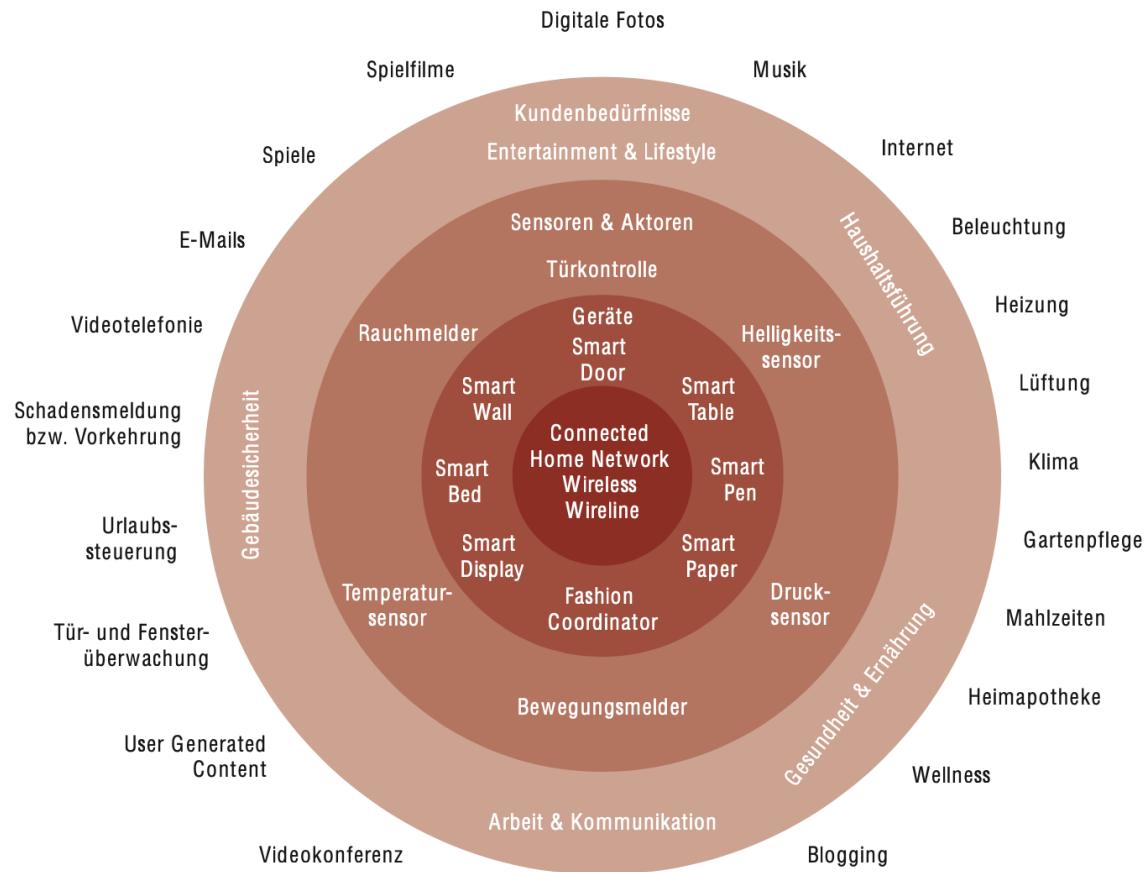


Abbildung 2.4: Mögliche Anwendungsszenarien im Smart Home [STRESE u. a. 2010]

Anwendungsszenarien, beziehungsweise werden diese in der Abbildung (2.4) in einem Überbegriff zusammengefasst. Ein immer bedeutenderes Anwendungsszenario ist die Kopplung von Robotern jeglicher Art, darunter die schon weit verbreiteten Staubsaugerroboter oder vor allem Service-Roboter, die immer mehr in die Thematik des Smart Home zu integriert versucht werden.

Einordnung von Smart Home in das Internet der Dinge

Im Konsumentenmarkt wird die Technologie des IoT in Produkten eingesetzt, die das Konzept des Smart Home verfolgen. Diese beinhalten Haushaltsgeräte und -ausstattung, wie beispielsweise Thermostate, Sensoren, Sicherheitssysteme und Lampen, die mehrere Systeme und Übertragungs-technologien unterstützen. Dazu zählen unter anderem Plattformen, darunter Google Nest, Apple HomeKit und Amazon Alexa uvm., ebenso die Übertragungstechnologien, die im Abschnitt (2.3) aufgegriffen werden. Weitere Beispiele sind der Tabelle (2.3) zu entnehmen.

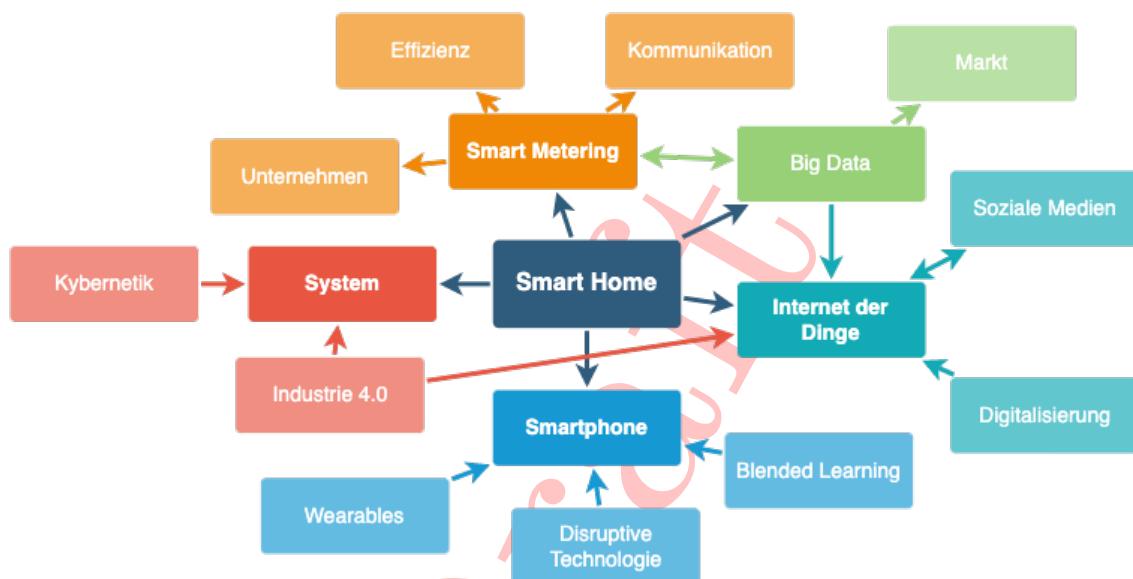


Abbildung 2.5: Technologische Einordnung von Smart Home in Verbindung zu IoT [BENDEL 2021]

Die Abbildung (2.5) zeigt die Verbindungen, als auch die Beziehungen von Smart Home zu anderen Technologien. Hier wird deutlich, dass im Bereich des Smart Home viele Fragestellungen thematisiert werden können, die andere Themenbereiche tangieren. Mit inbegriffen ist zum Beispiel die Komponente Smartphone, da dieses genutzt wird, um als Fernbedienung zu fungieren und Prozesse und Automationen anzeigen und überwachen zu können. Der Bereich des Smart Metering⁹ deckt die Messung von Verbrauchsdaten ab. Dabei handelt es sich um intelligente Messsysteme, die Daten zum Verbrauch, darunter Strom, Gas und Wasser, erheben und diese von den jeweiligen Anbietern zur Rechnungsstellung genutzt werden. Ein Beispiel dazu ist ein digitaler intelligenter Stromzähler mit direkter Kommunikationsmöglichkeit zum Anbieter selbst.

Der Aufbau eines Smart Home ist architektonisch ähnlich zu dem Grundprinzip einer IoT-Lösung. Die Veranschaulichung des zugrundeliegenden Aufbaus ist der Abbildung (2.2) zu entnehmen. Um die Bezugspunkte zu IoT und die Einordnung zu untermauern, wird in folgendem Abschnitt auf die Funktionsweise von Smart Home eingegangen.

⁹Smart Metering ist das computergestützte Messen, Ermitteln und Steuern von Energieverbrauch und -zufuhr. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-metering-53998> Abgerufen am 06.04.2022

Funktionsweise eines Smart Home

Ein Smart Home System besteht aus mehreren Teilsystemen, die in der Regel aus verschiedenen Komponenten bestehen. Wichtige Elemente eines grundlegenden Aufbaus sind die Endgeräte, die sogenannten Aktoren, Eingabegeräte, Sensoren, Gateway und die Vernetzung über Funk, Kabel oder Stromnetz. Die Endgeräte sind die Ausgabegeräte, die über die intelligente Steuerung ange- sprochen werden können. Darunter zählen zum Beispiel LED-Lampen, Rolläden, Lüftungsanlagen, Lautsprecher, Fernseher, Waschmaschinen und jegliche Arten von Service-Robotern. Eingabegeräte sind die Schnittstelle zwischen der Interaktion des Nutzers und des Smart Home Systems. Das können Wandschalter, Touchdisplays, Fernbedienungen, Smartphones und Regler sein. Mithilfe dieser Schnittstelle können Zustände und Aktionen an den Endgeräten ausgelöst werden. Bei einer fehlenden Verbindung zwischen den Steuerelementen sind diese trotzdem noch über direkte Schaltbefehle steuerbar. Damit die Zustände ebenso digitalisiert werden können und dem System zur Verfügung stehen, werden Sensoren benötigt. Diese greifen die physikalischen oder elektronischen Eigenschaften des Endgerätes ab, um die Zustände zu ermitteln. Das Gateway repräsentiert die zentrale Steuereinheit, auf dem die Sensordaten eingehen und die Sendung von Befehlen an die Aktoren stattfindet. Ebenso ermöglicht das Gateway die Kommunikation der Endgeräte und Sensoren untereinander. Eine mögliche Internetverbindung zwischen dem Gateway und einer zentralen Plattform, die über die Cloud erreichbar ist, kann ebenso hergestellt werden. Je nach Gerät kann über das Gateway auch eine direkte Steuerung einzelner Elemente stattfinden. Das letzte Element, die Vernetzung, ist für die Verbindung aller Elemente zuständig. Hierfür kommen verschiedene Protokolle, die unter anderem in Abschnitt (2.3) beschrieben werden, per Funk, Kabel oder Stromnetz zum Einsatz. Ein exemplarischer Aufbau der Komponenten ist der folgenden Abbildung zu entnehmen:

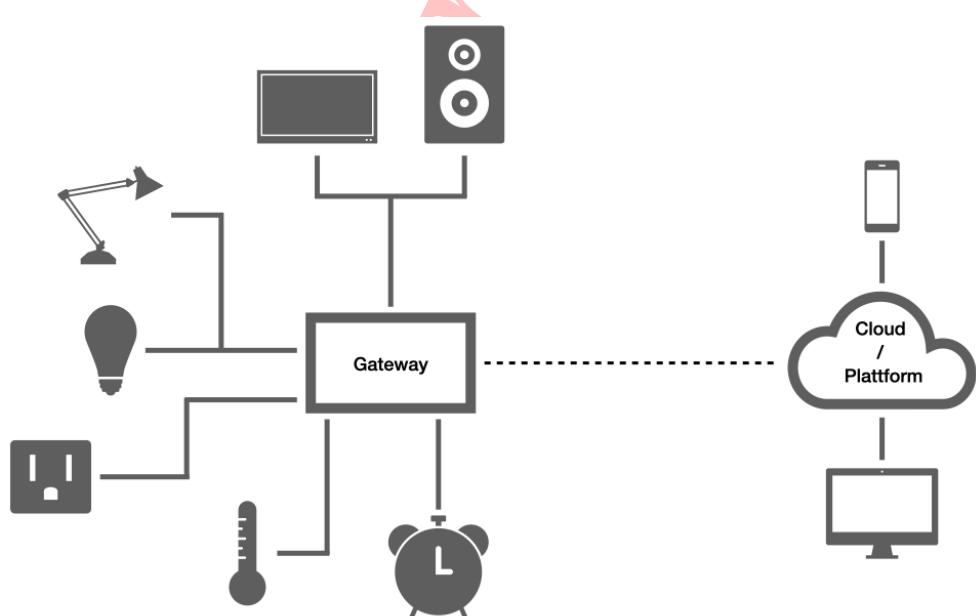


Abbildung 2.6: Aufbau und Funktionsweise einer Smart Home Infrastruktur

2.2.1 Smart Office - Intelligentes Büro

Ein Smart Office, im Deutschen intelligentes Büro, ist ein konkreter Anwendungsbereich des Smart Home. Während das Smart Home vorwiegend von der Verbesserung der Lebensqualität, der Einsparung von Energiekosten, der Optimierung des Wohlbefinden im privaten Wohnraum und der Erleichterung des Alltags des Nutzers handelt, zielt das Smart Office darauf ab, das Wohlbefinden und die Produktivität der Mitarbeiter zu steigern. Weitere wichtige Punkte sind neben den beiden aufgeführten auch die Erhöhung der Sicherheit der Büroräume und der Nachhaltigkeit durch z.B. Reduzierung des Stromverbrauchs. In diesem Zusammenhang spielt die Automation von Gebäudemanagement- und die damit verbundenen Sicherheitssysteme eine große Rolle.

Viele Funktionalitäten und Vorteile sind deckungsgleich zu denen des Smart Home. Durch intelligente Geräte, Aktoren und Sensoren ist die Steuerung von Licht, Raumtemperatur etc. möglich. Hervorzuheben ist unter anderem die mögliche Zutrittskontrolle per Gesichtserkennungssysteme, die an zentraler Stelle mit weiteren Komponenten kommunizieren und beliebige zusätzliche Schritte einleiten können. Ebenso zu nennen ist der Aspekt in Richtung Gebäudesicherheit und deren Ausbau, denkbar in Form von intelligenten Feuer- und Wassermeldern oder weiteren Maßnahmen, die durch Automationen abgebildet werden können.

In unserer heutigen Zeit ist die Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz von immer größerer Bedeutung. Automatische Abschaltungen von Beleuchtungen, Kaffeemaschinen, Monitoren oder anderen Geräten durch Präsenz- und Bewegungsmelder oder Remotesteuerungsoptionen können Ressourcen- und Energieeinsparungen umsetzen.

2.2.2 Historische Entwicklung

Im Bereich des Smart Home wurde im Jahr 1975 die erste Netzwerktechnologie für Hausautomationen präsentiert und vermarktet. Bekannt wurde diese unter dem Namen *xX0*¹⁰. Dabei handelt es sich um ein stromleistungsbasiertes Netzwerkprotokoll zur Gebäudeautomation. Die Schaltsignale werden über die Hausinstallation, das Stromnetz des Hauses, transportiert. Eingeführt wurde die Technologie von dem Unternehmen Busch-Jaeger unter dem Namen *Timac X10*. Es zeichnete sich durch die einfache Konfiguration und dessen interessanten Funktionen zu diesem Zeitpunkt aus [ASCENDORF 2014]. Die Weiterentwicklung des Systems, Timac X10, fand im Jahre 1998 statt, indem von Busch-Jaeger ein neues Produkt Namens *Powernet EIB* in Deutschland eingeführt wurde. Dieses baute ebenso auf dem grundlegenden Netzwerkprotokoll X10 auf und fügte sich nahtlos in den europäischen Installationsbus (EIB/KNX) ein [BUSCH-JAEGER 2021]. KNX ist ein Bussystem zur Gebäudeautomation, welches basierend auf dem EIB weiterentwickelt wurde. Es zählt heute noch zu den kabelgebundenen Standards. Im Jahre 2001 eröffnete die Fraunhofer IMS in Kooperation mit der Universität Duisburg-Essen die Fraunhofer-inHaus-Forschungsanlage [FRAUNHOFER 2021]. Innerhalb dieser Institution erforschten, entwickelten, testeten und demonstrierten Dienstleister, Hersteller und Nutzer mit dem Fraunhofer-Institut und der Universität neue Systemlösungen und weitere Produktkomponenten sämtlicher Arten im Bereich des Wohnens. Anfang des Jahres 2005 wurde die deutsche Telekom in dem Smart Home Bereich aktiv und präsentierte der Öffentlichkeit

¹⁰[https://de.wikipedia.org/wiki/X10_\(Protokoll\)](https://de.wikipedia.org/wiki/X10_(Protokoll)) - X10 Protokoll Erklärung. Abgerufen am 06.04.2022

ein vollständig vernetztes, „intelligentes“ Musterhaus in Berlin, das sogenannte *T-Com-Haus*. Anfang des Jahres 2012 wurde das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Sektor des Smart Home aktiv. Seitdem fördert die Behörde das „*Zertifizierungsprogramm Smart Home + Building*“, bei dem Forschungen im Bereich des Smart Home von Vertretern akademischer Einrichtungen und Industrieunternehmen durchgeführt werden. Ziele dabei sind unter anderem die Erstellung von Standards und Prüfsiegeln für systemübergreifende Interoperabilität der Geräte eines Smart Home [V. 2013]. 2013 präsentierte die deutsche Telekom neue Lösungen in einem weiteren Musterhaus in Darmstadt. Darin finden sich mehrere Komponenten und Vernetzungen als im Berliner Modell [BRAJKOVIC 2014], so die Nutzung verschiedener Funkstandards, die es ermöglichen, intelligente Geräte unterschiedlichster Hersteller zu konfigurieren und über ein Smartphone, Tablet oder Computer zu kontrollieren und zu steuern [BRAJKOVIC 2014]. Die Auswirkungen der rasanten Entwicklung dieser Technologie trieben das Interesse in die Höhe, sodass 2014 und 2015 die Technologie das Hauptthema der Internationale Funkausstellung (IFA) bei vielen Ausstellern war. Bis heute wird in dem Segment des Smart Home geforscht und immer weitere Funktionalitäten entwickelt. Der Trend der Nutzung von intelligenten Geräten ist weiter zunehmend. Die Marktsituation und der aktuelle Ist-Stand wird in dem Abschnitt Marktanalyse (4.1) nochmals aufgegriffen und mit Statistiken und Umfragen belegt.

2.2.3 Ziele von Smart Home

Die Ziele der intelligenten Vernetzung sind in erster Linie diejenigen, die die großen Domänen abdecken [LUBER und LITZEL 2019]:

- Komfort (Steuerung, Fernbedienung, Delegation und Automationen)
- Energie- und Kosteneffizienz
- Sicherheit (Überwachung)

Allgemein lässt sich der Komfort durch die fernungsunabhängige, bequeme Steuerung von Licht, Heizung, Unterhaltungselektronik, Service-Robotern und vielen weiteren Geräten steigern. Hierfür spielen beispielsweise Smartphones, zentrale Steuerungsgeräte und Tablets eine wichtige Rolle. Diese fungieren ähnlich wie eine herkömmliche Fernbedienung. Es können ebenso Prozesse automatisiert oder durch ein bestimmtes vorgegebenes Ereignis, welches eintreten kann, angestoßen werden. Mit diesen Automationen können gewünschte Wohnbedingungen zu bestimmten Anlässen und Zeiten erzeugt werden. Beispielsweise kann die Heizung vor Eintreffen reguliert werden, um die optimale Temperatur zu erreichen. Die Steuerung von Geräten spielt gleichermaßen eine Rolle in den Bereichen der Energie- und Kosteneffizienz und der Sicherheit.

Durch das Verbinden mehrerer Komponenten mithilfe einer Automation können Energiekosten verringert werden, wenn bspw. ein Temperaturabfall durch ein offenes Fenster von Sensoren gemessen wird und diese ein Signal übermitteln. Dementsprechend kann die Heizung für den Zeitraum ausgeschaltet oder reguliert werden, um überflüssige Wärmeerzeugung zu vermeiden. Weitere Einsparungen können durch das Ausschalten von aktuell nicht benötigten Ressourcentypen, wie z.B. Elektrogeräten oder LED-Lampen, vorgenommen werden.

Zuletzt ist die Erhöhung der Sicherheit und das Überwachen von Eingängen und Fenstern zu nennen. Die Bewegungsmelder und Sensoren können Aktivitäten registrieren und sind Auslöser für die Weitergabe der Information an den Eigentümer. Zusätzlich können mit Kameras Objekte überwacht werden, beispielsweise ein Haustier, das kurze Zeit alleine zuhause ist oder es können Einbruchversuche registriert und gemeldet werden. Auch eine Alarmierung bei Flutung des Kellers oder bei Hausbrand sind denkbar.

Die Geräte im Smart Home erreichen weitestgehend diese Ziele und werden stetig weiterentwickelt, verbessert und um neue Funktionalitäten ergänzt.

2.3 Technologien

Die bereits angesprochene Kommunikation und Vernetzung zwischen Geräten basiert im Allgemeinen auf diversen Protokollen. Um diese Datenbewegung und Kommunikation besser verstehen zu können, werden im Folgenden bekannte Protokolle erwähnt und aufgeführt und eines der meist verwendeten näher betrachtet. Um einen Vergleich herzustellen, wird ein vergleichbares Protokoll betrachtet. Diese werden dann zum Abschluss gegenübergestellt.

2.3.1 Übertragungsmethoden

Allgemein gibt es im Bereich des Smart Home mehrere Methoden und Möglichkeiten, die Objekte miteinander zu vernetzen. Dazu gehören Protokolle über Bluetooth, Ethernet, WLAN, Bussysteme, Funk und Stromleitung. Jeder Hersteller setzt diese abhängig von seinem Produkt passend ein. Proprietäre Systeme funktionieren nur über eine Übertragungsmethode. So erzwingen die Hersteller die Nutzung einer Produktlinie, bzw. den Kauf von Elementen eines einheitlichen Systems. Geräte, die die Möglichkeiten besitzen, über mehrere Protokolle zu kommunizieren, sind flexibler einsetzbar und mit mehreren Plattformen und Geräten kompatibel. Grundlegend werden mit diesen Übertragungsmethoden Netzwerke erstellt, über das die Geräte in einem Smart Home kommunizieren können.

Die Auflistung der zum aktuellen Zeitpunkt am meist verwendeten Übertragungsmethoden dient lediglich als Einblick in die verschiedensten Ausprägungen der Kommunikationstechnologie. Demnach wird im Rahmen dieser Arbeit das Thema nicht ausführlich vertieft. Die populärsten Übertragungsmethoden werden in folgender Tabelle aufgelistet¹¹:

¹¹ Auswahl von derzeit verwendeten Übertragungsmethoden. https://de.wikipedia.org/wiki/Smart_Home#Übertragungsmethoden Abgerufen am 02.04.2022

| Technologie | Übertragung | Frequenzbereich (Funk) | Proprietär |
|----------------|--------------------------------|------------------------|---|
| ZigBee | Funk | 2,4 GHz, 868 MHz | Nein |
| Z-Wave | Funk | 868 MHz | Nein |
| HomeMatic | Funk / Datenleitung | 868,3 MHz | Ja |
| KNX | Funk / Strom- und Datenleitung | 868 MHz / - | Nein / Ja (Datenleitung als Gesamtsystem) |
| Wi-Fi / WLAN | Funk | 2,4 - 5 GHz | Nein |
| Bluetooth | Funk | 2,4 GHz | Nein |
| io-homecontrol | Funk | 868-870 MHz | Ja |

Tabelle 2.4: Übertragungsmethoden des Smart Home

2.3.2 MQTT

Das Message Queue Telemetry Transport (MQTT)-Protokoll ist eines der ältesten offenen Netzwerk- und Nachrichtenprotokolle der M2M-Kommunikation. Dies wurde 1999 von IBM Mitarbeiter Andy Stanford-Clark¹² und von Cirrus Link Solutions Mitarbeiter Arlen Nipper¹³ entwickelt. Die Technologie ermöglicht die Übertragung von Messdaten, sogenannten Telemetriedaten, in Form von Nachrichten zwischen Maschinen und Geräten. Die erzeugten Messdaten durch beispielsweise Sensoren und Aktoren können durch ihre minimale Größe und die kompakte Form des Protokolls in einem kleinen Datenpaket auch bei hoher Verzögerung oder bei beschränktem Netzwerk übertragen werden [NAIK 2017]. MQTT ist ein klassisches Client-Server-Protokoll, welches nach dem *Publish-/Subscribe* Kommunikationsmodell entwickelt wurde. Ein MQTT-Client veröffentlicht Nachrichten an einen MQTT-Server, den sogenannten MQTT-Broker. Diese können von anderen Clients abonniert oder auf dem Broker für zukünftige Abonnements aufbewahrt werden. Jede erzeugte Nachricht wird an eine Adresse veröffentlicht, die als Thema, im Englischen *Topic*, bezeichnet wird [NAIK 2017]. MQTT-Clients können mehrere Topics abonnieren und erhalten jede Nachricht, die an das jeweilig abonnierte Topic gesendet wird.

Die Leichtgewichtigkeit des Protokolls ermöglicht es, die Nachrichten bei eingeschränkter Netzwerkverfügbarkeit zu übermitteln. Ausschlaggebend dafür ist das binär-basierte Protokoll, welches normalerweise einen festen Header von zwei Bytes mit kleinen Nachrichtennutzlasten von maximal bis zu einer Größe von 256 MB [NAIK 2017] enthält. Grundlegend ist MQTT auf der Basis des Transportprotokoll Transmission Control Protocol (TCP) aufgebaut und nutzt zur Verstärkung der Sicherheit die Transport Layer Security (TLS)/Secure Sockets Layer (SSL)-Verschlüsselung. Dadurch sind Client und Broker mit ihrer Kommunikation verbindungsorientiert. Die Anwendung

¹²Informationen zu Herrn Stanford-Clark <https://stanford-clark.com> Abgerufen am 12.04.2022

¹³Informationen zu Herrn Nipper <https://www.inductiveautomation.com/resources/podcast/the-co-inventor-of-mqtt-arlen-nipper-from-cirrus-link-solutions> Abgerufen am 12.04.2022

von MQTT im Bereich des Smart Home zeichnet sich durch die Möglichkeit aus, große Netzwerke mit vielen kleineren Geräten, die von einem Backend-Server, bzw. dem Backend-System überwacht und gesteuert werden müssen, zu betreiben. Dennoch ist es nicht für Multicast-Daten oder Übertragungen von Gerät zu Gerät ausgelegt. Die Nutzbarkeit von MQTT ist aufgrund der wenigen Steueroptionen und der Einfachheit des Messaging-Protokolls sehr simpel und leichtgewichtig [NAIK 2017].

Ein interessanter Aspekt des MQTT-Brokers ist, dass er die gesamte Datenlage seiner Kommunikationspartner aufbewahrt und so die Option bietet, zusätzlich als Zustandsdatenbank betrieben werden zu können. Weniger leistungsfähige Geräte können dadurch mit einem MQTT-Broker verbunden werden und Befehle und Daten entgegennehmen, zugleich entsteht aber ein komplexeres Lagebild auf dem Broker. So können Daten an einen leistungsfähigeren Kommunikationspartner weitergeleitet und dort ausgewertet werden.¹⁴

Auf diese Weise können durch das Message Queue Telemetry Transport-Protokoll Automatisierungs-lösungen geschaffen werden, wodurch im Segment IoT und Smart Home eine einfache Verwendung ermöglicht wird. Dementsprechend fand bis heute eine schnelle Verbreitung statt.

Zusammengefasst ist der MQTT-Broker die Kommunikationsschnittstelle der Smart Home-Geräte und der Smart Home-Plattform. Alle Kommunikationspartner können so Informationen (Nachrichten / Messages) auf bestimmte Topics (Endpunkten) senden und diese abonnieren (publish / subscribe).

Publish/Subscribe Kommunikationmodell

Das Prinzip des Publish/Subscribe Kommunikationsmodells besteht darin, dass Komponenten, die an vorgegebenen Topics interessiert sind, bestimmte Informationen konsumieren und ihr Interesse anmelden [HUNKELER, TRUONG und STANFORD-CLARK 2008]. Dieser Vorgang wird als Abonnement (subscription) bezeichnet. Geräte, die an dem Vorgang oder an bestimmten Informationen interessiert sind, werden als Abonnenten (subscriber) definiert. Im Gegenzug können Geräte und Komponenten bestimmte Informationen produzieren und diese veröffentlichen (publish) und über den Markler (broker) an bestimmte Abonnenten weitergeben. Diese Vermittlung der Informationen zwischen Herausgeber (publisher) und Abonnent (subscriber) erfolgt über den Markler, welcher sämtliche Abonnements koordiniert. Alle Abonnenten müssen sich explizit bei dem Broker anmelden, um die Informationen zu erhalten [HUNKELER, TRUONG und STANFORD-CLARK 2008].

¹⁴<https://mqtt.org> Abgerufen am 13.04.2022



Abbildung 2.7: Themenbasiertes Pub/Sub Kommunikationsmodell [HUNKELER, TRUONG und STANFORD-CLARK 2008]

Dieses Prinzip ist die Grundlage des MQTT-Protokolls. Im Folgenden wird ein Beispiel aufgezeigt, welches die Kommunikation über das Publish/Subscribe Modell darstellt.

Beispiel

Damit am Beispiel der Steuerzentrale, die im Rahmen dieser Arbeit konzipiert und prototypisch implementiert wird, ein Prozess gestartet werden kann, müssen bestimmte Ereignisse durch MQTT-Nachrichten eintreten. Das hier verwendete Beispiel ist das Öffnen einer Büroeingangstür. Hierbei wird von einem Relais an der Tür, welches das Türschloss steuert, eine Nachricht an den *Broker* herausgegeben:

1 publish –topic: Buero/Tuer/Zustand –message: "offen"

Code-Beispiel 2.1: Erzeugung und Veröffentlichung einer Nachricht

Diese Nachricht wird von der Steuerzentrale konsumiert und weiterverarbeitet. Damit der Informationskanal (topic) über die Steuerzentrale verfügbar ist, muss dieser Kanal konsumiert werden:

1 subscribe –topic: Buero/Tuer/Zustand

Code-Beispiel 2.2: Empfang und Konsum einer Nachricht

Mit der empfangenen Nachricht kann dann über die Steuerzentrale ein Prozess, welcher vorab als Regel implementiert wurde, ausgelöst werden, beispielsweise eine Durchsage im Büro.

2.3.3 AMQP

Das Advanced Message Queue Protocol (AMQP)-Protokoll ist ebenso ein leichtgewichtiges M2M-Protokoll, welches im Jahre 2003 von John O'Hara JPMorgan Chase in London, Großbritannien, entwickelt wurde [NAIK 2017]. Der Fokus dieses Protokolls liegt auf der Unternehmens-Messaging-Ebene. Es wird hohen Wert auf die Zuverlässigkeit, Sicherheit, Bereitstellung und Interoperabilität der Kommunikation gelegt. AMQP unterstützt neben der Publish/Subscribe- auch die Request/Response Architektur. Es bietet eine Bandbreite an Funktionen im Zusammenhang mit Messaging, wie z. B. Queuing, themenbasiertes Publish-and-Subscribe-Messaging, flexibles Routing und Transaktionen [NAIK 2017]. Das Kommunikationsmodell nach dem AMQP Standard erfordert, dass der Herausgeber (publisher) oder der Empfänger (subscriber) einen *Austausch (exchange)* mit einem bestimmten Namen generiert und diesen dann sendet [NAIK 2017]. Die beiden Komponenten, Empfänger und Herausgeber, nutzen den Namen zum Austausch und zum Verbindungsauftbau. Der Empfänger erstellt darauf eine Warteschlange (queue) und hängt diese an den Austausch an. Nachrichten, die über diese Verbindung ausgetauscht werden, müssen über einen gesonderten Prozess (binding) mit der Warteschlange abgeglichen werden [NAIK 2017].

Das binäre Protokoll AMQP erfordert einen Header von acht Byte mit Nachrichtennutzlasten. Die Größe der Nachricht ist abhängig von dem Broker, bzw. dem Server. Die verbindungsorientierte Kommunikation von AMQP baut auf dem Standard-Transportprotokoll TCP auf. Durch das TLS/SSL-Protokoll wird die Kommunikationssicherheit gewährleistet. Ein Wesensmerkmal des AMQP Kommunikationsmodells ist die Zuverlässigkeit [NAIK 2017].

Der direkte Vergleich der beiden Protokolle, MQTT und AMQP, ist dem Anhang (A) beigelegt.

Neben den beiden aufgeführten Kommunikationsmodellen gibt es noch weitere, darunter das klassische Hypertext Transfer Protocol (HTTP) und das Constrained Application Protocol (CoAP), die allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt werden.

2.4 Home Assistant

Eine der etablierten Smart Home Plattformen ist das sogenannte Home Assistant System. Die Open-Source-Software ist ein zentrales Steuerungssystem von Heimautomationen, ebenso ist eine Verwaltung von intelligenten Geräten mit dem Fokus der lokalen Steuerung und Sicherung der Privatsphäre möglich. Der Zugriff kann über die Smartphone-App, jeweils verfügbar für iOS und Android, oder auch über die webbasierte Benutzeroberfläche (Web-App) erfolgen. In dem lokalen System können auch Geräte per Sprachbefehl gesteuert werden. Kompatible Plattformen sind unter anderem Google Assistant, Amazon Alexa und Apple HomeKit. Home Assistant bietet eine vielfältigere Verknüpfung von Geräten, Services und Plattformen. Die zentrale Steuerung unterstützt durch modulare Integrationskomponenten die einzelnen Geräte, Anwendungen und Services. Für die drahtlose Kommunikation werden native Integrationskomponenten verwendet, darunter Bluetooth, ZigBee und Z-Wave. Diese werden verwendet, um lokale Personal Area Network (PAN) mit Geräten mit geringem Stromverbrauch aufzubauen. Die Steuerung kann auch mit proprietären Ökosystemen stattfinden, sofern diese eine offene API oder Anbindungen über MQTT anbieten.¹⁵ Die Platform ist in Python geschrieben, wird aktiv instand gehalten und durch eine große Community unterstützt. Die Software ist allgemein unter der Apache 2.0, veröffentlicht. Der folgende Abschnitt befasst sich in Kürze mit der Historie des Systems.

Historie

Anfang des vierten Quartals im Jahr 2013 startete das Python-Projekt von Paulus Schoutsen und wurde im November 2013 erstmals auf GitHub veröffentlicht.¹⁶

Vier Jahre nach den ersten Entwicklungen der Smart Home Plattform wurde im Juli 2017 ein verwaltetes Betriebssystem mit dem Namen *Hass.io* implementiert.¹⁷ Dadurch gelang der Durchbruch der vereinfachten Verwendung der Home Assistant Plattform auf kleineren Computern, sogenannten Einplatinencomputern, wie beispielsweise ein Gerät der Raspberry Pi Serie. In Zusammenhang mit dem Betriebssystem kam ein *Supervisor*-Verwaltungssystem hinzu, das den Benutzern die Verwaltung, Sicherung und Aktualisierung der lokalen Installation erleichtert. Ein weiteres Feature des Supervisors ist die Möglichkeit, der Plattform über Add Ons weitere Funktionalitäten zur Verfügung zu stellen.¹⁸

Die Software wird stetig weiterentwickelt und verbessert. Mittlerweile gehört sie zu den am meisten genutzten Open-Source-Plattformen im Bereich Smart Home.

¹⁵Definition von Home Assistant. https://en.wikipedia.org/wiki/Home_Assistant Besucht am 16.04.2022

¹⁶Anfänge von Home Assistant. <https://www.linux.com/topic/embedded-iot/home-assistant-python-approach-home-automation/> Besucht am 18.04.2022

¹⁷Verkündigungen von Home Assistant. <https://www.home-assistant.io/blog/categories/announcements/> Besucht am 18.04.2022

¹⁸Einstieg in das Hass.io Betriebssystem. <https://www.home-assistant.io/blog/2017/07/25/introducing-hassio/> Besucht am 18.04.2022

2.4.1 Konzept und Architektur

Home Assistant bietet eine Plattform für die zentrale Haussteuerung und die damit einhergehende Steuerung von Heimautomationen. Die Software ist nicht nur eine einfache Steuerungs- und Konfigurations-Software, sondern ein eingebettetes Betriebssystem, das verbraucher- und nutzerorientiert das Verwenden und Konfigurieren von Haussteuerungen erleichtert.¹⁹

Damit der offene Ansatz von Home Assistant gegenüber Anbietern von intelligenten Geräten nicht eingeschränkt ist, bietet die Software Möglichkeiten, um viele Geräte zu integrieren und über die Plattform zu nutzen. Somit begegnet Home Assistant der Heterogenität des offenen Marktes, in sofern, dass diese Geräte auf gemeinsame Konzepte gebracht werden. Diese sind in vier Konzepte aufgeteilt, mit der die Vereinheitlichung vorangetrieben werden kann:

- Integration (Integration): Integrationen repräsentieren die Geräte und Dienste innerhalb der Home Assistant Anwendung. Ebenso können mittels Integrationen auch Daten von Datenpunkten abgerufen werden.
- Gerät (Device): Nach der Konfiguration der Integration werden die Geräte in Home Assistant angelegt. Diese werden dann als erkannte Geräte der Integration dargestellt, z.B. als Temperatur-, Licht- oder Feuchtigkeitssensor.
- Entität (Entity): Die Datenpunkte sind die Geräte, die sogenannten Entitäten, die durch die Integrationen standardisiert werden. Dies sind Objekte, die Funktionalitäten oder Daten des Gerätes darstellen, z.B. die Temperatur, Helligkeit oder die Feuchtigkeit.
- Automatisierung (Automation): Automatisierungen sind Prozesse, die bei einem bestimmten ausgelösten Event ausgeführt werden sollen. Dieses Auslöser (trigger) können Zeitpunkte, Ereignisse oder manuell gesteuerte Aktionen des Nutzers sein, z.B. das Ausschalten des Bürolichts, wenn durch einen Bewegungssensor fünf Minuten keine Bewegung festgestellt wurde oder wenn der Helligkeitswert, der über den Sensor festgestellt wurde einen bestimmten Wert erreicht hat, soll das Licht ebenso ausgeschaltet werden.

Die Architektur der Home Assistant Anwendung ist grundlegend als eingebettetes System eines Betriebssystem aufgestellt, welches in drei Schichten aufgeteilt ist. In unterster Ebene befindet sich das Betriebssystem, welches als minimales Linux System postiert ist, um die darauf liegenden Schichten, den Aufseher (supervisor) und den Kern (core), zu betreiben. Mit dem Supervisor wird das Betriebssystem verwaltet und konfiguriert. Der eigentliche Kern interagiert mit dem Supervisor, den Geräten und den Services.

Der Supervisor ist die Schicht über dem Betriebssystem. Die Kommunikation der beiden Komponenten findet über einen D-Bus statt. Diese Zwischenschicht ermöglicht dem Benutzer die Verwaltung der Home Assistant Installation.

Die Aufgaben des Supervisors sind wie folgt definiert²⁰:

¹⁹Konzept und Architektur von Home Assistant. https://developers.home-assistant.io/docs/architecture_index Besucht am 19.04.2022

²⁰Architektur des Supervisors. <https://developers.home-assistant.io/docs/supervisor> Besucht am 22.04.2022

- Dieser führt den Home Assistant Kern (Core) aus.
- Dieser führt die Updates des Home Assistant Core aus.
- Dieser führt einen *Rollback* bei fehlgeschlagenem Update durch.
- Dieser führt Sicherungen und Wiederherstellungen durch.
- Dieser verwaltet die Add Ons der Core Instanz.

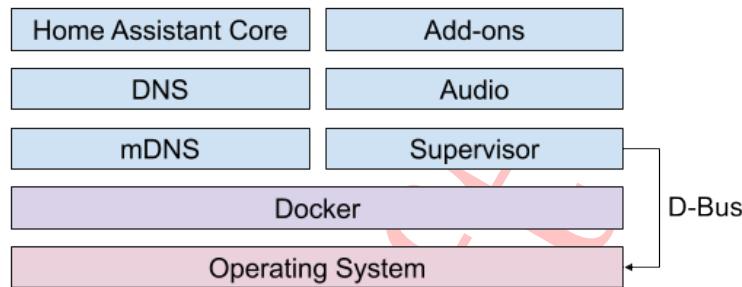


Abbildung 2.8: Architektur des Home Assistant Supervisors [SCHOUTSEN 2020]

Die auf dem Supervisor aufbauende Architektur ist die der Anwendung, der sogenannte Core. Dieser besteht aus vier Komponenten, welche den Hauptteil abbilden: Event Bus, State Machine, Service Registry und Timer²¹.

Mit dem Event Bus wird das Abhören und Auslösen von Events und Ereignissen erleichtert. Die Komponente stellt eine Eigenschaft der Home Assistant Anwendung dar. Die Zustandsmaschine (State Machine) ist eine weitere Komponente, mit der die Zustände der Gegenstände, wie Sensoren, Service- oder Saugroboter uvm., überwacht und deren Änderungsereignisse an den Event Bus ausgelöst werden. Mit der Dienstregistrierung (Service Registry) wird der Event Bus auf eingehende Aufrufe von Diensten abgehört. Über die Service Registry kann der Benutzer Dienste hinzufügen und verwalten. Mittels der Entwicklertools, die über das User Interface (UI) aufgerufen werden können, kann der Benutzer die Dienste und Automatisierungen anwählen und konfigurieren. Das letzte Element, der Timer, ist ebenso eine Komponente der Architektur, die zeitveränderte Ereignisse gemäß einer gegebenen Frequenz an den Event Bus sendet. Somit können zeitbasierte Automatisierungen vereinfacht und ausgelöst werden. Als Datenbank wird eine nicht cloudbasierte SQLite²² Datenbank verwendet. Diese ist nur auf dem Gerät enthalten und wird nicht über das Internet übertragen. Im lokalen Netzwerk hat der Nutzer die Möglichkeit, auf die Datenbank zuzugreifen und eine Historie von Aktionen einzusehen. Eine Verlaufskomponente, die ebenso im Core enthalten ist, speichert die Ereignisse innerhalb der Plattform. Somit können Nutzer auf alle gespeicherten Informationen zu Hause zugreifen und diese einsehen [LI u. a. 2018].

²¹Entwickler Dokumentation der Plattform. <https://developers.home-assistant.io/docs/> Besucht am 24.04.2022

²²Structured Query Language, eine Datenbanksprache zur Definition, Abfrage und Bearbeitung von Datenstrukturen in relationalen Datenbanken

Home Assistant Core Architecture

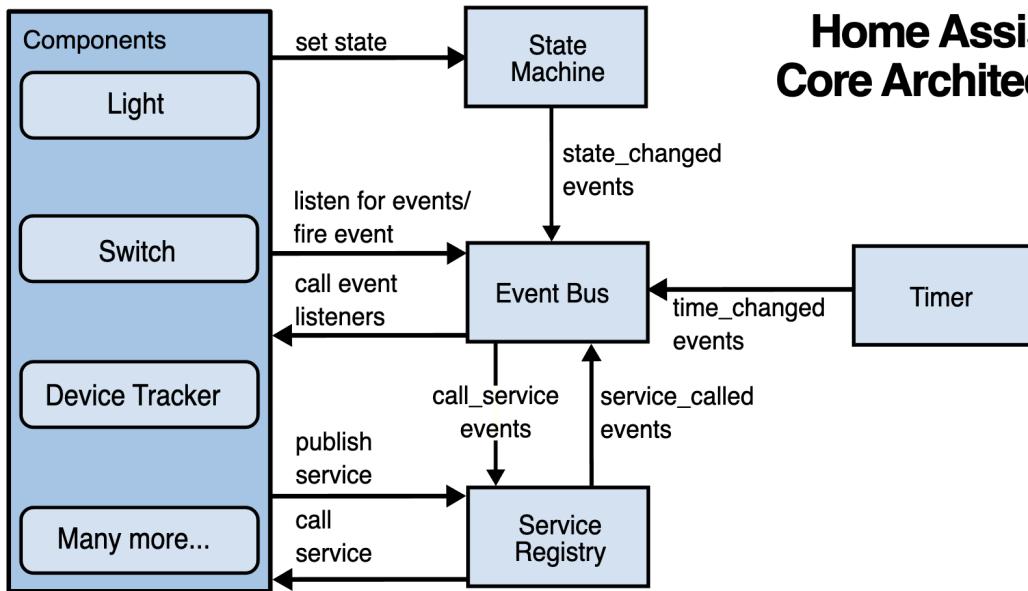


Abbildung 2.9: Architektur des Home Assistant Cores [LI u. a. 2018]

2.4.2 Ziele und Schwerpunkte

Jede Softwarelösung verfolgt bestimmte Ziele und Schwerpunkte, um die Zielerreichung, die sog. Definition of Done (DoD), messbar zu machen. Die mit der Home Assistant Plattform verfolgten Ziele sind unter anderem der Schutz der Privatsphäre und die Datensicherheit, die Wahlmöglichkeit zur Anbindung von Geräten und die Haltbarkeit der Plattform²³.

Der Schutz der Privatsphäre wird durch Home Assistant gewährleistet, indem das System selbst nur im eigenen Netzwerk betrieben wird und es Geräteanbietern somit nicht ermöglicht wird, Daten abzugreifen und daraus Verhaltensmuster zu analysieren. Home Assistant setzt voraus, dass die Möglichkeit der Datenschnittstelle über das Internet optional eingestellt werden kann.

Home Assistant bietet den Vorteil einer breitgefächerten Auswahlmöglichkeit von Geräten und Verknüpfungen, sodass der Endnutzer zwischen verschiedenen Geräteherstellern wählen kann, z.B. Bewegungssensoren von Ikea, LED-Leuchten von Philips und Thermostate von Netatmo und diese wahllos über Automatisierungen kombinieren kann.

Mit den von Home Assistant verfolgten Zielen gehen folgende Schwerpunkte einher:

Dazu gehört die Kontrollierbarkeit über eine einzige zentrale Stelle und die Konfiguration von

²³Schwerpunkte der Home Assistant Plattform. <https://www.home-assistant.io/blog/2021/12/23/the-open-home/> Besucht am 24.04.2022

Automationen, die Prozesse selbstständig auslöst. Durch die Möglichkeit der Automatisierung und Steuerung von Komponenten im Eigenheim, bzw. im Büro kann der Komfort erhöht als auch die Energie- und Stromkosten gesenkt werden. Die Kompatibilität der Plattform ermöglicht die Verwendung von mehreren Geräten und Herstellern über eine zentrale Stelle, der Home Assistant Software. Dies ermöglicht dem Nutzer die uneingeschränkte Verwendung von Geräten und die Unabhängigkeit zu Herstellern, die ggf. die Geräte preislich über dem Marktdurchschnitt anbieten. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Reduzierung des Datenkommunikationsflusses über das Internet, die durch das geschlossenen System mit wenig Kommunikationsschnittstellen nach außen erreicht werden kann. Ein Indiz dafür ist die zugrundeliegende lokale Datenhaltung über eine Datenbank, die direkt auf der Hardware läuft, auf der ebenso die Plattform betrieben wird.

2.4.3 Stärken und Schwächen

Die Stärken und Schwächen der Plattform belaufen sich auf die folgenden Aspekte:

| Stärken | Schwächen |
|--|---|
| Open-Source-Software | Schwerer Einstieg für neue Nutzer im Hinblick auf die Konfiguration der Automationen |
| Privatsphäre & Datenschutz | Automationen im YAML-Datenformat und benutzerdefinierte Komponenten können für neue Benutzer schwierig sein |
| Große Community | Langwierige Installationen von Integrationen |
| Automationen sind sehr mächtig | Die Erweiterung, Einrichtung und Konfiguration erfordert die Bearbeitung von YAML-Dateien und einen Neustart bei jeder Änderung |
| Stetige Aktualisierung, Weiterentwicklung und Fehlerbehebung | Automationen können kompliziert aufgebaut sein |
| Unterstützung vieler Geräte (Herstellerunabhängigkeit) und großflächige Kompatibilität | Nutzung von ZigBee und Z-Wave erfordert jeweils eigene Konfigurationen, welche die All-in-One Lösung erschwert. |
| Individuelle Modifikation der UI | |
| Kann auf beliebiger Hardware ausgeführt werden | |

Tabelle 2.5: Stärken und Schwächen der Home Assistant Plattform

Die Konfiguration von Automationen, Funktionen und Integrationen über YAML-Dateien kann einerseits als Stärke gewertet werden, da die Syntax flexibel einsetzbar ist, und andererseits als Schwäche, da die Konfigurationen schnell unübersichtlich werden und anfangs schwer zu verstehen sein kann. Der Aufwand steigt je nach Anforderungen der zu implementierenden Funktion und deren Abhängigkeiten zu Geräten und gegebenenfalls zu anderen Prozessen und Automationen.

2.4.4 Optionen der Regel- und Automatisierungserstellung

Home Assistant bietet zum Umsetzen von Regeln und Automationen²⁴ eine Option an. Dabei werden die Informationen über YAML-Dateien dargestellt. Hierbei gilt ein klares Konstrukt, welches eingehaltenen werden muss, um lauffähige Regeln und Automationen ausführen zu können. Für den Nutzer wird lediglich die Option geboten, die Automationen über eine Oberfläche zu erstellen. In dieser Form gibt ein Template die einzustellenden Möglichkeiten vor. Hierbei kann der Name und der Modus der Automation festgelegt werden. Anschließend wird ein Auslöser, beispielsweise ein Gerät oder eine Zeitangabe, definiert und entsprechend eine Bedingung zur Ausführung der Automation festgelegt. Nach den Schritten wird die eigentliche Aktion hinzugefügt, die ausgeführt werden soll, wenn die Bedingung erfüllt ist. Die generierte Automation wird als YAML-Datei gespeichert und kann ebenso über einen Editor in Rohformat editiert werden. Eine Automation über eine YAML-Datei in der Home Assistant Software gibt ein Konstrukt vor, welches mit den oben genannten Eigenschaften gefüllt werden muss. Die dafür vorgesehene Schablone sieht wie folgt aus:

```
1   automation:
2     - alias: "<NAME>"
3       trigger:
4         <TRIGGER>
5         condition:
6           - <TRIGGER_CONDITION> OR
7             <TRIGGER_CONDITION2> ...
8         action:
9           - <ACTION>
```

Code-Beispiel 2.3: Konstrukt zur Regeldefinition über Home Assistant

²⁴Erstellen von Regeln und Automationen über Home Assistant. <https://www.home-assistant.io/docs/automation/> Abgerufen am 28.05.2022

2.5 openHAB

Neben der erläuterten Home Assistant Plattform zählt openHAB zu den bekanntesten Open-Source-Systemen im Bereich des SH. Der open Home Automation Bus (openHAB) ist eine Plattform, bei der es sich um eine Softwarelösung handelt, die auf Basis der Programmiersprache Java aufgebaut ist. Die Software steht unter der Eclipse Public License und zählt zu der Rubrik der Open-Source-Software. Durch die Verwendung von Java ist die Anwendung betriebssystemunabhängig und kann auf beliebigen Betriebssystemen laufen. Ähnlich zu der vorgestellten Home Assistant Software bietet openHAB ebenso Benutzeroberflächen, sog. User Interfaces, die durch den Webbrower, Android- und iOS-Geräte unterstützt werden.

In Kombination mit Java wird bei openHAB das Open Service Gateway initiative (OSGi)-Framework für die Modularität der Software verwendet. Mit Apache Karaf wird ein Container bereitgestellt, der mit Eclipse Equinox als OSGi Laufzeitumgebung agiert. Als HTTP-Server ist Jetty in Gebrauch. Die einzelnen Frameworks werden nicht im Detail erläutert, lediglich die für das Verständnis des Konzeptes notwendigen.

Mit openHAB wird eine hochmodulare Software zur Verfügung gestellt, die durch sogenannte *Add-ons* erweitert werden kann. Durch diese wird der Plattform eine breite Palette an Funktionen geboten. Physische Geräte können in großer Anzahl mit der Plattform interagieren und verknüpft werden.²⁵

Historie

Das Smart Home Projekt begann im November 2009 und wurde von Kai Kreuzer entwickelt²⁶. Im Februar 2010 wurde das Projekt unter dem Name openHAB bekannt. Nach zweieinhalbjähriger Entwicklung, im Dezember 2012, gab Herr Kreutzer ein Statement zu der Verwendung von OSGi ab, in der er seine Entscheidung, das Framework einzusetzen, mit Begeisterung als richtig hervorgehoben hat.

„Looking back at this evolution of the project, I am perfectly sure that if I had designed openHAB as a normal Java application instead of an OSGi application, it would not have prospered as it did. It is really the choice of the software architecture that made it happen - and as a nice side effect, the community is not a pure user community as it is the case for many other Open Source projects, but it is full of engaged people who actively contribute to the project.[KREUZER 2012]“

Mit der stetig an Funktionen wachsenden Anwendung wuchs auch das Interesse der Community, an diesem Projekt mitzuwirken. 2014 betitelte Kreutzer das Jahr als Jahr des Smart Home, da die Beteiligung, das Interesse und die Entwicklung ausgesprochen zunahm und die Community immer größer wurde [KREUZER 2014]. Seither gab es unter anderem weitere architektonische Veränderungen und Verbesserungen des Systems, sowie Ergänzungen um zusätzliche Protokolle zur

²⁵ Einleitung zu openHAB. <https://www.openhab.org/docs/> Abgerufen am 25.04.2022

²⁶ Chronologie und Blogbeiträge von Kai Kreutzer. <http://kaikreuzer.blogspot.com> Abgerufen am 28.04.2022.

Kommunikation und Anbindung verschiedenster Geräte. Im Laufe des Ausbaus wurde eine mobile Anwendung entwickelt, mit der die Remotesteuerung implementiert wurde. Die Software wird bis heute regelmäßig gepatched und von der Community unterstützt.

2.5.1 Konzept und Architektur

Die Steuerungsplattform openHAB bietet vergleichbar zu Home Assistant die Möglichkeit der multifunktionalen Verknüpfung von Geräten und Protokollen. An dieser Stelle werden ebenso mehrere Konzepte verwendet, die die Vereinheitlichung der Plattform verstärkt. Die Konzepte der openHAB Software sind in drei größere Rubriken aufgeteilt, die sich wie folgt zusammensetzen:

Die erste Rubrik sind die Dinge (Things), sogenannte Entitäten, die als physische Komponenten zu einem System hinzugefügt werden können. Diese können soweit vom Hersteller ermöglicht mehrere Funktionen erfüllen, so kann zum Beispiel ein Sensor Bewegung und Temperatur erfassen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Dinge nicht immer Geräte sein müssen, sondern auch andere Informationsquellen oder Webdienste sein können. Aus Sicht des Benutzers sind sie für den Einrichtungs- und Konfigurationsprozess relevant, für den Betrieb jedoch potentiell zu vernachlässigen. Dinge können Konfigurationseigenschaften haben, die optional sein können. Solche Eigenschaften können grundlegende Informationen wie eine IP-Adresse, ein Zugriffstoken für einen Webdienst oder eine gerätespezifische Konfiguration sein, die veränderbar sind [PRANZ und SCHILLER 2018]. Mit dem Konzept der Dinge gehen zwei Unterkategorien einher:

- Kanäle (Channels): Jedes Gerät, bzw. Ding stellt Kanäle bereit, mit denen die jeweiligen Funktionen abgebildet werden. Mit der Anbindung des physischen Gerätes an die Plattform ist der Kanal eine konkrete Funktion dieser Entität. Beispielsweise kann eine Glühbirne einen Kanal für die Farbtemperatur und einen für den Farbwert besitzen. Diese stellen beide die Funktionalität der Glühbirne für das System bereit. Grundlegend sind Kanäle mit Elementen verknüpft, mit denen die virtuelle und physische Ebene verbunden wird. Sobald eine Verbindung hergestellt wird, kann ein Gerät über die Plattform angesteuert werden, indem ein Ereignis an die Entität kommuniziert wird. Wird z.B. über die Plattform eine LED-Leuchte eingeschaltet, so wird über das entsprechende Event die Lampe eingeschaltet. Einerseits ist die Verknüpfung zu einem Kanal die Vorbedingung zur vorgesehenen Kommunikation zwischen Gerät und Plattform, andererseits werden Ereignisse für Objekte nur dann gesendet, wenn diese mit mindestens einem Kanal des Dinges verknüpft sind [PRANZ und SCHILLER 2018].
- Brücken (Bridges): Die Brücke ist eine besondere Art eines Gerätes. Diese müssen dem System hinzugefügt werden, damit der Zugriff auf andere Dinge ermöglicht wird, bzw. erhalten bleibt. Ein IP-Gateway für Hausautomationssysteme, welches nicht IP-basiert funktioniert, ist ein typisches Beispiel für so eine Brücke.

An zweiter Stelle stehen die Artikel (Items). Diese Elemente stellen Funktionen dar, die von der Anwendung selbst verwendet werden. Darunter zählen hauptsächlich die Automatisierungslogik oder auch die Benutzeroberflächen. Durch Ereignisse werden Elemente verwendet, die einen veränderbaren Zustand besitzen. Elemente können in Gruppen zusammengefasst werden. Ein Gruppenelement kann

auch Mitglied einer weiteren Gruppe sein. Diese zyklischen Mitgliedschaften sind nicht verboten, werden jedoch von den Entwicklern der openHAB als nicht praktikabel dargestellt, da ansonsten die Konstellation zu komplex wird. Deshalb raten Experten von der Erzeugung zyklischer Verbindungen ab. Über Benutzeroberflächen können einzelne Gruppenelemente als alleinstehender Eintrag angezeigt werden und eine Navigation zu den jeweiligen Mitgliedern bereitstellen.

Die dritte übergreifende Rubrik ist die der Bindungen und Links (Bindings and Links). Diese können als Softwareadapter betrachtet werden, die die Dinge für Hausautomationssysteme zur Verfügung stellen [PRANZ und SCHILLER 2018]. Aufgabe der Komponente ist die Verknüpfung von Elementen mit physischen Geräten. Um dies zu ermöglichen, werden die spezifischen Kommunikationsanforderungen eines Gerätes abstrahiert. Dadurch ist eine abstrakte Behandlung der Komponenten durch das System möglich. Links stellen das Bindeglied zwischen Dingen und Gegenständen dar. Es ist die Verknüpfung von genau einem Element und einem Kanal. Elemente und Kanäle haben keine eins zu eins Beziehung zueinander. Eine Verknüpfung mit mehreren Komponenten ist auch hier möglich.

Neben den drei übergreifenden Konzepten gibt es weitere Konzepte²⁷. Diese werden im Folgenden aufgelistet:

- Seitenverzeichnis (Sitemaps): Dies beinhaltet die Konfiguration eines Seitenverzeichnisses, mit dem Schalter, Regler, Texte und vieles mehr hinzugefügt werden kann. Diese Ansichten repräsentieren den Status eines Elements. Darüber hinaus ist durch das Seitenverzeichnis die Steuerung und Überprüfung der Elemente möglich.
- Regeln (Rules): Eine Regel ist die Verknüpfung eines Ereignisses und einer Aktion. Somit wird nach einem bestimmten Ereignis eine Aktion ausgeführt. Wird z.B. ein Fenster geöffnet, soll die Heizung bis zu dessen Schließung abgeschaltet werden.
- Persistenz (Persistence): Mit der Persistenzschicht kann festgelegt werden, welche historischen Zustandsereignisse und Informationen gespeichert werden sollen. Dadurch kann nach Systemausfall der Status des Elementes wiederhergestellt werden.
- Modelle (Models): Modelle stellen baumbasierte Gruppierungen von Elementen dar. In der Baumstruktur können Elemente Orte, Punkte und Ausrüstungen sein. Beinhaltet z.B. ein Wohnzimmer als Standort zwei intelligente Geräte, Heizung und LED-Leuchte, so kann dies als Modell definiert werden. Die Heizung als Ausstattung kann wiederum weiter Informationen abbilden, bspw. die *Ist- und Soll-Temperatur*.
- Seiten (Pages): Alle Seiten und Seitenverzeichnisse kontrollieren die Zustände von Elementen und greifen auf diese zu. Mit openHAB 3 wurden weitere Möglichkeiten hinzugefügt, um benutzerdefinierte UIs, Diagramme, Grundrisse oder Layouts zu definieren.
- Skripte (Scripts): Skripte sind ähnlich zu den Regeln. Diese spezifizieren eine Aktion und kein Ereignis. Die Skripte können manuell, aber auch über andere Skripte und Regeln ausgeführt werden.

²⁷Historie und Konzepte von openHAB. <https://www.openhab.org/docs/concepts/> Besucht am 28.04.2022

Die anfängliche Architektur der openHAB Anwendung teilt sich in drei Sektionen auf: Die Kernkomponenten (blau), das drunter liegende OSGi-Framework (grün) und die Erweiterungen (Add-Ons) (gelb).



Abbildung 2.10: Architektur der openHAB Plattform [KREUZER 2013]

Mit der wesentlichen Aktualisierung von openHAB zur architektonisch aktuellen Version openHAB 2.0 gab es auch einige Änderungen an dem grundlegenden Aufbau des Systems. Es basiert hauptsächlich auf dem Eclipse SmartHome Framework und nutzt Apache Karaf zusammen mit Eclipse Equinox, um eine OSGi Laufzeitumgebung zu erstellen. Jetty wird als HTTP Server verwendet.

*Eclipse SmartHome*²⁸ ist ein IoT Projekt, welches sich aus der ersten Version der openHAB Plattform entwickelte. Diese wurde von der Eclipse Foundation übernommen und weiterentwickelt. Es stellt das Kern-Framework für Smart Home Systeme dar und ist essentieller Bestandteil der openHAB Plattform. Das Framework ist mittlerweile archiviert und erhält keine weiteren Aktualisierungen.

*Apache Karaf*²⁹ ist eine OSGi basierte Laufzeitumgebung, über die verschiedene Komponenten mittels Container bereitgestellt werden können. Dieses Framework zählt zu denen der Apache

²⁸ Eclipse SmartHome. <https://projects.eclipse.org/projects/iot.smarthome> Abgerufen am 29.04.2022

²⁹ Apache Karaf. <https://karaf.apache.org/> Abgerufen am 29.04.2022

Software Foundation und unterliegt der Apache V2 Lizenz.

*Eclipse Equinox*³⁰ ist eine modulare Java basierte Laufzeitumgebung und eine Implementierung des OSGi Frameworks. Der Begriff der *Bundles* ist das Kernstück der OSGi-Spezifikation. Diese werden verwendet, um die Modularität für Java zu erfassen. Ein Bundle ist eine Standard-Java-JAR-Datei, dessen Manifest zusätzliches Markup enthält, welches das Bundle identifiziert und seine Abhängigkeiten angibt. Als solches ist jedes Bundle vollständig selbstbeschreibend [PRANZ und SCHILLER 2018].

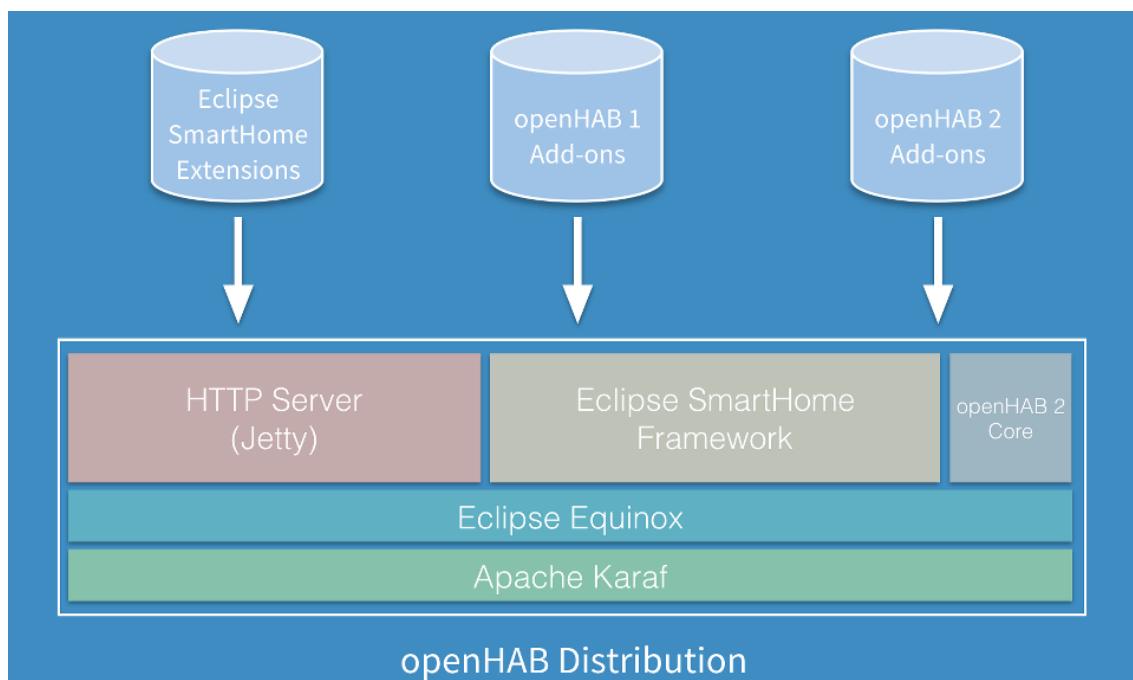


Abbildung 2.11: Architektur der openHAB 2.0 Plattform [KREUZER 2016]

Die Plattform befindet sich aktuell in der Version 3. Grundlegende Änderungen der Architektur gab es jedoch bei der Aktualisierung der Systemversion von zwei auf drei nicht, weshalb obiges Architekturnschaubild (2.11) als aktuelles gilt. Die Änderungen beinhalteten Erweiterungen des Systems, die für den Nutzer sichtbar waren, und zusätzlich Maßnahmen, um veraltete Funktionen und Konzepte abzuschalten, sowie Refactorings, um die grundlegende Architektur zu vereinfachen, jedoch nicht zu ändern. Die Dokumentation³¹ zu Änderungen und Versionsupdates ist der Organisation auf GitHub zu entnehmen.

Der Open-Source-Standard *OSGi* beschreibt einen Ansatz zur Modularisierung von Software. Die Verwendung des Frameworks setzt ebenso eine Java Virtual Machine (JVM) voraus. Die Java Virtual

³⁰Eclipse Equinox. <https://www.eclipse.org/equinox/> Abgerufen am 29.04.2022

³¹Aktualisierung von openHAB 2 zu 3. <https://github.com/openhab/openhab-distro/wiki/Breaking-Changes-in-openHAB-3/139901f0ef7ee8b5b7dd480204ddf5069f030f50> Abgerufen am 03.07.2022

Machine³² ist der Teil der Java-Laufzeitumgebung, die für die Ausführung des Java-Bytecodes verantwortlich ist.

Die im Kontext des OSGi betitelten *Bundles* sind einzelne Module und bilden die kleinste Einheit der Modularisierung. Aus technischer Sicht ist das Konstrukt eine Java Archive (JAR)-Datei mit Metainformationen. Diese sind in einer Manifestdatei gespeichert. Durch die eindeutige Identifizierung von *Bundles* ist es in OSGi möglich, sie mit demselben Namen, jedoch unterschiedlicher Versionen gleichzeitig zu nutzen und auszuführen [PRANZ und SCHILLER 2018].

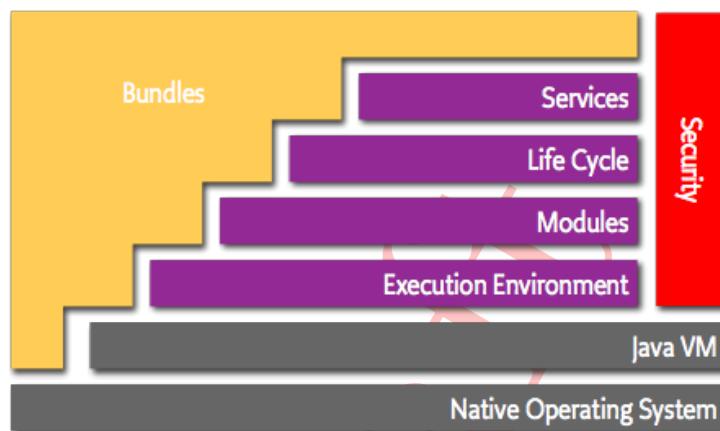


Abbildung 2.12: OSGi Schichtenarchitektur [KREUZER 2022]

Weitere Details der OSGi-Architektur³³ sind der openHAB Dokumentation zu entnehmen.

2.5.2 Ziele und Schwerpunkte

„openHAB empowering the smart home³⁴“

Das Ziel, das mit der openHAB Anwendung verfolgt wird, ist allgemein die zentrale Steuerung von Geräten innerhalb eines Wohnraumes.

„.... is an open source, technology agnostic home automation platform which runs as the center of your smart home!³⁵“

2.5.3 Stärken und Schwächen

Die Stärken, die openHAB mit sich bringt, werden schon in den Dokumentationen der Plattform aufgegriffen und bei der Nutzung der Anwendung schnell deutlich. Mit der Plattform können eine Vielzahl von Geräten und Systemen integriert werden, die miteinander kommunizieren. In der

³² Beschreibung der JVM. <https://www.javatpoint.com/jvm-java-virtual-machine> Besucht am 01.05.2022

³³ Erläuterung von OSGi. <https://www.openhab.org/docs/developer/osgi/osgi.html> Besucht am 01.05.2022

³⁴ Log und Label von openHAB <https://www.openhab.org/> Besucht am 01.05.2022

³⁵ Übersicht der openHAB Dokumentation. <https://www.openhab.org/docs/> Besucht am 01.05.2022

einzigsten von openHAB gegebenen Lösung können Heimautomatisierungssysteme, intelligente Geräte und andere Technologien, darunter beispielsweise Kommunikationsprotokolle, integriert werden [KREUZER 2020]. Durch die in dem letzten großen Update der Plattform hinzukommende einheitliche Benutzeroberfläche, die die Bedienung von Geräten und Systemen vereinfacht, ist die Integration von neuen Geräten einfacher. Mit dem Ansatz von Automatisierungsregeln können alle Geräte bei Bedarf miteinander kommunizieren. Das Aufstellen von solchen Regeln ist herstellerunabhängig und macht die Automatisierung flexibler. Der dritte und letzte Punkt der Stärken ist die allgemeine Vielfältigkeit und Flexibilität der Plattform. Hiermit ist im Allgemeinen die Umsetzung von Use Cases und Automatisierungen gemeint.

Zu den Schwächen zählt hauptsächlich die vielschichtige und weitgestrickte Architektur. Das System an sich und der Umgang damit stellt sich als komplex dar. Das Aufsetzen der Plattform und das Verstehen der Konzepte und Möglichkeiten sind sehr zeitintensiv. Dies spiegelt die Dokumentation der Software wieder [KREUZER 2020].

Eine zusätzliche Schwäche ist die Weiterentwicklung des Systems. Diese findet langsam und nicht konstant statt. Auslöser dafür ist die Architektur und deren Abhängigkeiten zu weiteren Frameworks und Bibliotheken. Auch nimmt der Prozess bis zur Genehmigung von Weiterentwicklungen viel Zeit in Anspruch. Dies ist möglicherweise mit ein Grund, weshalb neue Versionen und Updates nur unregelmäßig zu beobachten sind.

2.5.4 Optionen der Regel- und Automatisierungserstellung

Im Vergleich zu Home Assistant bietet openHAB zur Definition und Erstellung von Regeln mehrere Möglichkeiten an, die über deren Oberfläche definiert werden können. Die Konfiguration solcher Regeln kann jedoch mit unterschiedlichen Methoden umgesetzt werden. Zum einen mit einem visualisierten Baukasten Werkzeug Namens *Blockly*³⁶ und zum anderen über eine Domain Specific Language (DSL), im Deutschen eine domänenspezifische Sprache³⁷. openHAB verwendet für die Syntax der Regeldefinition Xbase³⁸ und darauf aufbauend Xtend³⁹. Diese DSL gibt ein Konstrukt vor, mit dem Regeln definiert werden können. Dies sieht wie folgt aus:

```
1      rule "<RULE_NAME>"  
2      when  
3          <TRIGGER_CONDITION> [or <TRIGGER_CONDITION2> [or ...]]  
4      then  
5          <SCRIPT_BLOCK>  
6      end
```

Code-Beispiel 2.4: Konstrukt zur Regeldefinition über Xbase

³⁶Ein visueller Code Editor von Google. <https://developers.google.com/blockly> Besucht am 29.05.2022

³⁷Erklärung der domänenspezifischen Sprache. <https://martinfowler.com/dsl.html> Besucht am 29.05.2022

³⁸Erläuterung des Xbase Frameworks. <https://www.eclipse.org/Xtext/index.html> Besucht am 29.05.2022

³⁹Spezieller Javadialekt. <https://www.eclipse.org/xtend/index.html> Besucht am 29.05.2022

Jede Regel bekommt einen eindeutigen Namen. Danach muss eine Bedingung implementiert werden, bei deren Eintreffen eine bestimmte, beliebige Aktion ausgelöst wird. Die Logik der Regel wird über den Skript-Block eingesetzt. Für die Syntax der Regellogik wird *Xtend* verwendet.

2.6 Vergleich von Home Assistant und openHAB

Nach der Erläuterung der beiden Softwarelösungen im Bereich der Smart Home Plattformen werden diese abschließend gegenübergestellt, um weitere Aspekte miteinander zu vergleichen. Grundlage dafür sind persönliche Erfahrungen, als auch Eindrücke von Nutzern und Experten. Die Tabelle (B.1) zum Vergleich der Plattformen ist dem Anhang (B) zu entnehmen.

Zusammenfassend zu dieser tabellarischen Gegenüberstellung ist zu sagen, dass beide Plattformen Vorzüge aufweisen. Beide Ansätze bieten eine gute Grundlage, die Automatisierungen in dem eigenen Gebäude voranzutreiben. Die Entscheidung, welches Tool verwendet werden soll, liegt in der Verantwortung des Nutzers. Übergreifend sind die beiden Open-Source-Lösungen eine gute Alternative zu kommerziellen Produkten und Lösungen, sofern der Nutzer herstellerunabhängig interagieren möchte. Dennoch ist es für Nutzer und Entwickler mit einem hohen Aufwand verbunden, Automationen und Regeln zu definieren, da Werkzeuge eingesetzt werden, die nicht dem Standard der verwendeten Programmiersprache, beispielsweise von Java, entsprechen. Dadurch muss zuerst die Funktionsweise des Frameworks verstanden werden, um anschließend Automationen und Regeln definieren und anwenden zu können. Beide Lösungen versuchen diese Herausforderung anzugehen, indem über eine Weboberfläche die Regeln konfiguriert und erstellt werden können. Home Assistant nutzt hierfür, wie bereits erläutert, das YAML-Dateiformat. Im Gegenzug dazu verwendet openHAB ein Framework, das das Konstrukt der Regeldefinition starr vorgibt. Alternativ können Regeln auch mittels *Blockly* realisiert werden.

Beide Softwarelösungen bieten einen unterschiedlichen Ansatz zur Regeldefinition, jedoch ist die Flexibilität auf integrierte Komponenten beschränkt. Das bedeutet, dass nur vom System abbildbare Komponenten, Integrationen und Verknüpfungen verwendet werden können. Gibt es beispielsweise für eine Komponente oder ein Gerät keine Integration oder kein Add-on, so muss dieses erst im Quellcode als Packet implementiert und angeboten werden, bevor der Anwender dieses benutzen kann.

Die soeben erläuterten Grundlagen geben einen Einblick in eine Domäne des IoT. Mit den Kommunikationsprotokollen werden Standards und derzeit oft verwendete Technologien beschrieben. Das MQTT-Protokoll wird im Rahmen dieser Arbeit von Anfang an verwendet. Die Erläuterung von zwei Softwareplattformen gibt einen Überblick darüber, welche Lösungen bereits vorhanden sind und wie sich deren Aufbau gestaltet. Diese Information ist notwendig, um im weiteren Verlauf die Konzeption als auch die anschließende Analyse nachvollziehen zu können.

Kapitel 3

Stand der Technik

Zur Analyse des aktuellen Standes der Technik und Forschung in Bezug auf die Konzeption von Software-Lösungen, mit denen die formalisierten Interaktionen der Softwareentwickler vereinfacht werden können, erfolgt in diesem Kapitel ein systematisches Literaturreview. Die Literaturprüfung wird gemäß den Richtlinien, die in der Publikation von [KITCHENHAM und CHARTERS 2007] vorgeschlagen werden, durchgeführt.

3.1 Systematisches Literaturreview

Die Thematik des systematischen Literaturreviews wurde bereits in den einleitenden Kapiteln erwähnt. Dieser Abschnitt widmet sich ausschließlich der Anwendung der Richtlinien und dem daraus abgeleiteten Stand der Technik abhängig zu dem in der Arbeit behandelten Thema.

3.1.1 Ziele des Systematischen Literaturreviews

Das Ziel dieses systematischen Literaturreviews ist es, die aktuellen Fortschritte von Smart Home Plattformen und Gateways in Richtung der entwicklerseitigen Benutzerfreundlichkeit zu recherchieren. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Usability und der einfachen Handhabung der formalisierten Interaktionen der Softwareentwickler. Es gilt zu analysieren, ob es in diesem Themenbereich bereits Publikationen und Forschungen gibt und welche Entscheidungen getroffen werden müssen, um die Weiterentwicklung eines Systems je nach hinzukommender Funktionalität oder auch Bedingung übersichtlich zu halten. Die Ergebnisse dieses systematischen Literaturreviews sollen als Grundlage der Konzeption einer solchen Plattform dienen und mit einfließen.

3.1.2 Suchstrategie- und anfragen

Dieser Abschnitt beschreibt die Suchstrategie und die Anfragen zu dem systematischen Literaturreview. Hierbei wird erläutert, anhand welcher Kriterien die Literatur ausgewählt wird.

In den ersten Schritten werden anhand der Forschungsfragen in Kapitel (1.2) die Stichpunkte aufgegriffen und als Suchterm formuliert. Die daraus resultierenden Suchterme, die der tabellarischen Darstellung (3.1) zu entnehmen sind, werden in diversen wissenschaftlichen Fachdatenbanken

recherchiert und analysiert. Die Ergebnisse werden nach ihrem Titel und der Zusammenfassung sortiert. Gibt es Publikationen mit vergleichbaren Inhalten, so sind diese in weiteren Schritten näher zu betrachten. Damit die Literaturrecherche weitere Ergebnisse erzielt, wird beim studieren der Publikationen die Schneeballsuche angewendet. Dabei wird in den Quellen der jeweiligen Literatur auf weitere Verweise geschaut, die ebenso potentielle Inhalte bearbeiten. Die Kombination beider Literaturergebnisse bilden die Grundlage der zu analysierenden Quellen und geben so den Stand der Technik wieder.

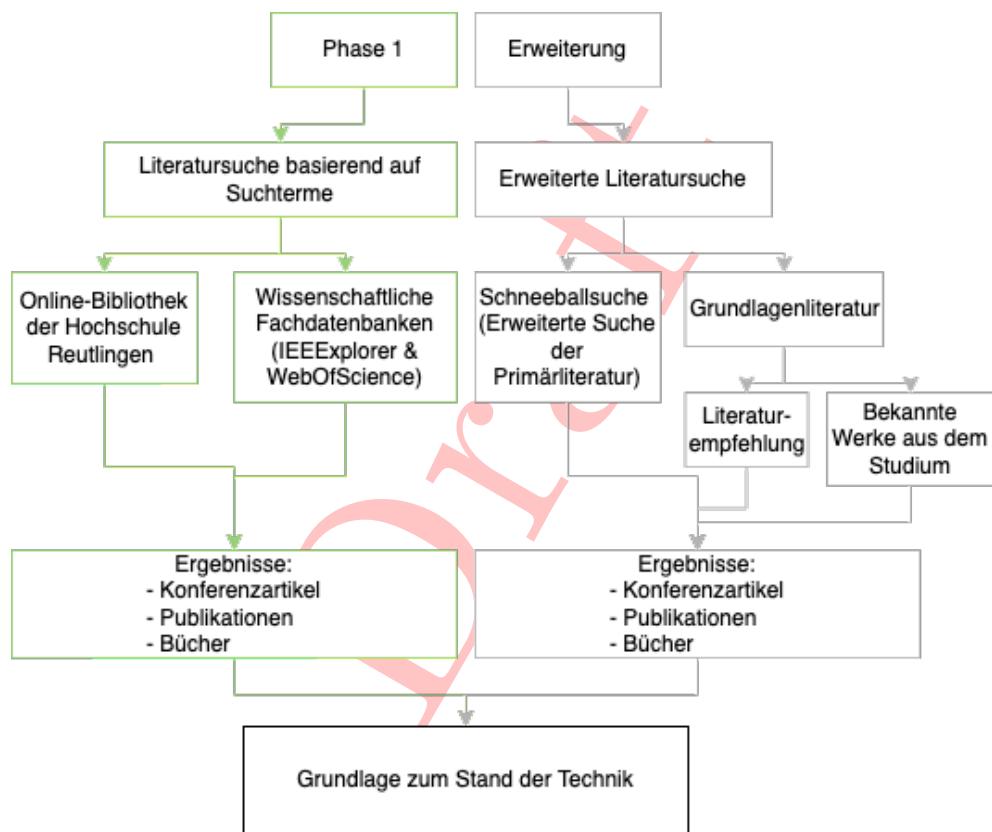


Abbildung 3.1: Strategie der Literatursuche

Die generierten Suchterme, die daraus resultierenden Literaturergebnisse und der damit einhergehende Suchverlauf in Auszügen ist zur Nachvollziehbarkeit tabellarisch aufgeführt:

| Suchanfrage | Datum | Filter | Plattform | Ergebnisse | Gesehene | Relevant |
|--|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| formalized interactions software development architecture | 11.04.2022, 03.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 13, 26 | 6, 4 | 0, 0 |
| usability AND formalized interactions AND architecture | 11.04.2022, 03.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 3, 7 | 1, 3 | 0, 1 |
| usability AND formalized interactions AND architecture AND smart home | 01.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 0, 0 | 0, 0 | 0, 0 |
| usability AND formalized interactions AND software development AND architecture | 02.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 1, 1 | 1, 1 | 0, 1 |
| usability AND architecture AND gateway AND smart home | 06.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 2, 4 | 1, 1 | 1, 1 |
| usability AND formalized interaction AND (architecture OR smart home OR software developer OR gateway) | 09.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 3, 10 | 1, 2 | 0, 0 |
| usability AND architecture AND smart home AND (formalized interaction OR software developer OR iot) | 09.05.2022 | Nein | IEEEExplorer, WebOfScience | 13, 22 | 3, 3 | 0, 0 |

Tabelle 3.1: Suchprotokoll des Systematischen Literaturreviews

3.1.3 Datenextraktion und Synthese

Zu der zielgerichteten Datenextraktion werden in Anlehnung an die Richtlinien des systematischen Literaturreviews die folgenden Einschluss- und Ausschlusskriterien definiert, die dabei helfen, die relevanten Publikationen zu finden:

Einschluss-Kriterien

- 1 Die Literatur ist in den wissenschaftlichen Fachdatenbanken veröffentlicht, darunter: WebOfScience, IEEEExplorer, SpringerLink, Elsevier, Addison-Wesley, dpunkt-Verlag, ACM und Google Scholar
- 2 Der Beitrag wurde nach 2010 veröffentlicht
- 3 Die Veröffentlichung ist in deutscher oder englischer Sprache

Ausschluss-Kriterien

- 1 Die Veröffentlichung beinhaltet, bzw. behandelt nicht die Schlagworte usability, architecture, formalized interaction oder iot
- 2 Die Publikation gehört zu der Literatur der Grauzone
- 3 Die Veröffentlichung hat weniger als 5 Zitationen
- 4 Die Literatur hat weniger als 5 Seiten Inhalt

Tabelle 3.2: Einschluss- und Ausschlusskriterien des systematischen Literaturreviews

Anhand der Forschungsfrage, den Suchterminen und den Einschluss- und Ausschlusskriterien zu der Quellenrecherche werden während der Anwendung des systematischen Literaturreview-Templates und deren Richtlinien die erzielten Ergebnisse synthetisiert und zusammengefasst. Im Rahmen dieser Forschungsfrage und der Auslegung der Suchterme, die der Tabelle (3.1) zu entnehmen sind, ergab sich nicht die Menge an Literatur, die notwendig ist, um ein umfangreiches Literaturreview im Stil des Templates durchzuführen. Demnach ist kein vollständiges systematisches Literaturreview möglich. Die wenigen relevanten Ergebnisse des Literaturreviews geben einen Einblick in Bereiche, die als Gedankenanstöß und zum Transferieren von Wissen, Gedanken und Ideen geeignet sind.

Das Resultat des durchgeführten Literaturreviews beweist, dass es in diesem Bereich bisher wenige Publikationen gibt und sich dadurch eine neue Nische bilden könnte. Um dennoch eine fundierte wissenschaftliche Grundlage zu repräsentieren, wird in folgendem Abschnitt auf Referenzen und Literatur eingegangen, die Teile der Forschungsfrage abdecken und mehr als Gedankenanstöß anzusehen sind, beziehungsweise auch einen partiellen Einblick in den Stand der Technik bietet.

3.2 Zusammenfassung

Speziell auf die Forschungsfrage in Kapitel (1.2) gibt es nach dem heutigen Stand der Technik dazu keine entsprechende Fachliteratur, welche den Gedanken aufgreift und behandelt. Bei der systematischen Literaturrecherche tauchen als Ergebnis interessante Anhaltspunkte auf, die übertragen in den Kontext dieser Arbeit hilfreiche Erkenntnisse beitragen und Impulse für die Konzeption geben konnten.

3.2.1 Publikationen

Im Folgenden werden diese aufgegriffen und zusammengefasst, sodass ein Einblick in den Prozess der Informationserhebung, der Sammlung von Erfahrungswerten und Ideen gewährleistet wird.

Design and Realization of a Framework for Human-System Interaction in Smart Homes

In dem Artikel von [WU und FU 2012] wird zu Anfang die Beziehung zwischen Benutzern, Räumlichkeiten und Diensten analysiert. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen wird ein Framework und ein entsprechender Algorithmus vorgestellt, welcher die Interaktionsbeziehungen modelliert. Aufgrund dieser Ergebnisse wird ein Framework entwickelt, welches die Interaktionsanforderungen abdeckt. Hauptmerkmale waren dabei Komfort, Bequemlichkeit und Sicherheit. Zur abschließenden Überprüfung des Designkonzeptes und der Implementierung wurden Probanden zum Testen der Anwendung ausgewählt und anschließend ein Interview durchgeführt. Das Evaluierungsergebnis zeigt, dass das Framework eine gute Einführung in die Verbesserung der Mensch-System-Interaktionen darstellt.

Seamless Integration of Heterogeneous Devices and Access Control in Smart Homes

Der Artikel von [KIM u. a. 2012] erarbeitet einen Vorschlag einer ganzheitlichen und erweiterbaren Softwarearchitektur, welche Dienste und heterogene protokoll- und herstellerspezifische Geräte nahtlos integrieren lässt und Sicherheit über das Internet gewährleistet. Grundlegend wird hierbei auf das OSGi Framework gesetzt, wodurch die semantische Interoperabilität hervorgehoben wird. Dies bezeichnet die Fähigkeit, neue Anwendungen und Treiber zur Laufzeit in das bereitgestellte System zu integrieren [KIM u. a. 2012]. Zusätzlich zu dem System wird im Rahmen dieser Publikation ein Zugangskontrollmodell für spezielle Smart Home Szenarien integriert. Zur Beweisführung wird das Konzept anhand von semantischen Erkennungen von Heimgeräten zur Laufzeit demonstriert. Dafür werden mehrere Protokolle, darunter X10, ZigBee und Insteon, in einen realen Test integriert. Die Arbeit behandelt die folgenden Schwerpunkte [KIM u. a. 2012]:

- Analyse einer Reihe von Heimnetzprotokollen hinsichtlich ihrer Erkennungs- und Integrationsanforderungen.
- Eine erweiterbare Home-Gateway-Architektur, die es ermöglicht, heterogene Geräte während der Laufzeit flexibel zu installieren, zu verwalten und darauf zuzugreifen.
- Ein neuartiger Zugangskontrollmechanismus speziell für Smart-Home-Systeme.
- Die Umsetzung des vorgeschlagenen Konzeptes, indem gezeigt wird, wie verschiedene Geräte integriert und von Endbenutzern aufgerufen werden können.

Laut den Ergebnissen unterstützt die Architektur und die damit eingesetzte semantische Abstraktionsschicht die Anwendungsentwicklung erheblich.

Mit der Zugriffskontrollrichtlinie wird den Hausbesitzern eine stabile Kontrolle darüber gegeben, mit der die Benutzer auf die smarten Geräte zugreifen können. Das Resultat dieser Arbeit scheint zu zeigen, dass damit die Barriere für Smart Home Systeme gesenkt wird.

Wireless Architectures for Heterogeneous Sensing in Smart Home Applications: Concepts and Real Implementation

Dieser Beitrag von [VIANI u. a. 2013] diskutiert die aktuellen Trends von drahtlosen Architekturen für Anwendungen im Smart Home Bereich. Aus der Diskussion wurden Vorteile erarbeitet, die anschließend über die Verwendung der drahtlosen Architektur analysiert wurden. Schwerpunkt dabei lag jedoch auf der Schätzung des Benutzerverhaltens.

Allgemein behandelt der Artikel die Vorstellung einer drahtlosen Architektur für intelligentes Energiemanagement und die Überwachung in Bezug auf ältere Menschen, indem die Anwesenheit, die Bewegung und das Verhalten der Bewohner in Altersresidenzen analysiert werden [VIANI u. a. 2013].

Interessant dabei ist das entstandene Konzept der konkreten Softwarearchitektur und die Übertragbarkeit auf Anwendungsfälle im Smart Home.

My House, My Rules: A Private-by-Design Smart Home Platform

Dieses Whitepaper von [ZAVALYSHYN u. a. 2020] stellt eine *Private-by-Design-IoT-Platform* für Smart Home Umgebungen vor. Mit dem Konzept wird eine typische Architektur für bestehende IoT Plattformen als Grundlage verwendet, die über ein alternatives Design mehr Sicherheit und Kontrolle für den Hauseigentümer bietet. Genutzt wird dabei die von Intel entwickelte Software Guard Extentions (SGX)¹. Diese Erweiterung ermöglicht es, eine intuitive Sicherheitsabstraktion einzuführen, die den unbefugten Zugriff auf Daten durch nicht vertrauenswürdige IoT Cloud-Anbieter verhindert. Aus dem Konzept entstand ein Prototyp, der anschließend evaluiert wurde. Dafür wurde eine quantitative Forschung mit mehr als 40 Probanden durchgeführt, die den Prototyp verwendeten und anschließend bewertet haben. Die Mehrzahl der Teilnehmer/-innen der Feldstudie hielten die Softwareplattform als benutzerfreundlich und die unterstützenden Richtlinien durch die Sicherheitsabstraktion für nützlich [ZAVALYSHYN u. a. 2020]. Mit den Richtlinien kann die Privatsphäre der Anwender in ihrem Wohnraum hinreichend geschützt werden. Der Sicherheitsmonitor der Software ermöglicht Endbenutzern eine granulare Kontrolle und Überwachung der Datenflüsse, die durch die IoT Geräte generiert werden, sowie die Verhinderung von potentiellen Datenschutzverletzungen der Hersteller durch die Verwendung einer Datenschutzrichtlinie.

Fast-prototyping Approach to Design and Validate Architectures for Smart Home

Inhalt des Artikels von [MONTANARO u. a. 2021] ist das Entwickeln eines komplexen Smart Home Systems. Hintergrund dafür ist die kontinuierliche Entwicklung und Kommerzialisierung sämtlicher IoT Geräte und die damit einhergehende Änderung oder Anpassung der Nutzeranforderungen. Dadurch benötigt die Community eine schnelle Lösung, bzw. einen Prototypen, um die Anforderungen der Nutzer erfüllen und schnell auf entstehende Bedürfnisse reagieren zu können.

Grundlage für die Entwicklung der Plattform ist eine aktuelle und solide Studie, die ebenso im

¹Eine hardwarebasierte Verschlüsselung von Speicherinhalten, die bestimmten Programmiercode und Daten im Speicher isoliert. <https://www.intel.de/content/www/de/de/architecture-and-technology/software-guard-extensions.html> Abgerufen am 15.05.2022.

Rahmen des Artikels durchgeführt wurde. Die Benutzeranforderungen wurden aus der Studie extrahiert und sind bei der Planung des Konzeptes mit eingeflossen. Bestandteil dieser Arbeit ist unter anderem die Verwendung von Node-RED² und dem MQTT Kommunikationsprotokoll.

Die in der Publikation vereinfachten formalisierten Interaktionen werden speziell dem Anwender gegenüber durch Node-RED visualisiert und somit die komplexe Logik vereinfacht dargestellt. Die Idee der Verwendung von Node-RED ist ein innovativer Gedanke der formalisierten Interaktionen und kann dem Entwickler programmatisch Schritte erleichtern. Eine gewisse Komplexität ist dabei nicht zu verhindern, da die Funktionsweise des Frameworks selbst verstanden werden muss. Eine Optimierung in weiteren Forschungsschritten ist möglich. Mithilfe des Systems können im Rahmen von praktischen Arbeiten im Forschungs- und Bildungsbereich kleinere Anwendungsfälle binnen weniger Schritte umgesetzt und getestet werden. Dadurch kann der Lerneffekt im Umgang mit Geräten im Smart Home optimiert werden.

Alle oben aufgeführten Artikel und Forschungsarbeiten sind keine explizite Referenz, bzw. stehen in keinem Zusammenhang zu der in dieser Arbeit gestellten Forschungsfrage. D.h. sie sind nicht übertragbar auf die Inhalte dieser Arbeit, sondern es konnten nur Fragmente oder Impulse daraus verwendet werden, um einen Einblick in den Stand der Forschung zu erhalten.

Mittels weiteren Experteninterviews wird deutlich, dass viele mit der Thematik des Smart Home vertraut sind, jedoch überwiegend nur als Benutzer bestehender Plattformen und Geräte gelten. Die dadurch erlangten Informationen sind nicht repräsentativ, lediglich eine gewonnene Erkenntnis im Rahmen dieser Arbeit.

Um einen Gesamtüberblick bezüglich des Technikstandes rund um Smart Home zu vermitteln, wird dieser im Folgenden aus einer etwas pragmatischeren Sichtweise erläutert.

3.2.2 Stand der Technik aus Nutzer- und Produktsicht

Der aktuelle Markt bietet bereits viele Möglichkeiten und Alternativen zur Umsetzung eines intelligenten Zuhause. Darunter fallen z.B. kommerzielle in sich geschlossene Systeme, die ausschließlich dem Nutzer als Anwendung verkauft werden oder einzelne intelligente Geräte, die nicht zwangsläufig eine zentrale Steuerungsplattform benötigen. Ebenso gibt es Plattformen, wie bspw. Home Assistant und openHAB, die eine gewisse Technikaffinität erfordern und voraussetzen, um diese nach belieben einzusetzen und konfigurieren zu können. Große Unternehmen, darunter Bosch, Telekom, Siemens, Samsung bieten Geräte und Softwarelösungen an, bei denen Komponenten des gleichen Herstellers kombinierbar sind. Unterschiedliche Geräte verschiedener Anbieter lassen sich nicht so gut verknüpfen wie bei den Open-Source-Plattformen. Sie geben keinen Einblick in ihre Software und deren Umsetzung, daher sind diese zum Vergleich nicht weiter zu berücksichtigen.

Neben den bekanntesten, frei verfügbaren Systemen openHAB und Home Assistant gibt es weitere

²Ein von IBM entwickeltes grafisches Entwicklungswerkzeug mit Baukastenprinzip. Funktionsbausteine können per Verbindungen miteinander verknüpft und als Prozess bearbeitet werden. <https://nodered.org/> Abgerufen am 15.05.2022.

Lösungen, die eine Plattform zur Verfügung stellen³:

- OpenMotics
- Jeedom
- ioBroker
- AGO Control
- Domoticz
- Homebridge.io

Die Auflistung gibt nicht alle am Markt verfügbaren Produkte wieder, lediglich eine Auswahl, der am häufigsten benutzt werden. Durch die Vielzahl der Angebote und dem wachsenden Mehrwert, den eine solche Plattform bietet, nimmt die Forschung und Entwicklung in dem Bereich des IoT zu.

Für das Abbilden und Verwalten von Prozessen und Automatisierungen gibt es sogenannte Regelwerke. Sie sind dafür entwickelt, bestimmte Regeln, Prozesse und Sachverhalte zu definieren und zu durchlaufen. Einsatz finden diese Frameworks in Business-Rule-Management-System (BRMS)en, die dazu beitragen, ein auf Geschäftsregeln basierendes Programm zu entwickeln. Ebenso werden solche Systeme bei Smart Home Plattformen eingesetzt. Durch die Definition von Regel und Automatisierungen können wiederkehrende Prozesse in einem smarten Büro oder Zuhause automatisiert werden, die dem Nutzer Aufgaben abnehmen.

Es gibt eine Vielzahl von Anbietern, die solche Systeme und Frameworks in unterschiedlicher Implementierung bereitstellen. Die im Java-Umfeld bekanntesten sind unter anderem Drools, OpenL Tablets, Easy Rules und RuleBook⁴.

Im folgenden Kapitel ist eine Marktanalyse (siehe Abschnitt 4.1) im Bereich Smart Home dargestellt, die auf die Fortschritte und Prognosen der nächsten Jahre eingeht.

³Aufstellungen von verfügbaren Open Source Smart Home Plattformen im Jahr 2020. <https://ubidots.com/blog/open-source-home-automation/> Abgerufen am 16.05.2022

⁴Regelwerke im Java-Umfeld. <https://www.baeldung.com/java-rule-engines> Besucht am 16.05.2022

Kapitel 4

Anforderungsanalyse

Dieses Kapitel befasst sich im Allgemeinen mit der Anforderungsanalyse und -erhebung. Hierbei wird eine Marktanalyse präsentiert, um das Potential rundum Smart Home aufzuzeigen und die entstehenden oder bereits bestehenden Anforderungen aufzuzeigen. Die Analyse ist mit repräsentativen Statistiken, Studien und Umfragen belegt. Hauptsächlich wird im Rahmen der Anforderungserhebung auf die Methodiken und Techniken eingegangen, die verwendet werden, um Anforderungen zu identifizieren. Diese dienen als Grundlage für die Konzeption der Steuerzentrale. Bestandteile der Anforderungserhebung sind unter anderem zentrale Prozesse des Requirements Engineering, ein *user-centered Design* (nutzerzentriertes Design), eine *Target Group Analysis* (Zielgruppenanalyse), und die Durchführung von Experteninterviews. Diese Interviews sind nicht repräsentativ und dienen lediglich der weiträumigeren Informationsgewinnung.

Vorab wird sichergestellt, dass im Rahmen des benutzerzentrierten Designs der Softwareentwickler als Nutzer und Anwender im Vordergrund steht, da dieser die Plattform betreibt, bzw. für die Erweiterung der Software als auch für die Anpassungen auf die eigenen Anwendungsfälle zuständig ist.

Damit ein Eindruck entsteht, welches Marktpotential Smart Home Anwendungen haben und welche Anforderungen somit verbunden sind, wird basierend auf bestehenden Studien, Statistiken und Umfragen eine Marktanalyse durchgeführt.

4.1 Marktanalyse

Der Marktanteil rundum Smart Home wächst weiter an, sei es in Bezug auf die Entwicklung von neuen intelligenten Geräten, die Massentauglichkeit von Geräten oder die stetig wachsende Abdeckung von Anwendungsfällen und Übernahme von Aufgaben und Prozessen. Durch die Vielzahl an Produktanbietern und diversen Kommunikationsmöglichkeiten ist es schwierig, eine Lösung für alle Alternativen und Produktausprägungen anzubieten. Hersteller versuchen mit ihrer Produktpalette ihr eigenes Ökosystem im Bereich Smart Home zu erstellen, um die Nutzer abhängig zu machen. Der repräsentativen Studie von Deloitte zufolge ist jedoch eine Insellösung bei den Nutzern in Deutschland nicht gefragt [WAGNER u. a. 2018]. Befragt wurden 2000 Konsumenten zwischen 19 und 75 Jahren. Einem geringen Anteil von 22 Prozent der Befragten ist die Erweiterbarkeit des Systems mit

Produkten anderer Hersteller weniger, bzw. nicht wichtig. Im Gegensatz dazu empfinden 43 Prozent der Befragten die Erweiterbarkeit als wichtig und 28 Prozent als sehr wichtig [WAGNER u. a. 2018]. Demnach sollten die Hersteller eine flexiblere Einsetzbarkeit gewährleisten, damit solche Systeme den Marktdurchbruch erlangen. Allerdings wird dadurch die Weiterentwicklung von Plattformen komplexer und umfangreicher, was sich wiederum als Nachteil erweist. Beispielsweise sind die am weitverbreitetsten Open-Source-Plattformen, openHAB und Home Assistant, vielschichtig und bilden ein großes System mit zunehmend integrierbaren Geräten ab, deren Funktionsumfang stetig steigt.

4.1.1 Allgemeine Marktsituation und Marktprognose

Derzeit gibt es viele Anbieter für intelligente Produkte. Diese bieten zum einen einzelne Geräte an, die in beliebige Plattformen integriert werden können und zum anderen ein eigenes Ökosystem, sofern der Anwender mehrere Produkte eines Anbieters nutzen möchte. Dennoch ist in den meisten Fällen die Konfiguration der Geräte nur auf den hauseigenen Plattformen möglich. Somit kann der Nutzer nicht alle Komponenten ausschließlich über eine Plattform konfigurieren und steuern.

Eine repräsentative Umfrage der Statista Global Consumer Survey (SGCS) mit 1384 Teilnehmern, die im April 2022 veröffentlicht wurde, zeigt, welche Anbieter in Deutschland am populärsten sind, bzw. am häufigsten von den Nutzern gekauft werden. An oberster Stelle steht Philips und Samsung mit jeweils 25 Prozent und an dritter Stelle Bosch mit 23 Prozent. Weitere Anbieter können dem Diagramm im Anhang (siehe C) entnommen werden. Es sind jedoch nicht alle Hersteller und Anbieter aufgelistet.

Der aktuelle Markt für intelligente Produkte ist in sechs primäre Segmente aufgeteilt, die jeweils andere Anwendungsfälle abdecken [LASQUETY-REYES 2021]:

- Kontrolle und Konnektivität: Gateways die alle Geräte jeglicher Segmente kontrollieren, intelligente Lautsprecher mit dem Fokus zur Kontrolle und der digitalen Unterstützung und bspw. intelligente Steckdosen
- Intelligente Geräte (Smart Appliances): Kühlschrank, Waschmaschine und Geschirrspüler, Kaffeemaschine, Mikrowelle und Staubsaugerroboter
- Sicherheit: Bewegungs-, Wasser- und Rauchmelder, Kameras und Türschlösser
- Heimunterhaltung (Home Entertainment): Fernseher, Entertainment-Systeme
- Komfort und Licht: Intelligente LEDs, Fenster- und Tür-Sensoren etc.
- Energiemanagement: Thermostate und Regler, Luftqualitätsmesser etc.

Die aufgelisteten Segmente werden von vielen Herstellern bedient. Der folgenden Abbildung sind die repräsentativen Schlüsselanbieter zu entnehmen:

Representative Smart Home key players by type and segment¹

| | Control and Connectivity | Comfort and Lighting | Security | Home Entertainment | Energy Management | Smart Appliances |
|---|--|---|--|---|---|--|
| Dedicated segment companies | Control4 FIBARO® INSTEON® LOXONE GIRA eQ3 | LEDVANCE LIFX moodnode COMFLYLIGHT | ALARM.COM CHUANGO® canary ADT Security August vivint.SmartHome™ | SONOS PURE Roku® D. DEFINITIVE TECHNOLOGY | tado° ecobee climate™ nest netatmo | ECOVACS ROBOTICS iRobot® neato robotics® |
| Players entering the market from foreign industries | HomeKit Baidu amazon echo MI belkin NETGEAR | T... link somfy. LEEDARSON SAMSUNG SmartThings™ | AT&T ASSA ABLOY SCHLAGE Gigaset | B&O BANG & OLUFSEN apple tv logitech BOSE DENON | hive Danfoss BOSCH Honeywell Schneider Electric | B/S/H/ Haier LG Whirlpool CORPORATION |

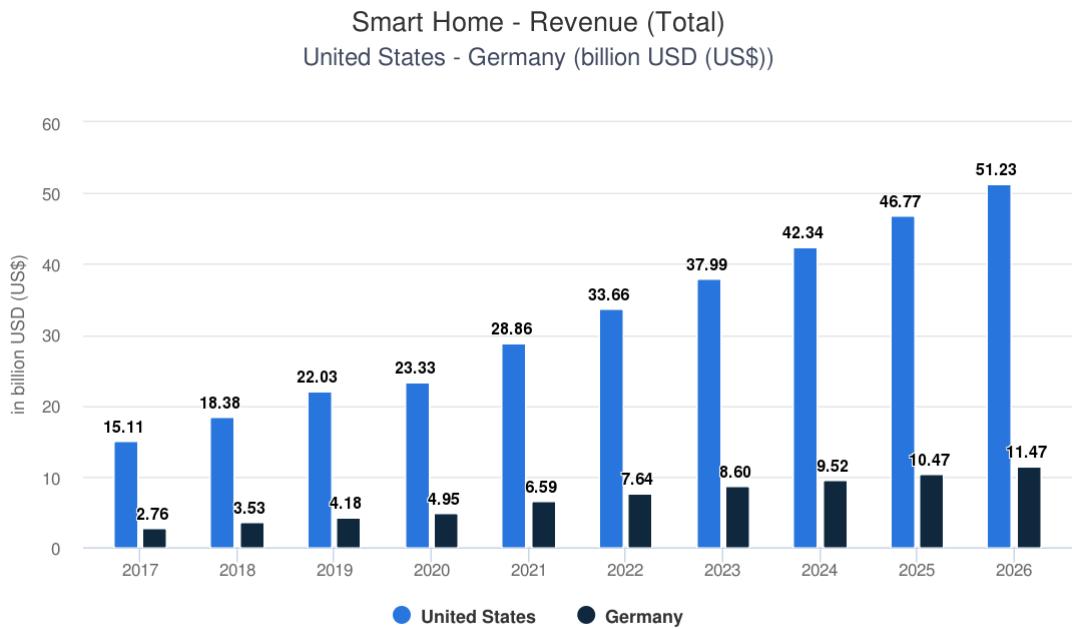
1: Key player overview does not represent the entire market landscape
 Sources: Statista Digital Market Outlook, as of April 2021

Abbildung 4.1: Übersicht der repräsentativen Schlüsselanbieter [LASQUETY-REYES 2021]

Die Übersicht deckt jedoch nicht alle Anbieter ab und spezialisiert sich in diesem Fall auf die bekanntesten und die am Markt etablierten.

Laut den von Statista veröffentlichten Daten war die USA mit einem Umsatz von 28,86 Milliarden US-Dollar der größte Smart Home Markt im Jahr 2021, wogegen Deutschland einen Umsatz von 6,59 Milliarden US-Dollar erzielte. Zu berücksichtigen sind dabei jedoch die demographische Lage als auch die Bevölkerungsdichte. Diese Aufstellung steht in keinem direkten Vergleich und dient lediglich zur Veranschaulichung und zur Unterscheidung der Marktanteile. Deutlich wird dabei trotzdem das ähnlich prozentual ansteigende Marktwachstum.

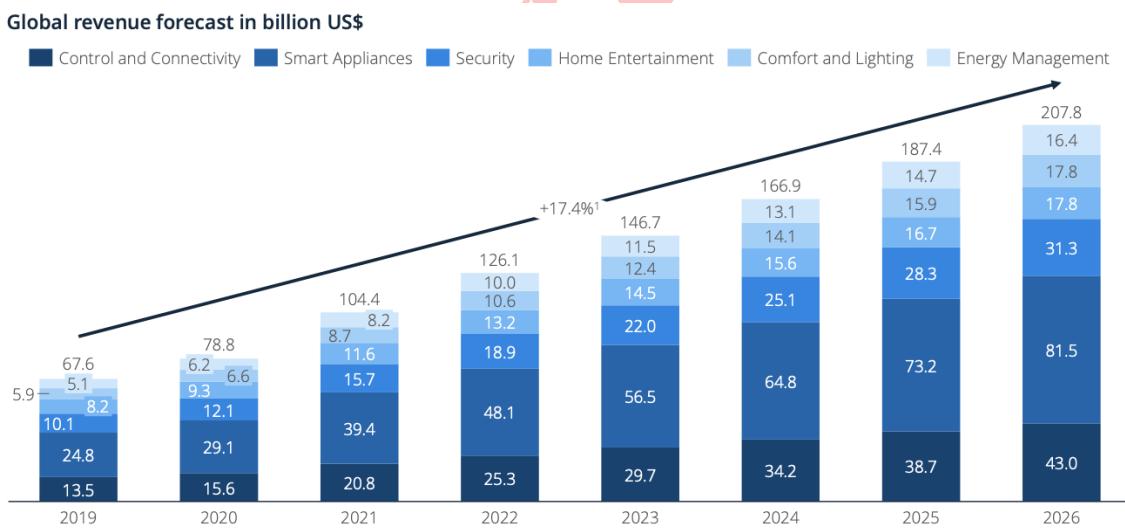
Der Abbildung (4.2) ist die nahezu Verdoppelung des Umsatzes bis 2026 zu entnehmen. Die Darstellung (4.3) der einzelnen Segmente zeigt die Zunahme am Weltmarkt von 2021 bis 2026 um ca. 100 Prozent. Die Zeitspanne von 2019 bis 2026 stellt einen durchschnittlichen Zuwachs von 17,4 Prozent dar. Anhand der Prognose und des Berichts von Statista ist deutlich zu sehen, dass der Smart Home Markt in den nächsten Jahren erheblich wachsen wird. Prognostiziert ist ein globaler Marktwert bei ca. 207,8 Milliarden US-Dollar bis 2026.



Source: Statista

statista

Abbildung 4.2: Umsatz-Prognose von Deutschland und den USA [LASQUETY-REYES 2021]



6

1:CAGR: Compound Annual Growth Rate / average growth rate per year
Sources: Statista Digital Market Outlook 2020

Abbildung 4.3: Globaler Smart Home Marktwert [LASQUETY-REYES 2021]

Schlüsseltechnologien und Barrieren

Unter den Schlüsseltechnologien im Smart Home sind Komponenten zu verstehen, die den Gedanken eines intelligenten Wohnraumes und Gebäudes forcieren. Dazu zählen unter anderem die Spracherkennung, die bei Sprachassistenten, darunter bspw. Amazon Alexa, Apple HomePod (Siri) und dem Google Nest, eingesetzt wird, sowie Artificial Intelligence (AI) und Künstliche Intelligenz (KI) zur Analyse, Auswertung und Optimierung von Verhaltensmustern und weiteren Analysezwecken [LASQUETY-REYES 2021]. Zu berücksichtigen sind dabei jedoch die dafür geeigneten Anwendungsfälle und die Akzeptanz der Nutzer ihre Verhaltensmuster analysieren zu lassen.

Interoperabilität

Die Kommunikation von Smart Home Geräten findet meistens über drahtlose Netzwerke auf Frequenz-Bandbreiten statt, die oft nicht miteinander kompatibel sind. Neben den drahtlosen Systemen gibt es auch, wie in Abschnitt (2.3.1) beschrieben, weitere Übertragungsmethoden, darunter Strom- und Datenleitungen. Ursächlich für die Inkompatibilität der Übertragungsmethoden ist die Entwicklung eines Protokolls für einen bestimmten Zweck, der darauf abgestimmt ist, den Anwendungsfall abzudecken und eine Markteintrittsbarriere zu schaffen, um einen Wechsel zwischen Anbietern zu erschweren [LASQUETY-REYES 2021]. Die damit einhergehende Schwachstelle eines Smart Home ist, dass die Geräte mit den bereits entwickelten Protokollen genutzt werden. So ist die Kommunikation über verschiedene Methoden nicht vorgesehen, was eine fehlende Interoperabilität zur Folge hat. Dies würde die Kombination von Geräten erschweren oder gar verhindern, die eventuell für den Anwender wünschenswert wäre. Um dies zu ermöglichen, müssten Integrationen oder Plug-ins von bestehende Plattformen zur Verfügung gestellt werden oder allgemein kompatible Kommunikationsprotokolle entwickelt werden, die bspw. mehrere Protokolle kombinieren können, darunter z.B. Zigbee2MQTT. Voraussetzung dafür ist die Fähigkeit zur Kompatibilität und die Übereinstimmung der Technologie, auf die das Protokoll aufbaut. Der Anwender muss vorab selbst prüfen, welche Geräte miteinander kompatibel sind [LASQUETY-REYES 2021].

Die Einführung von Bluetooth Low Energy (LE) Mesh¹ ist eine aktuelle Entwicklung, um der Herausforderung der Bewältigung der Interoperabilität einen Schritt näher zu kommen. Bei cloudbasierten Sprachdiensten muss ebenso die Kompatibilität geprüft werden. Neben der Datensicherheit und dem Schutz der Privatsphäre ist die fehlende Interoperabilität ein weiterer kritisch zu betrachtender Aspekt von SH Lösungen.

Derzeit häufig verwendete Protokolle sind unter anderem Bluetooth, Wireless Local Area Network (WLAN) (WiFi), KNX, ZigBee, Z-Wave, MQTT und weitere (siehe 2.4). Um Beispielsweise mit ZigBee über MQTT kommunizieren zu können, gibt es ein Framework, welches die Interoperabilität der beiden Protokolle ermöglicht. Dies ist das sogenannte *Zigbee2MQTT* Framework².

¹Bluetooth Mesh Technologie. <https://www.bluetooth.com> Besucht am 23.05.2022

²Erschafft eine Brücke zwischen ZigBee und MQTT. <https://www.zigbee2mqtt.io/> Besucht am 23.05.2022

4.2 Zielgruppenanalyse

Um den Adressaten dieser Arbeit näher zu definieren, erfolgt in diesem Abschnitt eine Zielgruppenanalyse. Im Rahmen dieser Tätigkeit wird die konkrete Zielgruppe identifiziert, die das Framework als Grundlage nutzt, um die individuellen Anwendungsfälle in der Umgebung des Büros umzusetzen und ggf. zu erweitern. Die Verwendung des Frameworks ist nicht zwangsläufig auf die Büroumgebung beschränkt, ebenso kann das Framework in privatem Gebrauch angewendet werden. Da es sich bei der Zielgruppenanalyse um einen fortlaufenden Prozess handelt, wird in dieser Arbeit die erste Iteration durchgeführt, die anschließend weiter verfolgt werden kann.

4.2.1 Ziel der Zielgruppenanalyse

Die Absicht einer Zielgruppenanalyse³ ist die Identifizierung der Personengruppen, die als potentielle Nutzer eines Produktes oder eines Marktsegmentes gelten. Diese Methodik ist ein relevantes Werkzeug in der Produktkonzeption und -entwicklung als auch in der Marktforschung. Maßnahmen und Anforderungen können aus der Zielgruppenanalyse abgeleitet und erarbeitet werden. Ein weiteres Ziel ist das bessere Kennenlernen der Zielgruppe, um dadurch deren Bedürfnisse und Interessen genauer zu identifizieren und zu betrachten.

4.2.2 Zielgruppendefinition

Zur Bestimmung einer Zielgruppe werden folgende Kriterien unter Verwendung des Prozesstemplates der *Target Group Analysis* verwendet:

- Beruf: *Ist das System nur für bestimmte Berufsgruppen interessant?* - Im Kontext der Arbeit, in der sich auf das smarte Büro bezogen wird, stehen Personen mit Programmierkenntnissen im Vordergrund.
- Bildung: *Über welchen Bildungsstand verfügt die Zielgruppe, die das System anspricht?* - Überwiegend Personen mit Ausbildung im IT-Umfeld, sowie Akademiker im Bereich der Softwareentwicklung sind bedeutsam.
- Interessen: *Für Personen welcher Interessengebiete ist das System relevant?* - Personen die Innovationen vorantreiben, aktuelle und neueste Technologien und Frameworks im Bereich SH nutzen, könnten sich für dieses Konzept begeistern.
- Werte: *Über welche Werte verfügen die Interessenten?* - Von Bedeutung könnten die folgenden Werte sein, wie Weiterentwicklung, Ordnung, Disziplin und Selbstbestimmung, da das Framework ein selbstständiges Erarbeiten von Lösungen für Anwendungsfälle bietet.

Mithilfe der Zielgruppendefinition kann die Bestimmung und Eingrenzung der Interessenten erfolgen. Diese wird in folgendem Abschnitt verwendet, um die Zielgruppe zu erläutern. Stützend dazu werden bereits erhobenen Daten durch offizielle Statistiken und Umfragen genutzt.

³Beschreibung und Definition der Zielgruppenanalyse. <https://www.ecology.net/magazine/target-group-analysis> Besucht am 24.05.2022.

4.2.3 Zielgruppe

Die in der Marktanalyse (4.1) identifizierten Segmente werden in der Abbildung (4.4) nochmals aufgegriffen. Hierbei wird in der repräsentativen Statistik und Prognose der Statista GmbH die Nutzung des jeweiligen Segments veranschaulicht. Der Fokus dieser Prognose liegt auf der verstärkten Vertretung eines Segments in einem Smart Home in Deutschland. Die derzeit am meisten eingesetzten Segmente sind *Vernetzung und Steuerung* (rot) und *Komfort und Licht* (gelb). Das am wenigsten genutzt Segment stellt die *Gebäudesicherheit* (schwarz) in der Prognose dar. Im Jahr 2021 lag die Nutzung von Geräten des Segments *Vernetzung und Steuerung* bei 6,6 Millionen Nutzern, dicht gefolgt von dem Segment *Komfort und Licht* mit 6,5 Millionen Nutzern. Dagegen liegt das Segment *Home Entertainment* im Jahr 2021 bei 3,8 Millionen Nutzern.

Die bis 2026 veröffentlichte Prognose sagt voraus, dass die jeweiligen Segmente stark zunehmen und sich jeweils vervierfachen.

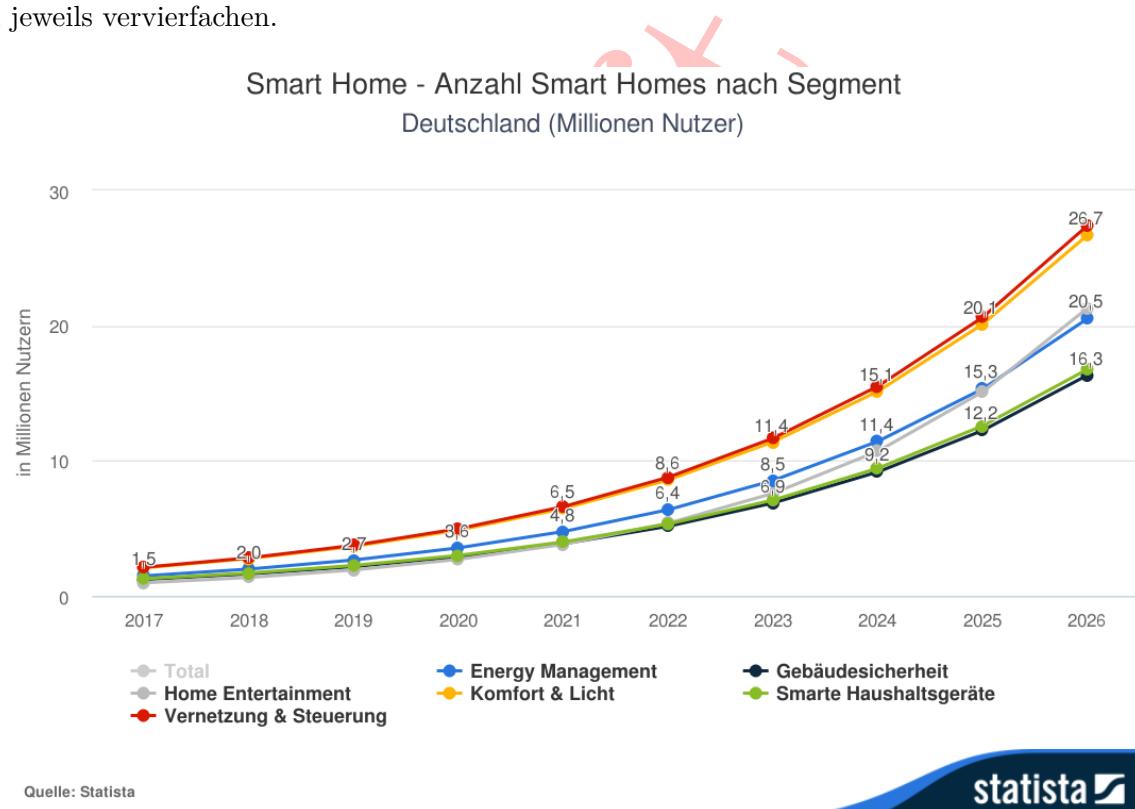


Abbildung 4.4: Anzahl Smart Home nach Segment [LASQUETY-REYES 2021]

Das Schaubild zeigt die prognostizierte Anzahl an Personen, die bereits Komponenten der Segmente *Vernetzung und Steuerung* und *Komfort und Licht* nutzen. Daraus könnte man die Hypothese entwickeln, dass sich dieses Wachstum ebenso auf Unternehmen übertragen lässt.

Im Fokus der Arbeit steht der Softwareentwickler als Anwender, welcher das System betreibt

und auf die individuellen Bedürfnisse anpasst.

Die Zielgruppe, bzw. Anwender des Frameworks für ein smartes Büro sollten gewisse Anforderungen mitbringen. Es ist eine grundlegende Kenntnis der Programmierung erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit handelt es sich um die Programmiersprache Java. Einer Umfrage der Developer Nation⁴ zufolge, benutzen von ca. 12 500 Befragten im Jahr 2021 35.8 Prozent die Programmiersprache Java. Somit kann ein Rückschluss erfolgen, dass Java eine der am häufigsten verwendete Programmiersprache ist.

Laut des Berichts der Developer Nation⁵ des dritten Quartals 2021 gibt es zu diesem Zeitpunkt 26.8 Millionen Softwareentwickler weltweit. Davon sind dem Bericht von Daxx⁶ zufolge 0.9 Millionen in Deutschland angesiedelt.

Eine vergleichbare Anwendergruppe ist die der Softwarelösung openHAB. Diese ist weltweit bekannt und zählt zu den beliebtesten und am meist genutzten Open-Source-Lösungen. Anhand den eigenen Statistiken kann die Community⁷ der openHAB Foundation ca. 42 000 Anwender vorweisen. Dem GitHub Repository der *openhab-core* Software sind 73 Mitwirkende zugeschrieben, die dazu beitragen die Software weiterzuentwickeln, bzw. zu verbessern und zu stabilisieren.

Damit die adressierte Zielgruppe etwas greifbarer wird und die Anwendungsschritte der *target group analysis* und dem *user-centered design* eingehalten werden, sind Persona⁸ entwickelt worden. Diese geben die Anwenderzielgruppe wieder und vermittelt einen Eindruck von Personen, die sich mit dem Softwareprodukt, bzw. mit dem Konzept auseinandersetzen. Ein konkretes Beispiel ist folgender Abbildung zu entnehmen, weitere Exemplare sind dem Anhang beigefügt (D).

⁴Umfragen, Statistiken rundum Softwareentwickler. <https://www.developernation.net/developer-reports/dn21> Besucht am 27.05.2022

⁵Berichte rundum Softwareentwickler. <https://www.developernation.net/developer-reports/dn21> Besucht am 27.05.2022

⁶Zusammenfassung mehrerer Berichte. <https://www.daxx.com/de/blog/entwicklungstrends/anzahl-an-softwareentwicklern-deutschland-weltweit-usa> Besucht am 27.05.2022

⁷Website Statistik der openHAB Community. <https://community.openhab.org/about> Besucht am 27.05.2022

⁸Eine repräsentative Vorstellung einer Person. <https://www.romanpichler.com/the-persona-template/> Besucht am 28.05.2022

ROMAN'S PERSONA TEMPLATE

 romanpichler

|  PICTURE & NAME |  DETAILS |  GOAL |
|--|---|--|
| <p>What does the persona look like? What is its name? Choose a realistic and believable picture and name.</p> <p>Photo by ThisEngineered RAEng on Unsplash</p>  <p>Jonathan Maier</p> | <p>What are the persona's relevant characteristics and behaviours? For instance, demographics, such as age, gender, occupation, and income; psychographics, including lifestyle, social class, and personality; and behavioural attributes like usage patterns, attitudes, and brand loyalty. Only list relevant details.</p> <p>Geschlecht: Männlich Alter: 36 Beruf: Software Engineer Ausbildung: Diplom Informatiker/in (FH) Familienstand: Ledig, zwei Kinder (männlich im Alter von 7 Jahren) Hobbies: Klettern, Rad fahren Attribute: modern, karriereorientiert, nutzt keine soziale Medien, innovative Ideen, lernt gerne neues, gerne unter Leuten, strukturiert Lebensstil: Typ A (kulturell interessiert, modern, lebt den digitalen Lebensstil), gestaltet den Alltag und Lebensraum nach seinen Vorstellungen Persönlichkeit: eigenständig, zielstrebig, erfinderisch, flexibel, neugierig und innovativ Nutzungsmuster: Exklusiv, legt Wert auf Qualität, Performance und Digitalisierung</p> | <p>What problem does the persona want to solve or which benefit does the character seek? Why would the persona want to use or buy the product?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Er möchte strukturierte Prozessabläufe, die wiederholbar sind - Das Wohlbefinden im Büro erhöhen - Büroaktivitäten erleichtern - Innovationen mit dem Büro kombinieren - Alle SmartHome Prozesse zentralisieren und möglichst schnell neue Funktionen und Use Cases abdecken - Mit moderner Technik in Berührung kommen - Möglichst viele Prozesse automatisieren |

www.romanpichler.com
Template version 02/20

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 Unported license



Abbildung 4.5: Persona zur Zielgruppenanalyse

Der Zielgruppe werden folgende Eigenschaften, wie IT-affin, innovativ, zielstrebig, selbstständig, flexibel, neugierig, erfinderisch, fortschrittlich beispielhaft zugeschrieben. Diese garantieren das Einsetzen und ständige Vorantreiben zum eigenen Nutzen.

4.3 Anwendungsfälle - Use Cases

Für die Erhebung und Ausarbeitung von Anforderungen an das zu entwickelnde Framework der Steuerzentrale und dessen einfache Handhabung der formalisierten Interaktionen des Softwareentwicklers wurden Anwendungsfälle, sogenannte *Use Cases* definiert. Diese helfen dabei, alle Ansprüche und Kriterien zu identifizieren und für das Konzept zu berücksichtigen. Im Rahmen des Requirements Engineering wurden die Anwendungsfälle dokumentiert und für die Konzeption, sowie für die Umsetzung des Prototyps, dem *Proof of Concept (PoC)*, einbezogen.

Das RE nach [POHL und RUPP 2021] gibt Schablonen, Vorgehensmodelle und Aufgaben vor, die

dabei helfen, den Kontext des Projektes zu erläutern und aus den anliegenden Sachverhalten und Anwendungsfällen die Anforderungen abzuleiten. Nach der strukturierten RE Methode Task-oriented Requirements Engineering (TORE) [ADAM, RIEGEL und DOERR 2014] werden die Aufgaben, die Systemfunktionen und die Interaktionen deutlich. Zum besseren Verständnis des Kontextes und der daraus resultierenden Anforderungen werden die jeweils generierten Anwendungsfälle in den folgenden Abschnitten erläutert.

4.3.1 Check-in mit einem Service-Roboter

Der erste Anwendungsfall skizziert den Check-in mit einem Service-Roboter. Daraus können Anforderungen abgeleitet werden, die für das Konzept eine wichtige Rolle spielen. Mithilfe der Erläuterung des *Use Cases* kann der Prozess aus mehreren Sichtweisen betrachtet werden, die zur Erhebung weiterer Anforderungen beitragen können.

Anhand dessen können die Schritte identifiziert werden, die notwendig sind, um die Interaktionen für den Softwareentwickler zu identifizieren. und so zu verallgemeinern, dass die formalisierten Interaktionen einfach zu handhaben sind. Des weiteren soll durch die Komplexität der Anwendungsfälle auch ersichtlich werden, welche Konzeptentscheidungen notwendig sind, damit über die Steuerzentrale Anwendungsfälle mit einem Service-Roboter abgebildet werden können.

Die Begrüßung und der Check-in eines Mitarbeiters oder angemeldeten Gastes an der Tür des Bürogebäudes erfordert mehrere Teilnehmer. Darunter zählt die jeweilige Person, die den Check-in erfährt, eine Kamera, mit der die davor stehende Person authentifiziert wird, ein Service-Roboter, der die Begrüßung und den Check-in durchführt und die Steuerzentrale, die den gesamten Prozess koordiniert.

Für den Zeitpunkt des Check-ins muss die Person an der Tür bekannt sein. Hierfür findet eine Authentifizierung der Person über die Kamera an der Eingangstür statt. Der Authentifizierungsvorgang wird bereits als gegeben vorausgesetzt und ist kein direkter Bestandteil der Steuerzentrale.

Sobald eine Person über die Kamera verifiziert wurde, wird eine MQTT-Nachricht über ein dafür definiertes Topic an den MQTT-Broker veröffentlicht, auf das die Steuerzentrale lauscht und dessen Inhalt konsumiert. Das Konsumieren des MQTT-Tops und die damit gesendete Nachricht wird als eingehendes Ereignis verwendet, worauf die Steuerzentrale reagiert. Basierend auf dem eingehenden Event wird der weitere Prozess gestartet. Nach dem Erhalt des Topics wird auf dessen Grundlage die Nachricht zugeordnet und die dafür vorgesehene Regel ausgeführt. Hierfür wird der Service-Roboter über die Steuerzentrale an die Tür geschickt, an der die Begrüßung stattfinden soll. Nach erfolgreichem Vorgang wird der Check-in durchgeführt, worauf die Person einen Platz buchen oder bei vorab getätigter Buchung diese bestätigen und sich als anwesend eintragen kann. Die grobe Skizzierung ist folgendem Diagramm zu entnehmen:

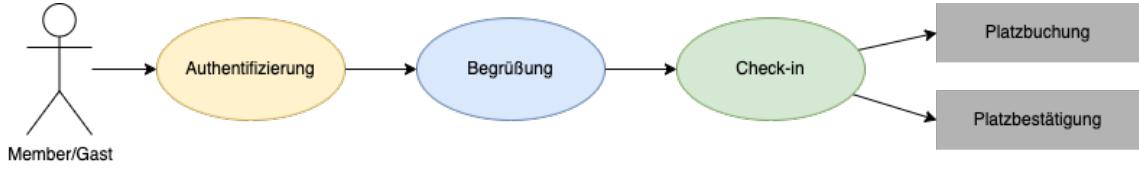


Abbildung 4.6: Use Case 1 - Anwendungsfalldiagramm

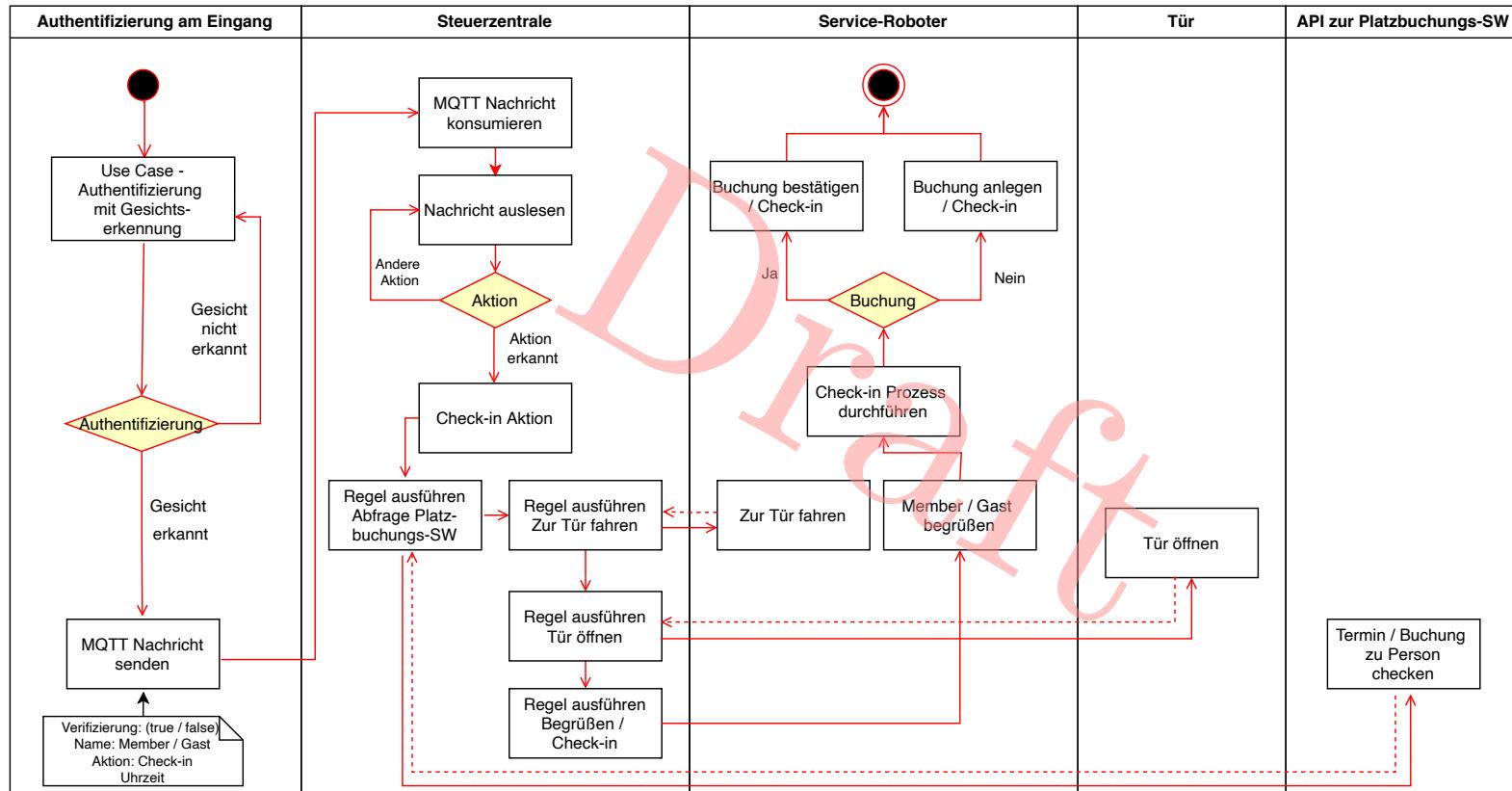
Sobald eine Person an der Tür authentifiziert und der Begrüßungsprozess gestartet wurde, werden über eine Schnittstelle zur internen Büroplatzbuchungssoftware die Platzbuchungen abgefragt. Währenddessen bewegt sich der Service-Roboter an die Tür, die sich daraufhin öffnet und die Person eintreten lässt. Zu aktuellen Zeitpunkt wird vorausgesetzt, dass die Person, die vor dem Service-Roboter steht auch diejenige ist, die an der Tür authentifiziert wurde. In zukünftiger Arbeit könnte die Person auch über die Kamera des Roboters erneut authentifiziert werden, um eine Übereinstimmung zwischen der Person an der Tür und der Person vor dem Service-Roboter zu erzielen. Damit wäre der korrekte Adressat des Check-ins gewährleistet. Dies ist für diesen Anwendungsfall jedoch nicht erforderlich und wird deshalb an der Stelle nicht weiter verfolgt.

Nachdem der Roboter die Person erkannt hat, startet die formale Begrüßung. Anschließend wird die Information der vorherigen Büroplatzbuchung verwendet, um das Einchecken der Person zu starten. Wurde bei der Abfrage der Platzbuchungen ein Eintrag der jeweiligen Person gefunden, so kann sich diese als anwesend einchecken und an den Arbeitsplatz gehen. Ist jedoch keine Buchung gefunden worden, so kann ein freier Platz über den Roboter reserviert, bzw. gebucht werden. Die Buchung wird anschließend an die Steuerzentrale zurückgegeben und über diese in das Buchungsportal eingepflegt. Nachdem dieser Schritt abgearbeitet ist, endet der Anwendungsfall und der Service-Roboter wird an seine Ausgangsposition, bzw. an dessen Ladestation geschickt. Somit ist das Szenario abgearbeitet und der Roboter steht für weitere Aufgaben zur Verfügung.

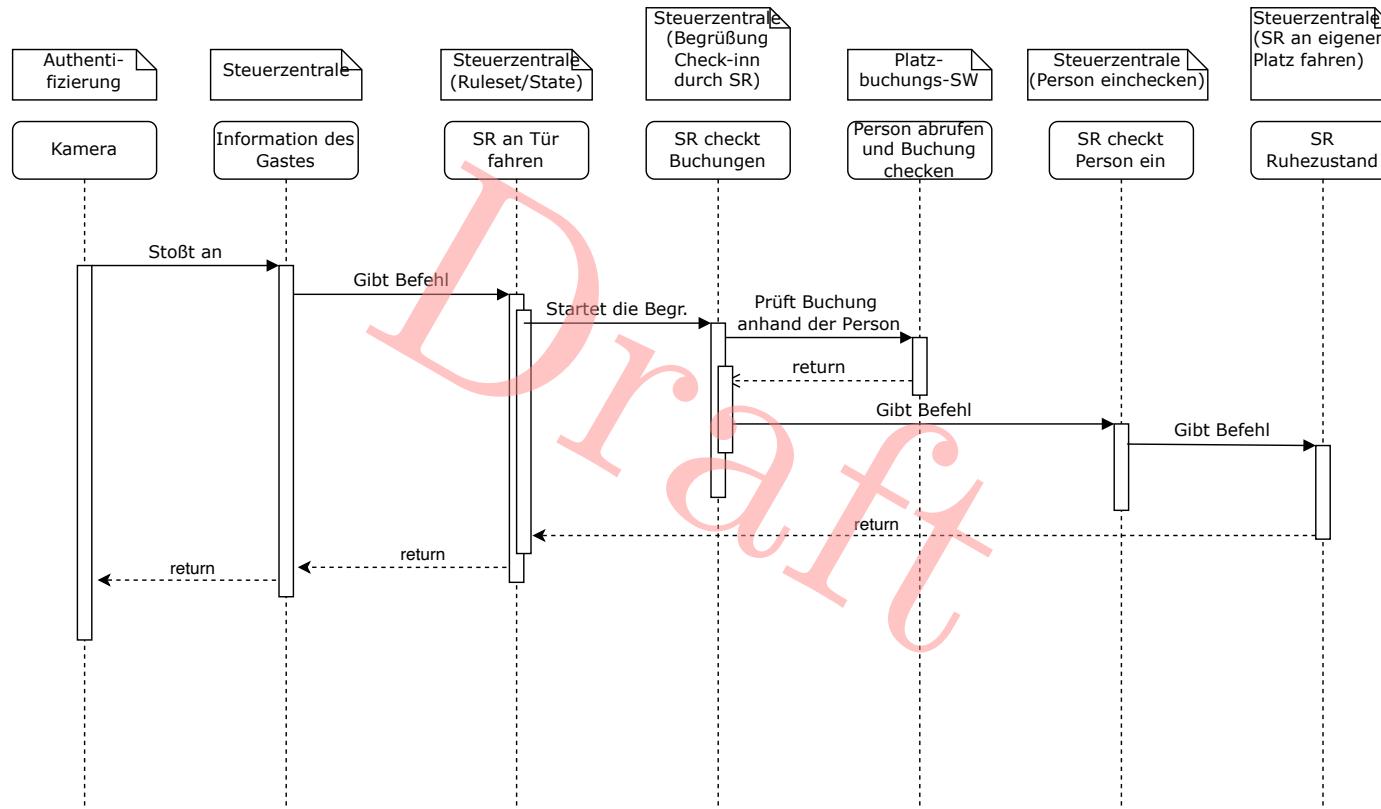
Eine konkrete Aufgabenbeschreibung, sowie eine definierte User Story und ein ergänzendes Ablaufdiagramm ist dem Anhang (siehe Anhang E) beigelegt.

Zur besseren Veranschaulichung des Anwendungsfalls sind die Prozesse visualisiert und grob skizziert. Den folgenden Diagrammen, darunter einem Aktivitätsdiagramm und einem Sequenzdiagramm, ist die visuelle Ergänzung zu entnehmen:

Use Case - Check-in mit einem Service-Roboter - Aktivitätsdiagramm



Use Case - Check-in mit einem Service-Roboter - Sequenzdiagramm



SR = Service-Roboter
SW = Software

4.3.2 Notfall-Evakuierung mit einem Service-Roboter

Mit dem Szenario der Notfall-Evakuierung wird ein weiterer Anwendungsfall definiert, welcher dabei helfen soll, die Anforderungen zu identifizieren, die für die Bereitstellung des Frameworks der Steuerzentrale benötigt werden.

Objektiv betrachtet gibt es bei diesem Fall ebenso einen Auslöser, bspw. einen Rauch- oder Gasmelder, der eine MQTT-Nachricht veröffentlicht, die über die Steuerzentrale konsumiert, verarbeitet und dadurch die weiteren notwendigen Schritte eingeleitet werden. Nachdem das MQTT-Topic mit der Nachricht von der Steuerzentrale erhalten wurde, wird basierend auf dem Nachrichteninhalt die Regel und die darauffolgende Aktion angestoßen. Die Steuerzentrale muss über die API Schnittstelle des internen Büroplatzbuchungssystems alle eingecheckten Personen und Platzbuchungen abfragen und zwischenspeichern. Die Informationen werden genutzt, um den Service-Roboter an die Arbeitsplätze der jeweilig eingecheckten Personen zu schicken, sodass dadurch diese über den Notfall informiert, bzw. gebeten werden, das Gebäude zu verlassen. Wird eine Person an einem Arbeitsplatz erkannt, so kann diese über den Sachverhalt informiert werden. Ist jedoch der Arbeitsplatz leer, soll der Service-Roboter den nächsten Arbeitsplatz ansteuern. Nachdem alle Plätze von dem Service-Roboter abgefahren wurden, soll dieser über die restliche Bürofläche fahren und nach Personen Ausschau halten. Die Erkennung der Person wird durch die Kamera des Roboters durchgeführt. Abschließend, wenn alle Plätze und die Bürofläche abgefahrene wurden, soll der Roboter an eine zentrale Stelle im Büro fahren und ohne Unterbrechung eine Durchsage starten und diese solange wiederholen, bis eine Person den Vorgang manuell beendet. Mit der Beendung der Dauerschleife ist das Szenario abgeschlossen und der Roboter kann an seine Ausgangsposition zurückgeführt werden, sofern dies umgebungsbedingt noch möglich ist. Die grobe Skizzierung ist folgendem Anwendungsfalldiagramm zu entnehmen:

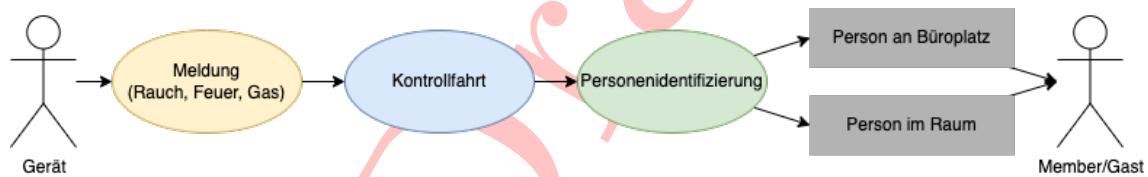
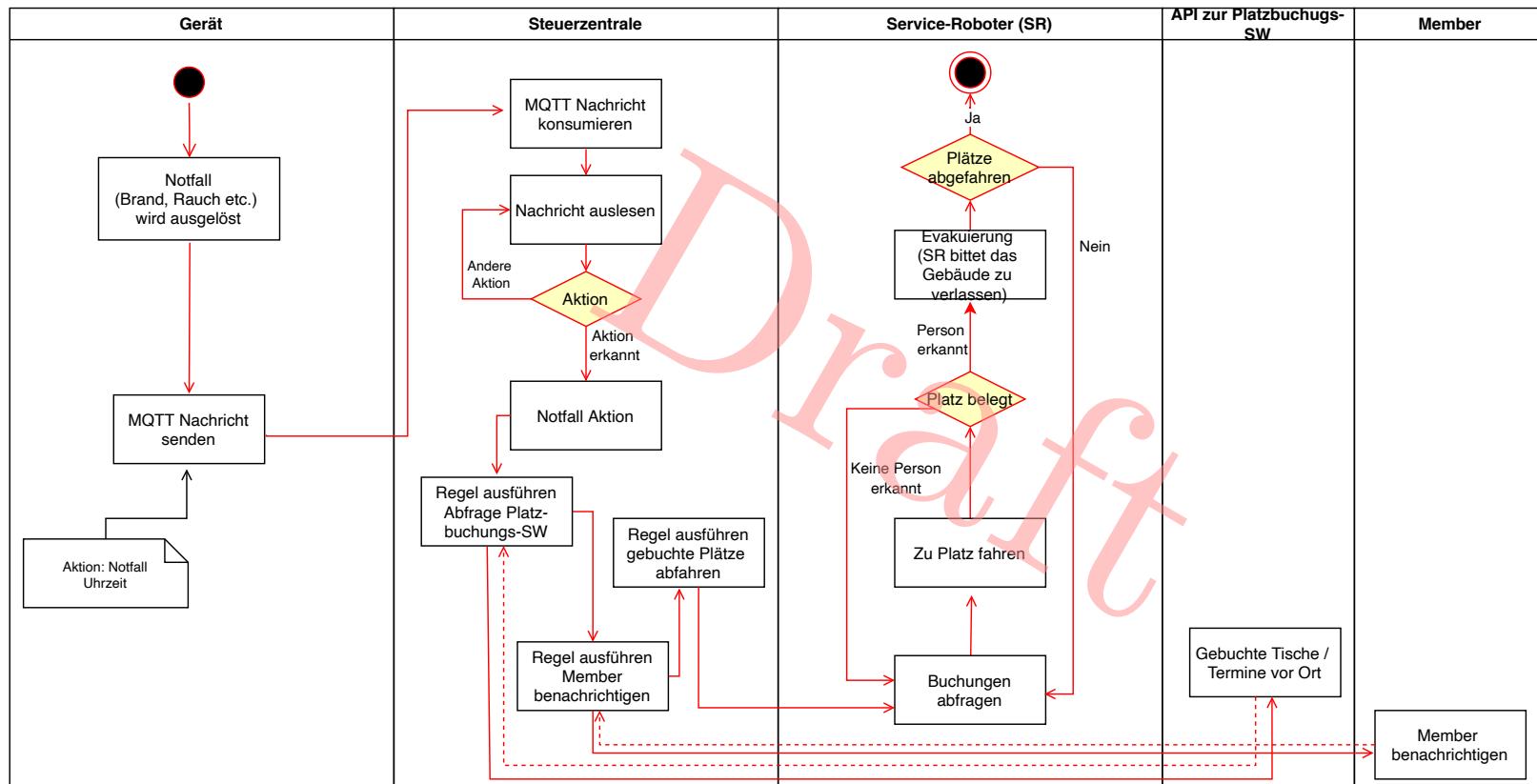


Abbildung 4.7: Use Case 2 - Anwendungsfalldiagramm

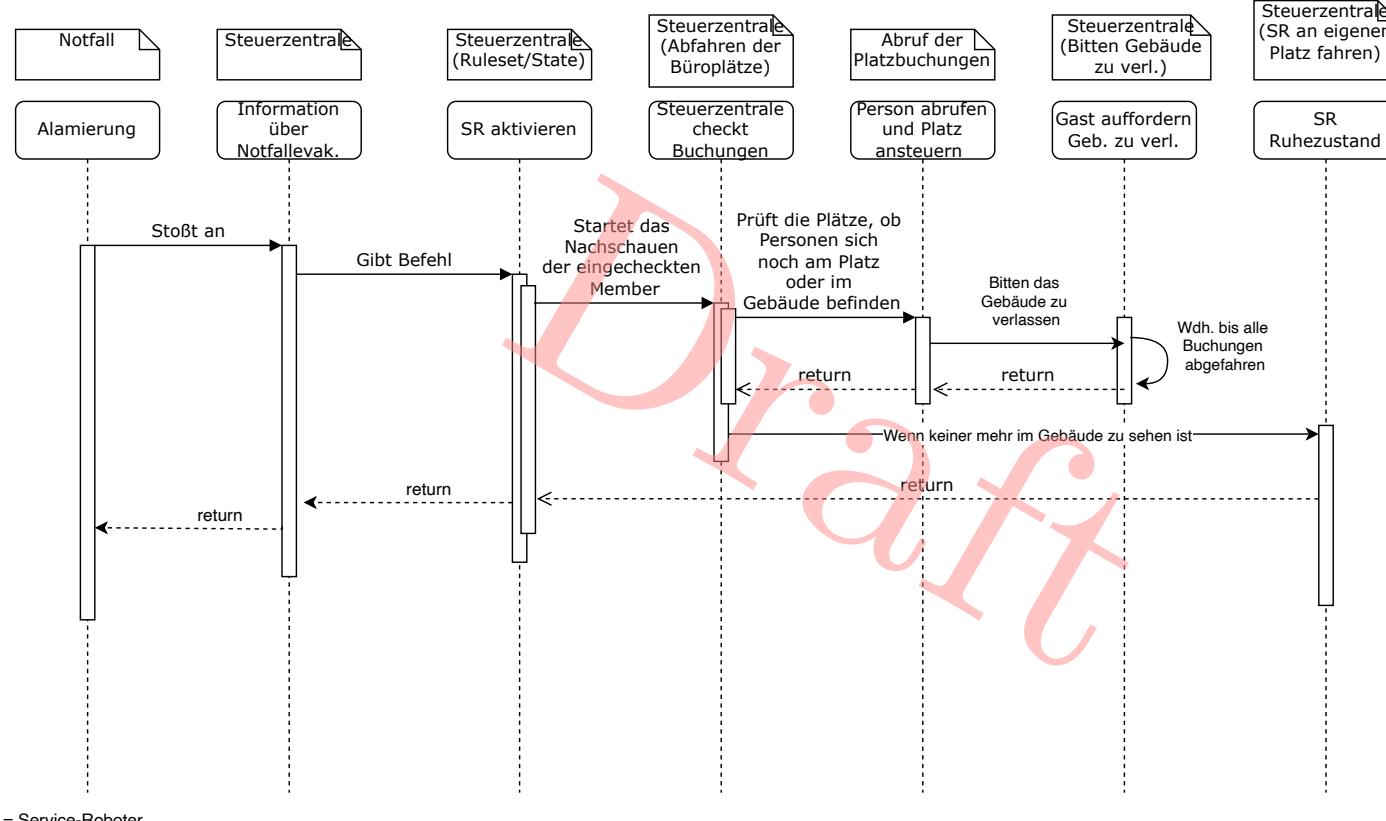
Die Anwendungsfälle wurden so gewählt, da diese eine gewisse Komplexität mit sich bringen, die es mit der Steuerzentrale abzudecken gilt.

Zur Stützung der textuellen Schilderung des zweiten Anwendungsfalls werden nachfolgend Diagramme dargestellt, die das Szenarien widerspiegeln. Im Rahmen des RE wurden hierfür ebenso eine konkrete Aufgabenbeschreibung, sowie eine User Story und ein Ablaufdiagramm definiert. Diese sind dem Anhang (siehe Anhang F) zu entnehmen. Die folgenden Abbildungen stellen sich aus einem Aktivitätsdiagramm und einem Sequenzdiagramm zusammen:

Use Case - Notfall-Evakuierung mit dem Service-Roboter - Aktivitätsdiagramm



Use Case - Notfall-Evakuierung mit einem Service-Roboter - Sequenzdiagramm



SR = Service-Roboter

4.4 Experteninterview

Zur Analyse und Erhebung von Anforderungen, die sich an das System richten, werden Experteninterviews durchgeführt. Dabei wird sich, wie in dem Abschnitt (1.4.1) beschrieben, an dem unstrukturierten Ansatz der Führung eines solchen Interviews orientiert [ROBSON 2002]. Infolgedessen werden keine konkreten offenen oder geschlossenen Fragen gestellt. Der Aufbau des Interviews wird in weiteren Schritten aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews sind nicht repräsentativ, da sie im Rahmen dieser Arbeit keine große Masse abdecken. Diese dienen lediglich der weiträumigeren Informationsgewinnung und dem Sammeln mehrerer Meinungsbilder, um aus allen Ideen, Gedankenanstößen und Meinungen ein objektives Gesamtbild zu erzeugen und daraus viele Anforderungen zu gewinnen und abzuleiten.

4.4.1 Ziel des Experteninterviews

Ziel des Experteninterview ist die Informationsgewinnung aus bestimmten Sachverhalten, die nicht leicht auf anderem Wege zu beschaffen sind. Der Experte dient als Informationsträger und kann dabei helfen, seine Sicht auf den Sachverhalt wiederzugeben. Dadurch können Meinungen eingeholt und Erfahrungen ausgetauscht werden. Diese sind oft wichtige Informationen zur Erhebung von Anforderungen zu einem bestimmten Sachverhalt.

4.4.2 Aufbau des Experteninterviews

Die Experteninterviews wurden im Gesamten als unstrukturierte Interviews durchgeführt. Lediglich die Rahmenbedingungen sowie der Einstieg in das Interview waren vorgegeben und bei jeder interviewten Person ähnlich. Zu Anfang des Gesprächs wurde der Kontext und die Intension erläutert, damit der Experte die Situation und die Absichten kennen lernt und die eigentliche Herausforderung erkennt. Grundlage dafür war die Erläuterung der Zielsetzung (1.3) der Arbeit, um so die Intension zu verdeutlichen. Mit den identifizierten Anwendungsfällen (4.3), die als Basis zur Extraktion von Anforderungen und als potentiell umsetzbare Funktionalitäten gelten, wurden Szenarien veranschaulicht, die dabei halfen, das Anwendungsumfeld zu konkretisieren. Nach der Schilderung des Kontextes und der zugrundeliegenden Ausgangspunkten wurde das Gespräch in Richtung Anforderungen gelenkt. Hierbei lag der Fokus auf der Erhebung der Ideen, Sichtweisen und Meinungen, die als Grundlage für Anforderungen dienten oder gar direkte Anforderungen an das System ergaben. Dabei war der Ausgang des Gesprächs offen. Falls während eines Gespräches der Fokus verloren ging, bzw. Exkurse ein zu großes Ausmaß annahmen, wurde wieder auf die vorliegende Sachlage aufmerksam gemacht und der Fokus erneut auf die Anforderungen geworfen. Schwerpunkte bei den Interviews waren zum einen, welche Anforderungen gelten, um eine einfache Handhabung der formalisierten Interaktionen für den Softwareentwickler zu gewährleisten und zum anderen die Funktionalitäten, die der Experte dem System gegenüber sieht, um ein Regelwerk für ein intelligentes Büro zu erstellen. Ebenso wurden nichtfunktionale Anforderungen, die ein solches System mit sich bringen soll, adressiert. Die zusammengefassten Anforderungen und daraus abgeleiteten Bedingungen sind dem Abschnitt (4.5) zu entnehmen.

4.4.3 Zusammenfassung der Experteninterviews

In Summe wurden insgesamt fünf Experteninterviews durchgeführt. Jedes Gespräch war individuell und hatte dementsprechend einen anderen Verlauf, bzw. ein anderes Ergebnis. Dennoch konnte der inhaltliche Fokus gewahrt und verschiedene Meinungsbilder eingeholt werden. Jeder befragte Experte konnte zu dem anliegenden Sachverhalt seine Meinung äußern und wichtige Informationen und Sichtweisen mitteilen. Die erhobenen Informationen wurden analysiert, aufbereitet und als Anforderungen dokumentiert. Die dabei entstandenen Informationen und Anforderungen werden in folgendem Abschnitt aufgezeigt.

4.5 Anforderungen

In Folge der vorangestellten Literaturrecherche, der Markt- und Zielgruppenanalyse, der entwickelten Anwendungsfälle und der durchgeföhrten Experteninterviews ergaben sich Anforderungen an das System, die in der Konzeption und der anschließenden prototypischen Implementierung zu berücksichtigen sind. Zur Dokumentation der nicht funktionalen Anforderungen wird sich an dem *Software Produkt Qualitätsmodell* nach der ISO Norm 25010⁹ orientiert.

Der folgenden Tabelle (4.1) sind die funktionalen Anforderungen (FA) zu entnehmen:

| | Anforderung (User Story) | Priorität | Quelle |
|-----|---|------------|---|
| FA1 | Als Softwareentwickler möchte ich mit einer vorgegebenen Struktur Regeln definieren, die zur Laufzeit ausgeführt werden können. | Essentiell | Zielsetzung der Arbeit |
| FA2 | Als Softwareentwickler möchte ich, dass alle Regeln, die ich definiert habe, zu bestimmtem Auslöser gestartet werden. | Essentiell | Experteninterview |
| FA3 | Als Softwareentwickler möchte ich einen Zustandsraum erstellen, der individuell implementiert werden kann. | Essentiell | Experteninterview |
| FA4 | Als Softwareentwickler möchte ich Bedingungen definieren und abfragen können, die basierend auf dem Ereignis die dazugehörige Regel ausführen. | Essentiell | Experteninterview |
| FA5 | Als Softwareentwickler möchte ich Komponenten anlegen können, die reelle Gegenstände und dessen Zustände abbilden. | Hoch | Experteninterview |
| FA6 | Als Softwareentwickler möchte ich das vorgegebene Framework individuell nutzen können, indem ich bei der Definition der Regeln und der Informationsbeschaffung nicht eingeschränkt bin. | Essentiell | Zielsetzung der Arbeit, Experteninterview |

Tabelle 4.1: Funktionale Anforderungen (FAs)

⁹Qualitätscharakteristiken nach ISO. <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>
Besucht am 24.06.2022.

| | Anforderung | Priorität | Quelle |
|-------|--|------------------|---|
| NFA1 | Benutzerfreundlichkeit (BF): Der Anwender soll nach Implementierung, bzw. Definition einer Regel, diese mit max. 3 Schritten in das Regelwerk einfügen können. | Hoch | Experten-interview |
| NFA2 | BF: Mehr als 90% der Anwender sollten bei erster Verwendung des Frameworks in der Lage sein, Regeln anzulegen und diese dem Regelwerk hinzuzufügen. | Essentiell | Zielsetzung der Arbeit, Experteninterview |
| NFA3 | BF: Der Anwender soll die Möglichkeit haben, zu dem Zeitpunkt der Verwendung des Frameworks alle verfügbaren Funktionen nutzen und anwenden zu können. | Mittel | Experten-interview |
| NFA4 | BF: Der Anwender braucht sich zu keinem Zeitpunkt um das Management, bzw. um den Ablauf und Durchführung von Regeln kümmern. Er muss nur sicherstellen, dass die Regeln valide sind und dem Kontext passende Bedingungen und Regelausführungen festlegt. | Essentiell | Experten-interview |
| NFA6 | Zuverlässigkeit (Z): Zeitlich gebundene Regeln sollen immer zu der vorgegebenen Uhrzeit ausgelöst werden. | Hoch | Experten-interview |
| NFA5 | Z: Als Anwender möchte ich, dass zu 100% die Regel ausgeführt wird, die der Auslöser ansteuert. (Bei sequenzieller Ausführung soll immer die Regel gestartet werden, die durch den Auslöser ausgelöst wurde.) | Essentiell | Experten-interview |
| NFA7 | Performanz (P): Ausgelöste Regeln, die beide voneinander unabhängige Ressourcen, bzw. einen Wert im Zustandsraum belegen, sollen parallel ausgeführt werden. | Hoch | Anwendungsfall, Experten-interview |
| NFA8 | P: Regeln, die über Kommunikationsprotokolle ausgelöst werden, sollen unter einer Sekunde starten. Die Zeit der Durchführung ist abhängig von der Regel selbst. | Mittel | Anwendungsfall, Experten-interview |
| NFA9 | Verfügbarkeit (V): Die Steuerzentrale muss eine Verfügbarkeit von 99,9% vorweisen. (Zum aktuellen Zeitpunkt ist diese Anforderung zu vernachlässigen.) | Niedrig | Experten-interview |
| NFA10 | V: Die Steuerzentrale muss während der Arbeitszeiten zwischen 7-18 Uhr ohne Ausfälle verfügbar sein. (Zum aktuellen Zeitpunkt ist diese Anforderung zu vernachlässigen.) | Niedrig | Experten-interview |
| NFA11 | Fehlertoleranz: Syntaktisch oder inhaltlich fehlerhafte Regeln sollen nicht zum Absturz der Steuerzentrale führen. | Mittel | Experten-interview |
| NFA12 | Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit: Prozesse und Zustände der Steuerzentrale müssen eingesehen werden können, bspw. durch Monitoring oder über Oberflächen. (Zum aktuellen Zeitpunkt zu vernachlässigen.) | Niedrig | Experten-interview |

Tabelle 4.2: Nicht funktionale Anforderungen (NFAs)

Ein Ausschnitt an Anforderungen, die ergänzend aus der Zielgruppenanalyse und den Anwendungsfällen entstanden, die sowohl die funktionalen (4.1) als auch die nicht funktionalen Anforderungen (4.2) erweitern, ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. Diese sind als Zusätzliche Anforderungen (ZAF) gekennzeichnet:

| | Anforderung | Priorität | Quelle |
|------|---|------------------|---------------------------------------|
| ZAF1 | Zur Entwicklung des Frameworks soll Java als Programmiersprache verwendet werden. | Hoch | Experteninterview, Zielgruppenanalyse |
| ZAF2 | Die Abbildung von Komponenten soll über einen Zustandsraum dargestellt werden. | Essentiell | Anwendungsfäll, Experteninterview |
| ZAF3 | Zur parallelen Ausführung von Regeln soll ein Thread Pool eingesetzt werden, der die Regeln jeweils als eigenen Thread laufen lässt. | Hoch | Anwendungsfäll, Experteninterview |
| ZAF4 | Regeln sollen über zeitbasierte oder MQTT basierte Auslöser gestartet werden, nachdem die dafür vorgesehene Bedingung zutrifft. (Im Rahmen der Anwendungsfälle wird MQTT als Kommunikationsprotokoll und Auslöser gewählt.) | Hoch | Anwendungsfäll |
| ZAF5 | Regeln und damit einhergehende Aktionen dürfen erst nach aktivieren eines bestimmten Auslösers (Triggers) ausgeführt werden. | Essentiell | Experteninterview |
| ZAF6 | Der Zustandsraum muss zur Laufzeit zur Verfügung stehen | Hoch | Experteninterview |
| ZAF7 | Die Kommunikation erfolgt überwiegend durch MQTT | Hoch | Anwendungsfäll |
| ZAF8 | Sicherheit: Die Kommunikation soll über einen MQTT Broker im eigenen Netzwerk erfolgen. Das System soll nach außen nicht erreichbar sein. | Hoch | Experteninterview |
| ZAF9 | Single Point of Contact (SPC) (Implementierung, Anpassung und Erweiterung der Regel und der Logik). | Hoch | Zielgruppenanalyse, Experteninterview |

Tabelle 4.3: Zusätzliche Anforderungen

Alle relevanten Anforderungen, die mithilfe den genannten und durchgeführten Erhebungsmethoden erhoben wurden, fließen in die Konzeption des Frameworks mit ein. Diese bilden die Grundlage des Konzeptes und ergänzen den Kontext der zu erzielenden Lösung.

Kapitel 5

Konzeption

In diesem Kapitel wird das erarbeitete Konzept dargelegt. Basierend auf den Anforderungen, die aus den Anwendungsfällen, den Experteninterviews und der Zielgruppenanalyse erhoben wurden, werden die daraus generierten Überlegungen und Entscheidungen transparent dargestellt. Durch die bereits erfolgten Schritte der Anforderungsanalyse (siehe Kapitel 4) sind erste Schritte der Konzeption abgeschlossen.

Zu Anfang des Kapitels wird das allgemeine Ziel eines Konzeptes, sowie das konkrete Ziel dieser Arbeit erläutert. Anschließend wird auf das Anwendungsumfeld des Systems, bzw. des Frameworks, (5.2) eingegangen, darunter welche zusätzlichen Komponenten notwendig sind, damit das Framework in einer dafür vorgesehenen Umgebung sinnvoll eingesetzt werden kann. Darauf folgend wird anhand den zugrundeliegenden Informationen und Anforderungen das Architekturkonzept (5.4) erläutert. Dabei wird auf verschiedene kontextabhängige Aspekte, sowie auf die Sichtweisen des Anwenders und des Frameworks eingegangen.

5.1 Ziel der Konzeption

Das Ziel einer Konzeption ist die Veranschaulichung von abstrakten Ideen, geistiger Entwürfe und Leitideen. Hierbei werden aus den zugrundeliegenden Problemstellungen, Szenarien und Anforderungen Entwürfe und Lösungsmöglichkeiten erarbeitet und identifiziert. Diese helfen bei der Aufstellung von notwendigen Schritten und dienen als Grundlage zur Untermauerung und Darlegung von Entscheidungen. Somit wird Dritten der Kontext, die Domäne und das zu lösende Problem, bzw. die Lösung dargestellt.

Im Rahmen dieser Arbeit ist das Ziel des Konzeptes die Veranschaulichung der Entscheidungsfindung zur Lösung des vorliegenden Sachverhaltes. Das Konzept erarbeitet eine Lösung zur Implementierung einer Anwendung, die es ermöglicht, Automatisierungen, Regeln und Prozesse innerhalb eines Firmenbüros zu koordinieren. Der Fokus liegt dabei verstärkt auf der einfachen Nutzung des Frameworks für den Anwender und die uneingeschränkte und schnell umzusetzende Ausprägungsvielfalt von Regelprozessen. Dadurch kann der Anwender die vorgegebene Struktur nutzen, um individuelle Sachverhalte zu realisieren, die in seinem Umfeld abzudecken sind. Hierfür wird der allgemeine

Aufbau der Architektur skizziert und demonstriert, wie eine solche Lösung aussehen kann. Unter Berücksichtigung der Forschungsfrage (siehe Abschnitt 1.2) wird eine Möglichkeit offen gelegt, mit der ein Softwareentwickler neue Regeln entwickeln und dem System hinzufügen kann, ohne ein weiteres zu erlernendes Framework zu verwenden. Dabei sollen die notwendigen Schritte und Interaktionen formalisiert und für den Entwickler vereinfacht werden. Mit der Definition der Zielsetzung der Arbeit (siehe Abschnitt 1.3) wird die Abgrenzung deutlich.

In folgender Darlegung wird nochmals konkreter auf den Kontext als auch auf die Intension der Arbeit eingegangen.

5.2 Anwendungsumfeld

Grundsätzlich ist der Einsatzort des Frameworks variabel, da die eigentliche Implementierung und Nutzung der Regeln und Prozesse stark abhängig von den Anwendern und dessen Umfeld ist. Dadurch kann sowohl im privaten Smart Home Umfeld als auch in Büroräumen ein System mittels dem Framework erstellt werden. Basierend auf den vorangestellten Tätigkeiten, darunter die Anforderungsanalyse und die Eingrenzung auf den Einsatz im Smart Office, liegt der Fokus auf dieser.

Stützend auf den vorab ermittelten Anwendungsfällen (siehe Abschnitt 4.3.1 und 4.3.2) sind unabhängige Komponenten, darunter bspw. ein Service-Roboter und weitere einsatzfähige Geräte, sowie ein MQTT-Broker notwendig. Ein MQTT-Broker wird im Zuge der Konzeption nicht von dem Framework bereitgestellt, lediglich die Anbindung als Client wird gegeben, und muss daher als eigenständige Instanz bereitgestellt werden. Dadurch kann die Anforderung, die Kommunikation mittels MQTT, ermöglicht werden. Eine mögliche infrastrukturelle Architektur kann wie folgt aussehen:

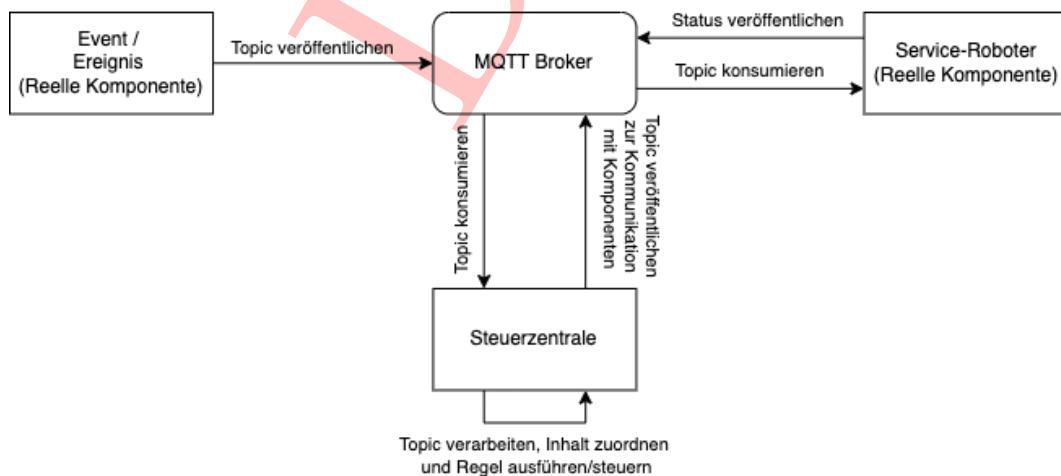


Abbildung 5.1: Infrastruktur des Anwendungsumfeldes der Steuerzentrale

5.3 Konzept

Die Intension, die hinter der Ausarbeitung dieses Konzeptes steht, ist zum einen die einfache Handhabung der formalisierten Interaktionen für Softwareentwickler unter der Verwendung des Frameworks und zum anderen die offene Gestaltung von Regelprozessen. Dadurch ist der Anwender bei der Implementierung von Regeln, Aufgaben und Automatisierungen für ein intelligentes Büro nicht eingeschränkt und kann mit der Regeldefinition flexibel variieren. Es soll lediglich ein Muster vorgegeben werden, damit Regeln einheitlich als solche von dem Framework verarbeitet und genutzt werden können.

In vergleichbaren Softwareprodukten, die im Rahmen dieser Arbeit erläutert wurden (siehe Kapitel 2.4 und 2.5), ist die Vielfalt der Regelausprägung auf den Kontext des Systems eingeschränkt und braucht mehrere Schritte, um eine einfache Regel zu realisieren. Dies bedeutet, dass Regeln und Prozesse nur mit Komponenten und Informationen innerhalb des Systems arbeiten können, bzw. benötigte Informationen erst durch eine systemseitige Erweiterung durch Plugins verfügbar sind, auf die der Nutzer keinen direkten Einfluss nehmen kann. Diese Auswirkung ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass mit den bestehenden Lösungen versucht wird, die Regeldefinition für Endnutzer so einfach wie möglich zu gestalten.

Um dennoch dem Anwender eine Struktur vorzugeben, mit der Regeln definiert und zur Laufzeit der Anwendung ausgeführt werden können, soll mit diesem Konzept ein Framework erarbeitet werden, dass diese Herausforderungen löst. Hierfür soll dem Anwender die Komplexität der Regelverwaltung und deren Durchführung nicht vorgehalten werden. Dieser ist lediglich in der Verantwortung, die für ihn notwendigen Regeln und Prozesse zu definieren und dem Framework bereitzustellen. Dadurch soll der Person, die das Framework verwendet, die Möglichkeit geboten werden, das zur Verfügung gestellte System mit individuellen Regeln, dafür vorgesehene Bedingungen, Komponenten und dessen Zustände zu implementieren. Beispielsweise können bei Regeldefinitionen Informationen direkt von Datenpunkten über HTTP Abfragen bezogen werden, bzw. Ressourcen und Inhalte individuell nachgezogen werden.

Das Konzept beinhaltet die in folgendem Abschnitt dargelegten Komponenten. Aus denen bildet sich der grundlegende Aufbau des Frameworks.

5.3.1 Konzeptkomponenten

Für die Erläuterung des Konzeptes werden vorab die einzelnen Konzeptkomponenten erläutert, da diese die Anhaltspunkte für den weiteren Verlauf darstellen:

- Regel (Rule): Eine Regel ist ein Konstrukt, welches bei bestimmten Events die darin enthaltenen Aktionen ausführen soll. Der grobe Aufbau einer Regel ist immer gleich. Diese beinhaltet einen Auslöser, eine Bedingung, einen Prozess und einen eindeutigen Namen. Die Inhalte der Regel kann der Anwender ja nach Bedarf beliebig ausprägen und ergänzen.
- Komponente (Component): Eine Komponente soll einen reellen Gegenstand abbilden, der bei Benutzung durch eine Regel unter anderem für weitere Regeln gesperrt und freigegeben

werden kann. Diese Komponente kann ebenso sämtliche Zustände beinhalten und als Objekt in den Zustandsraum aufgenommen werden.

- Zustandsraum (State): Der Zustandsraum, das sog. Zustandsobjekt, soll alle Zustände von Komponenten und weiteren Geräten abbilden. Dieser Repräsentiert die Zustände der Realität.
- Auslöser (Trigger): Ein Auslöser löst im Allgemeinen eine Zustandsänderung aus. Im Kontext des Frameworks gibt es zwei Ausprägungen von Auslösern. Zum einen werden eingehende Aktionen entgegengenommen und über die Transformation zu einer Zustandsänderung verarbeitet, zum anderen können durch Regelprozesse wiederum Aktionen, weitere Schritte und Zustandsänderungen ausgelöst werden. Dadurch werden ausgehende Aktionen gesteuert.
- Transformation (Transformer): Mit der Transformation werden eingehenden Zustandsänderungen, die durch ein Event oder Auslöser ausgelöst werden, auf das eigentliche Zustandsobjekt übertragen.

Diese Komponenten bilden den Kern des Frameworks.

Das Konzept wird aus zweierlei Sichtweisen betrachtet, die in folgendem Abschnitt aufgegriffen werden und für die weitere Konzepte erläutert sind.

5.3.2 Sichtweisen

Wie bereits aus dem Kontext hervorgeht, wird das Konzept auf zwei Sichtweisen aufgeteilt. Zum einen auf die Anwendersicht, die der Softwareentwickler als entscheidende Kraft einnimmt, indem dieser das Aufsetzen und das in Betrieb nehmen des Systems, sowie das Definieren und Implementieren von Regeln übernimmt. Zum anderen die Bereitstellungssicht, die das Framework als ausführende Kraft besetzt. Dieses sorgt für die Ausführung der vom Anwender definierten Regeln. Ebenso stellt es Funktionen bereit, die das Empfangen von Events und das Starten von Regeln ermöglicht. Das Management zum Starten von Regeln und Prozessen wird in Gänze vom Framework übernommen. Das Konzept widmet sich grundlegend dem initialen Aufbau des Frameworks.

Zusammenfassend wird zwischen den beiden Sichtweisen differenziert, da diese Trennung ein elementarer Schnitt des Konzeptes aufzeigt. Die Sichten werden konkretisiert, indem die Aufgaben des Anwenders als auch der Ablauf innerhalb des Frameworks andeutungsweise erläutert wird.

Der Anwender hat das initiale Setup des Frameworks zur Aufgabe. Zuerst sollte der Zustandsraum erstellt werden. Darin sind alle notwendigen Zustände als Attribute und Objektattribute abzubilden. Diese können konkret Geräte sein, die im Rahmen des intelligenten Büros verwendet werden können, bspw. ein Service-Roboter, ein Türöffner und weitere steuerbare Geräte, die ihren Zustand ändern können. Nachdem das Zustandsobjekt definiert wurde, geht es an die Definition und Implementierung der Regeln. Diese sind individuell, je nach Anforderungen des Anwenders zu erstellen. Jedoch sind bestimmte Funktionen und Vorgaben bezüglich Bedingungsprüfung und Regeldurchlauf einzuhalten. Anforderungen dabei sind das Implementieren von drei unabdingbaren Funktionen. Die erste Funktion ist die Zuordnung des Auslösers, damit klar wird, durch welches

Event eine Regel ausgelöst werden kann. Die zweite zu implementierende Funktion ist die Prüfung von Werten im Zustandsraum, sodass beim eintreffen spezifischer Bedingungen und Zuständen bestimmte Regelprozesse ausgeführt werden können und die dritte vorgegebene Funktion ist die des tatsächlichen Regeldurchlaufs. Die darin enthaltenen Aufgaben werden nach eintreffender Anforderungen, durch Prüfung der vorangestellten Bedingungen, abgearbeitet.

Nach Fertigstellung aller Regeln, müssen diese in einer Liste an das System übergeben werden. Anschließend sind die konkreten Transformationen zu definieren. Darüber wird festgelegt, welches eingehende Event, bzw. MQTT-Topics eine bestimmte Zustandsänderung bewirkt, da erst nach der Änderung des Zustandes die Überprüfung und Ausführung von Regeln ausgelöst wird. Das konkrete Konstrukt der Transformation wird in der Umsetzung (siehe Kapitel 6) erläutert. Abschließend sind die Kommunikationswege zu aktivieren. Da MQTT zum aktuellen Zeitpunkt und zur Abdeckung der Anforderungen die einzige Kommunikationsschnittstelle abbildet, ist die Konfiguration des MQTT-Clients einzustellen. Hierfür muss der Entwickler dem Framework den Host des MQTT-Brokers, sowie den Nutzernamen des Clients und dessen Passwort übergeben. Über das Framework wird dann das Setup durchgeführt, sodass Topics (Themen), die über den Broker veröffentlicht werden, konsumiert werden können. In Zuge dessen muss der Anwender alle Topics definieren mittels der Transformation an das Framework übergeben. Dadurch wird gewährleistet, dass die Steuerzentrale nur auf die Topics hört, die der Anwender bekannt gegeben hat.

Sobald eine Person an der Tür authentifiziert wurde, wird ein Thema mit dem Namen derjenigen Person übergeben. Basierend auf dem eingehenden Topic wird dann für dieses Ereignis der Wert im Zustandsraum auf den Namen der Person geändert. Somit kann die Steuerzentrale mit dem neuen Wert und der Änderung des Zustandsraumes arbeiten. Durch die Zustandsänderung wird dann geprüft, ob eine Regel für diese bestimmte Änderung definiert wurde. Trifft diese Bedingung zu, so wird der dazugehörige Regelprozess durchlaufen.

Sind diese Schritte abgearbeitet, so sind die Pflichten des Anwenders erfüllt und die Steuerzentrale kann gestartet werden.

Hierfür wird der Durchlauf von dem Eingang einer MQTT-Nachricht bis zur Ausführung einer Regel aus Sicht des Frameworks erläutert.

Nach erfolgreichem Einstellen und Starten des Systems soll der MQTT-Client hochgefahren werden. Dieser baut daraufhin eine Verbindung zu dem MQTT-Broker auf und startet das Zuhören auf eingehende Themen. Dabei soll bereits auf die Topics, die der Nutzer über die Einstellungen als Liste aller Topic-Zeichenketten übergibt, gefiltert werden. Sobald eine der bekannten MQTT-Nachrichten konsumiert wird, soll mittels des Transformers der Zustandsraum, bzw. das Zustandsobjekt auf die in dem Topic enthaltenen Informationen abgeändert werden. Der Transformer stellt den Ausgangspunkt für die Transformation des Inhaltes der Nachricht zur Änderung des Zustandsobjektes dar. Innerhalb dieser Komponente findet die Zuordnung des Topics zu den darauf adressierten Instanzvariablen des Zustandsobjektes statt. Mittels der Nachricht sollen die Informationen dieser in den Attributwert der durch den Entwickler spezifizierten Variable übertragen, bzw. überschrieben werden. Die Änderung des Zustandsraumes löst darauf hin den weiteren Ablauf aus.

Das aktuelle Zustandsobjekt wird zum Zeitpunkt der Überschreibung für weitere Lese- und Schreiboperationen gesperrt, sodass die Gültigkeit des Zustandsraumes nicht erlischt und nach wie vor den

realen Zustand wiedergibt. Anschließend erfolgt die Erstellung einer Kopie des Zustandsobjektes, mit der darauf folgend weiter verfahren wird. Nachdem das Zustandsobjekt geklont wurde, wird der Sperrvorgang aufgehoben. Nachdem der Lock-Mechanismus entsperrt wurde, wird über alle Regeln, die dem Framework bekannt sind, iteriert. In diesem Prozess wird jeweils nochmals eine Kopie des Zustandsobjektes erzeugt, mit dem bei der Iteration die Regel-Bedingungen überprüft werden. Bei zutreffender Bedingung wird die entsprechende Regel der aktuellen Iteration durchgeführt. Zur Abarbeitung mehrerer Prozesse gleichzeitig, soll durch Asynchronität die Bedingungsprüfung und Durchführung der Regel in einen separaten Thread ausgelagert werden. Wichtig an dieser Stelle zu erwähnen ist, dass die Prüfung der Regel-Bedingungen mit der Kopie durchgeführt werden soll. Durch den Sperrvorgang wird gewährleistet, dass eine Zustandsänderung sauber durchgeführt wird und darauf hin eine Regel mit der Kopie des Zustandsobjektes ausgelöst werden kann. Hierdurch ist sichergestellt, dass jeweils eine Zustandsänderung zu einem Zeitpunkt stattfindet und zu dieser die dafür definierte Regel ausgeführt wird, sofern die Bedingung im Vorfeld ebenso zutrifft. Wird kurz darauf eine weitere Nachricht konsumiert, so kann das aktuelle Zustandsobjekt dahingehend überschrieben und erneut kopiert werden. Die Kopie wird wiederum für die Regel-Iteration verwendet und tangiert die vorherige Kopie nicht. Somit soll zu jedem Zeitpunkt der aktuelle Zustandsraum repräsentiert werden. Davon ausgehend entspricht dieser immer der Wahrheit.

Wird eine Regel durchgeführt, so wird der vom Anwender definierte Prozess abgearbeitet. Über Regelprozesse selbst kann wiederum eine Zustandsänderung erfolgen, die daraufhin eine weitere Regel ausführt. Dies soll durch die inverse Funktion der Transformation erfolgen, indem der Anwender in dem Regelprozess lediglich die Zustandsänderung beschreibt. Das Framework nutzt auf dessen Grundlage die vorab durch die Transformation übergebenen Informationen, damit zum Zeitpunkt der Regelimplementierung das Topic für die Kommunikation über MQTT dem Anwender nicht zwangsweise bekannt sein muss. Die Kenntnis über das Topic und die darauf zugewiesene Zustandsänderung ist nur bei initialer Definition erforderlich.

Dem folgenden Diagramm ist der abstrakte Programmablauf des Frameworks, welcher soeben skizziert wurde, zu entnehmen:

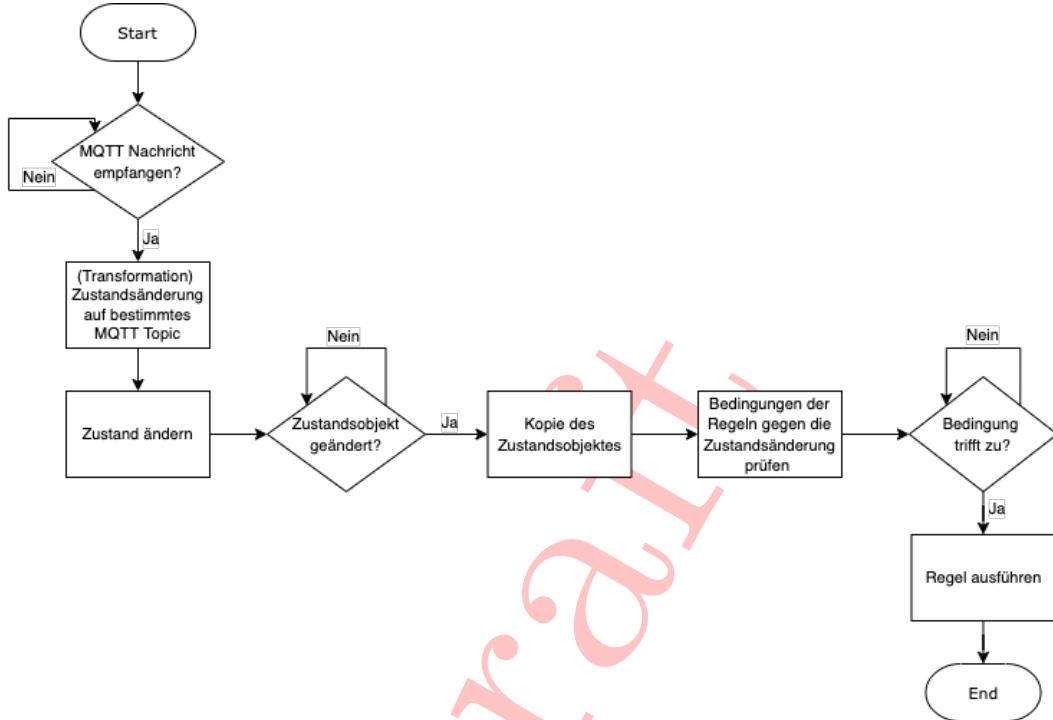
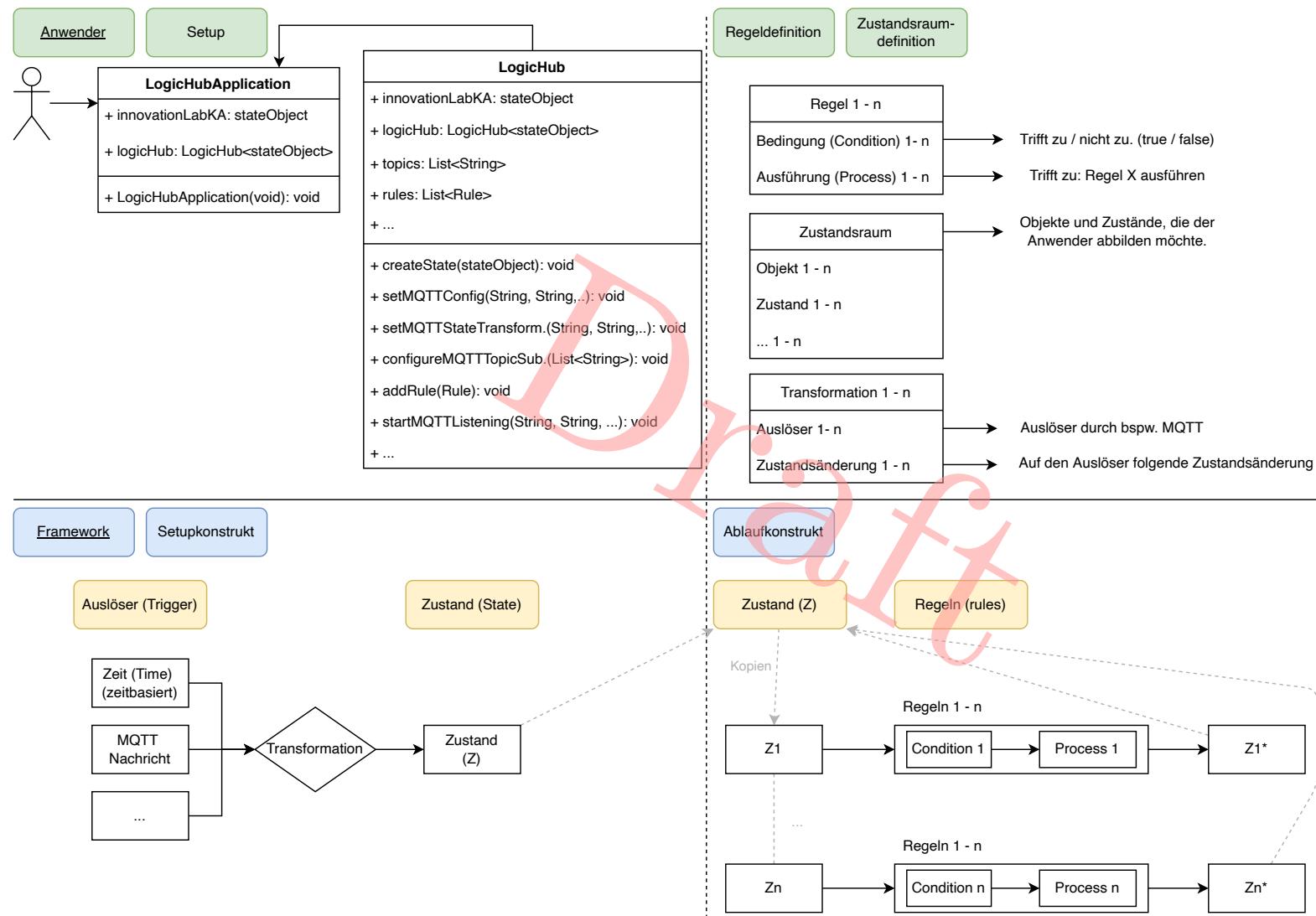


Abbildung 5.2: Grober Programmablauf des Frameworks

Aspekte, die nicht aus dem Ablaufdiagramm hervorgehen, sind zum einen die parallele Ausführung von zwei voneinander unabhängigen Zustandsänderungen und zum anderen die erneute Änderung des Zustandes durch eine Regel selbst. Sofern die Änderungen unabhängig sind, sollen Prozesse auch asynchron ablaufen, bzw. Regeln auch neue Zustandsänderungen hervorrufen können. Die genauere Ausprägung des Konzeptes wird im Rahmen des Architekturkonzeptes (5.4), sowie dem Kapitel der Umsetzung (6) aufgegriffen.

Zur Veranschaulichung der abgeschlossenen textuellen Erläuterung des Konzeptes hilft die nachfolgenden Abbildung:



5.4 Architekturkonzept

Das Framework stellt die Kern-Funktionalität zur Steuerung von implementierten Regeln und Prozessen innerhalb eines Gebäudes, bspw. eines Büroraumes, dar. Mit dem Architekturkonzept wird der grundlegende Aufbau, sowie die Funktionalität des Frameworks erläutert. Potentielle Erweiterungen und Adaptionen werden im Ausblick (9) aufgegriffen.

Das System soll in drei Schichten aufgeteilt werden. Die oberste Schicht stellt die Kommunikationsschicht dar, die mittlere Ebene handelt um die Logik- und Prozessschicht und der unterste Block repräsentiert die Persistenzschicht. Im Rahmen der Arbeit wird die dritte Schicht nicht detailliert beschrieben, da diese zu aktuellem Zeitpunkt keinen Nutzen generiert, bzw. für keine weitere Verarbeitung genutzt wird. Die Ausprägung der Schicht ist dennoch ohne weiteres möglich und wird auch grob skizziert. Der Abbildung (5.3) ist die Aufteilung der Schichtenarchitektur zu entnehmen. In der Darstellung unterscheidet sich die Persistenzschicht von den anderen, um erkenntlich zu machen, dass diese in aktuellem Konzept keine konkrete Implementierung erfährt. Durch die Darstellung in übergreifender Form wird deutlich, das bereits auf dieser Ebene die Trennung der Zuständigkeiten, engl. *separation of concerns*, greift. Durch die gezielte Abstraktion von Komponenten und Informationen kann die Komplexität eines Systems gesteuert werden. Die Kommunikationsschicht ermöglicht die Anbindung von verschiedensten Kommunikationsprotokollen, die dadurch schnell adaptiert werden können. Im Rahmen des Konzeptes wird ausschließlich Gebrauch des MQTT-Protokolls gemacht. Die Logikschicht nimmt alle eingehenden Events, die jeweils eine Zustandsänderung erzwingen, der Kommunikationsschicht entgegen und durchläuft den Prozess des Frameworks, um auf die Zustandsänderung die passende Regel auszuführen. Die Persistenzschicht ist für die Speicherung erzeugter Daten zuständig, bspw. wenn eine Transaktionshistorie von Zustandsänderungen persistiert werden soll. Ebenso können Informationen gespeichert werden, die anderweitig zur Verfügung stünden. Das Vorantreiben der Speicherung von Informationen kann durch den agilen Entwicklungsprozess außerhalb des Thesis-Rahmens erfolgen.

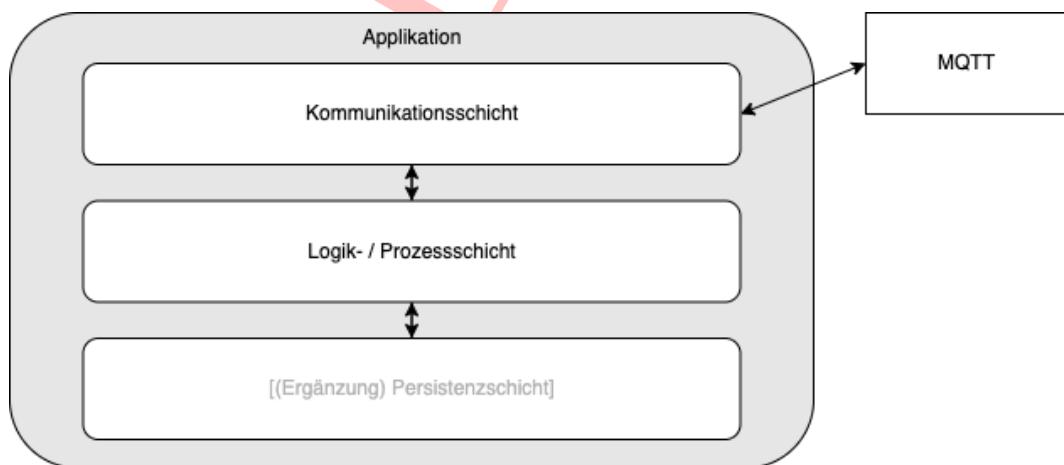


Abbildung 5.3: Schichtenarchitektur

Für die Konzeption von wartbarer und erweiterbarer Software, wird von den *SOLID*-Prinzipien, sowie von nützlichen und für das Framework verwendbaren Programmiermustern Gebrauch gemacht. Diese werden an geeigneter Stelle und auf den Nutzen bezogen erläutert.

Das *SOLID* wurde von Robert C. Martin¹ geprägt und soll zum Design guter objektorientierter Software beitragen. Dadurch soll ein Softwaresystem einer höheren Wartbarkeit unterliegen. Es setzt sich aus fünf Prinzipien zusammen, die wie folgt definiert sind.

- S - Single-Responsibility-Prinzip: „Das Single-Responsibility-Prinzip (SRP; Eine-Verantwortlichkeit-Prinzip; ...) fordert, dass eine Klasse oder ein Modul einen und nur einen *Grund zur Änderung* haben sollte.“ [MARTIN 2009]
 - O - Open-Closed-Prinzip: „Module sollten sowohl offen (für Erweiterungen) als auch verschlossen (für Modifikation) sein.“ [MEYER 1988]
 - L - Liskovsches Substitutionsprinzip: „... Sei $q(x)$ eine beweisbare Eigenschaft von Objekten x des Typs T . Dann soll $q(y)$ für Objekte des Typs S wahr sein, wobei S ein Untertyp von T ist.“ [LISKOV und WING 2001] - Das (Ersetzungs-)Prinzip sagt somit aus, dass eine Subklasse stets die Eigenschaften der Superklasse erfüllt und immer als Objekt der Superklasse anwendbar sein muss. Eine Subklasse darf dadurch erweitert werden, aber keine grundlegende Änderung erfahren.
 - I - Interface-Segregation-Prinzip: „Clients sollen nicht dazu gezwungen werden, von Interfaces abzuhängen, die sie nicht verwenden.“ [MARTIN 1996]
 - D - Dependency-Inversion-Prinzip: „A. Module hoher Ebenen sollten nicht von Modulen niedriger Ebenen abhängen. Beide sollten von Abstraktionen abhängen. B. Abstraktionen sollten nicht von Details abhängen. Details sollten von Abstraktionen abhängen.“ [MARTIN 2003]

Diese Prinzipien werden bei der Konzeption des Frameworks berücksichtigt. Da es sich bei diesem System nicht um eine klassische Webanwendung handelt und keine direkte Kommunikation unter anderem über REST APIs stattfindet, wird ein allgemeines Programmiermuster, wie bspw. das Model View Controller (MVC)² oder das Model View ViewModel (MVVM)³, nicht in Betracht gezogen. Verwendet werden allgemeine Architekturmuster und -prinzipien, die dazu beitragen die Software wartbar zu gestalten, die Komplexität einzelner Funktionen zu reduzieren und die Lesbarkeit und Überschaubarkeit zu erhöhen.

¹Software Engineer, Lehrer und Autor Robert C. Martin. https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_C._Martin
Besucht am 10.07.2022

² Architekturmuster für Webapplikationen. https://de.wikipedia.org/wiki/Model_View_Controller Besucht am 10.07.2022

³Software-Architekturmuster. <https://en.wikipedia.org/wiki/Model\T1\textendashview\T1\textendashviewmodel> Besucht am 10.02.2022

5.4.1 Aufbau des Frameworks

Nach Veranschaulichung der Schichten-Modellierung wird übergreifend der Komponenten Aufbau, sowie die dafür einzusetzenden Architekturmuster aufgegriffen.

Die Konzeptkomponenten (5.3.1) finden sich im umfassenden Architektschaubild (siehe Abbildung 5.4) wieder. Die Regelstruktur soll die Funktion einer Bedingungsprüfung und der darauffolgenden Aktion vorgeben, damit bestimmte Anhaltspunkte geschaffen sind, die das Framework überprüfen und anwenden kann. Um zu gewährleisten, dass dem Anwender diese Methoden bei Implementierung einer spezifischen Regel zur Verfügung stehen, wird mittels dem *Template Method* Pattern [GAMMA u. a. 1995a] ein Leitfaden vorgegeben. Dieses gehört zu den Verhaltensmustern, engl. behavioral patterns. Ziel des Schablonenmethoden-Entwurfsmusters ist die Delegation der konkreten Ausformung einzelner Methoden und Funktionen zu deren Unterklassen. Innerhalb der abstrakten Klasse wird das Skelett des Objektes definiert. Die einzelnen Schritte können so in den darunter liegenden Klassen überschrieben oder ergänzt werden, ohne dass die grundlegende Struktur der übergreifenden Klasse modifiziert werden muss. Die Unterklassen, die konkrete Definition einer Regel, sollen unter Verwendung des *Singleton* Patterns [GAMMA u. a. 1995b] realisiert werden. Das zu den Erzeugungsmustern zugehörige Pattern dient zur Sicherstellung, dass eine Klasse, in dem Fall die einzelne Regel, zur Laufzeit ausschließlich eine einzige Instanz erzeugt und diese global erreichbar ist. Dadurch wird von jeder Regel immer nur ein Objekt erzeugt.

Ähnlich zu dem Aufbau des Regelwerkes, sollen die Komponenten, die reale Gegenstände abbilden, ebenso Gebrauch des Schablonenmethoden-Entwurfsmusters machen. Unterschied zu der Regel-Schablone ist lediglich die Funktion der Sperrung einer Komponenten für weitere Aufgaben. Diese soll bereits in der abstrakten Klasse definiert sein. Konkrete Komponenten-Eigenschaften und Zustandsattribute können von dem Anwender selbst implementiert werden.

Die durch den Anwender implementierte Transformation, die unter anderem basierend auf einem eingehenden MQTT-Topic das Zustandsobjekt verändert, soll das Template Method Pattern verwenden. Dadurch ist die Struktur der Transformation vorgegeben, die bei der Definition eines neuen Transformationsobjektes die zu implementierenden Funktionen bereitstellt. Innerhalb dieser Schablone sollen alle Attribute vorgegeben werden, die für die Transformation notwendig sind und von dem Softwareentwickler implementiert werden sollen.

Damit zukünftig weitere Kommunikationsschnittstellen hinzugefügt werden können, soll für die Transformation zusätzlich das *Adapter* Pattern verwenden werden. Dadurch können Events aus unterschiedlichen Services und über mehrere Kommunikationswege entgegengenommen werden, ohne dass die eigentliche Schnittstelle modifiziert werden muss. Das *Adapter* Pattern gehört zu den Strukturmustern und ist wie folgt definiert: Die Konvertierung einer Schnittstelle einer Klasse in eine andere Schnittstelle, die vom Client erwartet wird. Dadurch ist die Zusammenarbeit von Klassen gewährleistet, die sonst aufgrund der inkompatiblen Schnittstelle nicht zusammenarbeiten könnten. [GAMMA u. a. 1995c]

Das Zustandsobjekt ist aus Anwendersicht als ein einfaches Plain Old Java Object (POJO), ein ganz normales Java Objekt, zu implementieren. Das Framework soll sich um die korrekte Nutzung des Objektes kümmern.

Der übergreifende Aufbau unter Verwendung von Entwurfsmustern ist folgender Abbildung zu entnehmen:

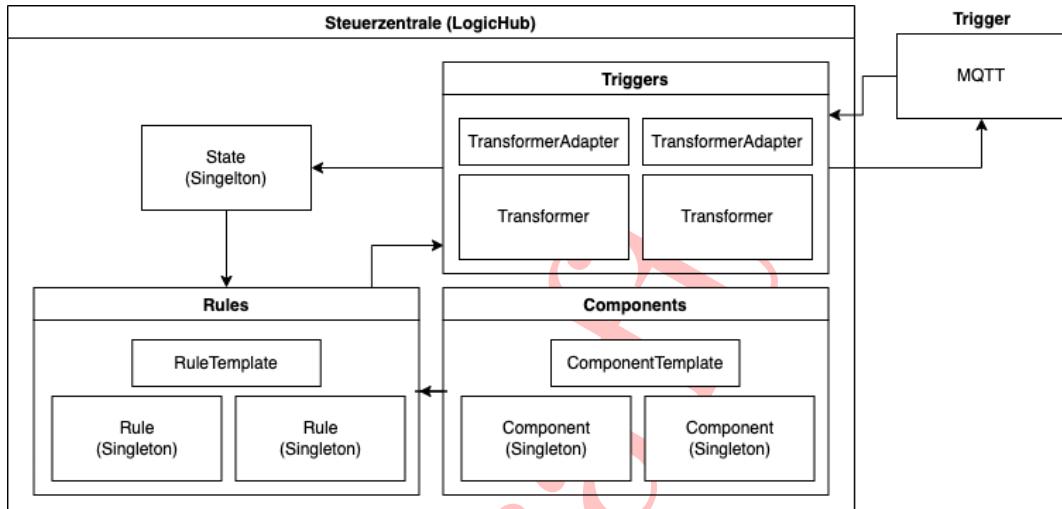


Abbildung 5.4: Architektur mit verwendeten Entwurfsmustern

Der soeben grob skizzierte Aufbau wird in den folgenden Abschnitten konkretisiert.

5.4.2 Kommunikationsschicht

Damit das Framework einer hohen Wartbarkeit und Erweiterbarkeit unterliegt, soll bereits in der Kommunikationsebene mithilfe des genannten *Adapter* Musters eine Abstraktionsebene geschaffen werden. Diese erleichtert das Adaptieren hinzu kommender Kommunikationsschnittstellen. Im Rahmen der Arbeit und unter Verwendung des MQTT-Kommunikationsprotokolls kann die Konzeption der Kommunikationsschicht mithilfe des *Adapter* Patterns dem Klassendiagramm der Abbildung (5.4) entnommen werden. Der Client, in dem Fall der MQTT-Topic-Subscriber, wird mit einem Transformationsadapter versehen. Hierbei werden die Informationen, die über den Subscriber generiert werden, über eine Funktion an das Framework übergeben, sodass dieses mit den Eingangsinformationen arbeiten kann. Wird eine weitere Kommunikationsschnittstelle hinzugefügt, so muss lediglich ein dafür vorgesehener *Adapter* implementiert werden, der alle für das Framework notwendigen Informationen übergibt. So bleibt die interne Arbeitsweise des Frameworks unverändert.

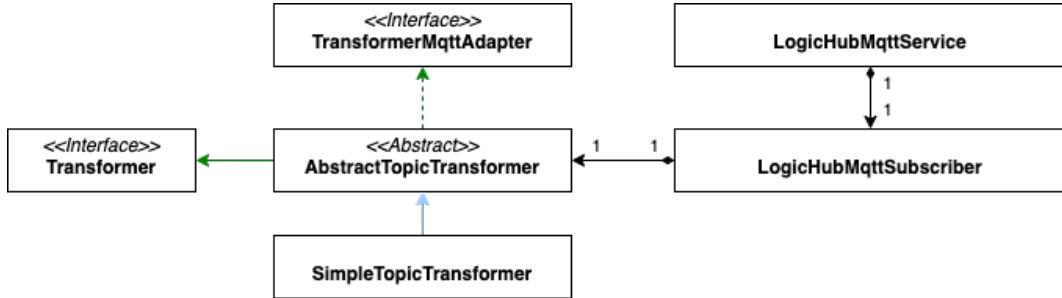


Abbildung 5.5: Klassendiagramm der Kommunikationsschicht

Der interne Ablauf einer Nachrichtenkonsumierung kann dem Sequenzdiagramm in Abbildung (5.6) entnommen werden. Mit der Transformation wird das eingehende MQTT-Topic mit den vom Anwender definierten Topics überprüft. Gibt es dabei eine Übereinstimmung, so wird anhand des Topics die mitgelieferte Nachricht konsumiert und dem jeweiligen Wert im Zustandsraum zugeordnet und dementsprechend verändert. Mit der Zustandsänderung wird die Prozessschicht des Frameworks aufgerufen, die daraufhin die dem Framework bekannten Regeln überprüft und zutreffende startet. Der Durchlauf wird in dem Abschnitt (5.4.3) explizit dargestellt.

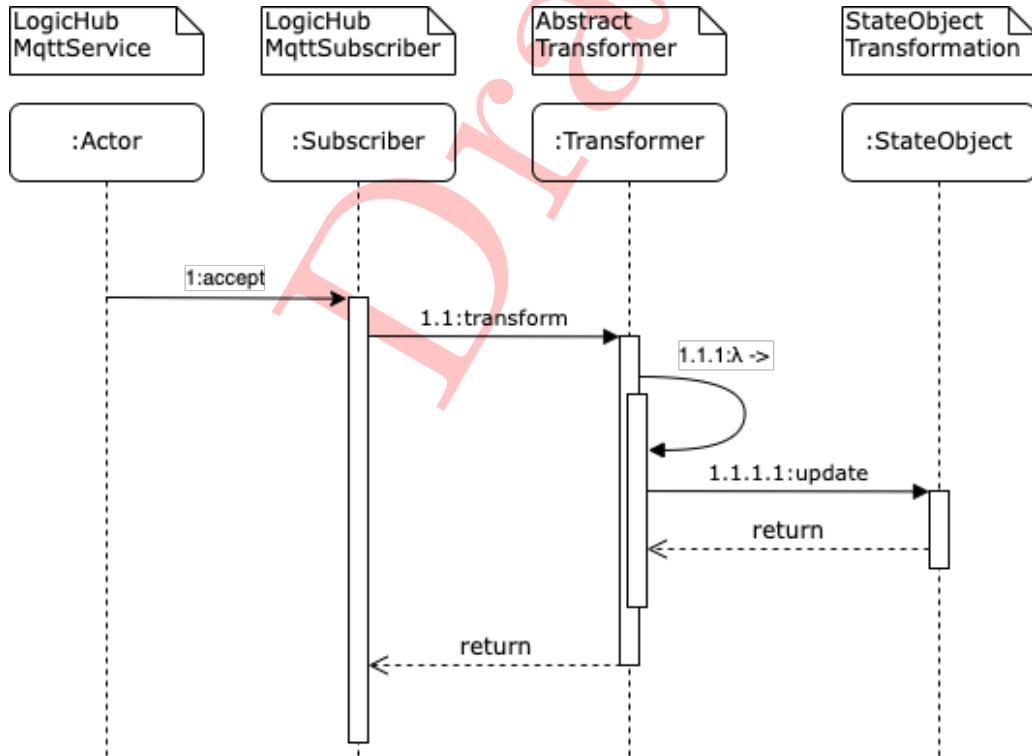


Abbildung 5.6: Sequenzdiagramm zur Kommunikationsschicht

5.4.3 Logik- und Prozessschicht

Die Logik- und Prozessschicht wird aktiv, wenn durch eine bestimmte Kommunikationsschnittstelle, im Rahmen der Arbeit ausschließlich durch MQTT realisiert, ein eingehendes Event, bzw. eine eingehende Nachricht konsumiert und daraufhin das Zustandsobjekt geändert wurde. Die in erster Linie dafür benötigten Objekte sind dem Klassendiagramm (5.7) zu entnehmen. Die an zentraler Stelle stehende Klasse des *LogicHubState* übernimmt die Koordination der Zustandsänderung, sowie das nachträgliche Prüfen der Regelbedingungen, sowie das Ausführen des Regelprozesses.

Darin wird die Kopie des Zustandsobjektes inklusive der Änderung vorgenommen werden, damit in folgenden Prozessen die Repräsentation des Objektes nicht verfälscht wird. Somit wird verhindert, dass eine durch Regeln erzeugte Zustandsänderung das eigentliche Objekt direkt manipuliert. Dies ist eine getroffene Maßnahme, da die Regelprozesse asynchron abgearbeitet werden und so mehrere Zustandsänderungen erfolgen könnten. Zusätzlich ist der Kopiervorgang zu sperren, dass keine Inkonsistenz des Zustandes entsteht. Dieser Vorgang wird in der Umsetzung (siehe Kapitel 6) erläutert.

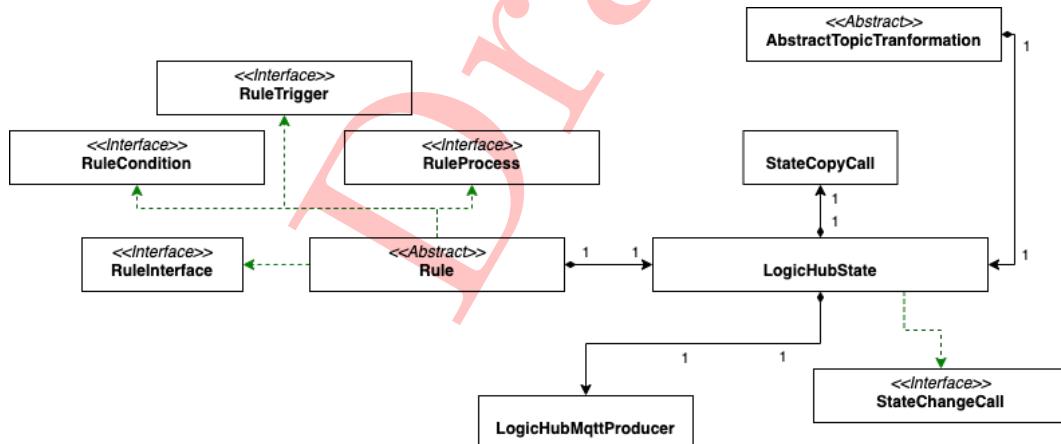


Abbildung 5.7: Klassendiagramm zur Logik- und Prozessschicht

Der initiale Ablauf von der Erstellung einer Kopie, bis hin zur Prüfung der Regelbedingung, sowie das anschließende Durchführen gestaltet sich wie folgt:

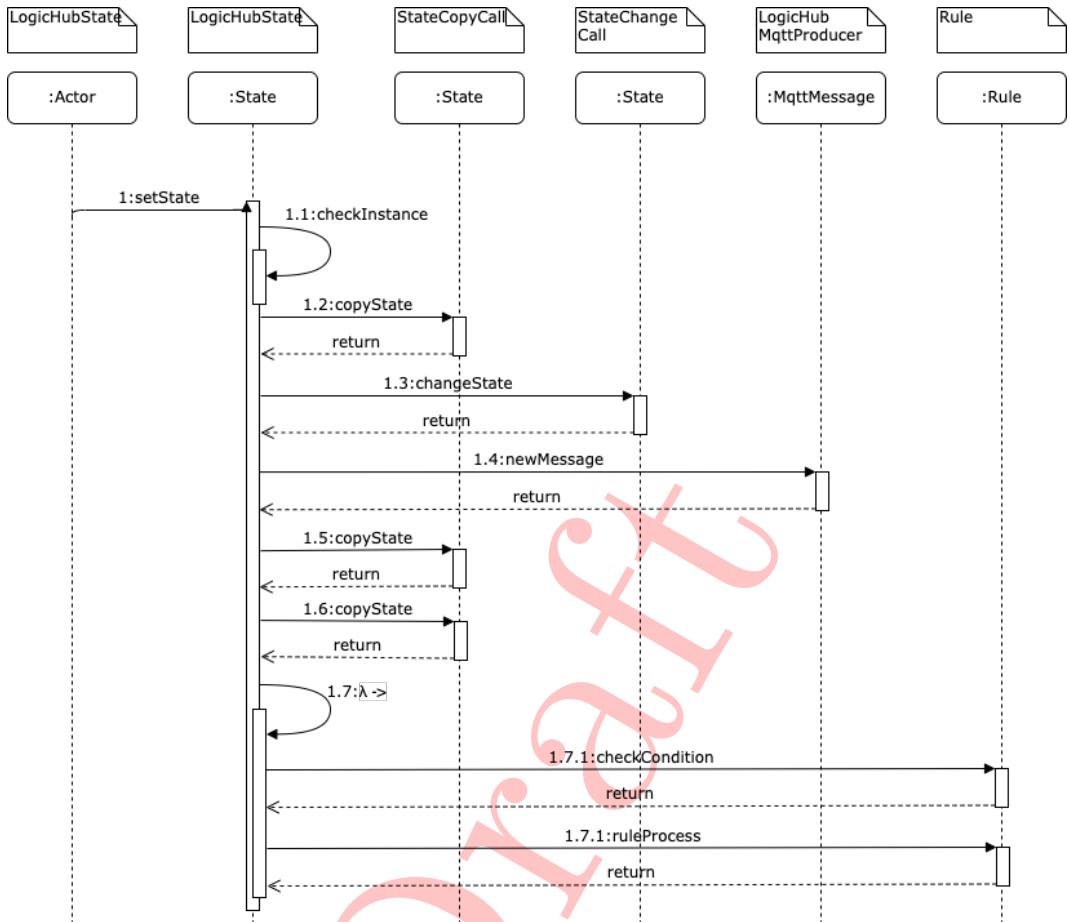


Abbildung 5.8: Sequenzdiagramm zur Logikschicht

Dem Sequenzdiagramm ist ebenso die Transformation zu entnehmen, die erzielt wird, wenn durch eine Regel eine erneute Zustandsänderung stattfindet, die bspw. Befehle über MQTT veröffentlicht, um Komponenten steuern zu können. Auf die konkrete Umsetzung der soeben architektonisch beschriebenen Komponenten wird in folgendem Kapitel (siehe Umsetzung 6) eingegangen.

Die Ausprägung der Persistenzschicht wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter detailliert, da zu aktuellem Zeitpunkt kein Bedarf an der Speicherung von Historien oder Zustandsänderungen besteht. Dennoch wird an dieser Stelle erwähnt, dass die Einbindung einer Datenbank, sowie die Modellierung der Datenobjekte und deren Speicherung ohne weiteres möglich ist und dem keine Grenzen gesetzt sind.

Für die Generierung mehrerer konkurrierender Sichten, wurde unter Verwendung des *4+1 Sichtenmodells* von Philippe Kruchten [KRUCHTEN 1995] bereits bei der Anforderungsanalyse (4) die Szenarien beschrieben. Die im Modell dargestellten Sichten wurden mit Klassen- und Sequenzdiagrammen im Konzept veranschaulicht. Nach Beendigung der Konzeption wird in folgendem Kapitel die Umsetzung des Konzeptes und die Implementierung des Prototypen vertieft.

Kapitel 6

Umsetzung

Im Rahmen einer prototypischen Implementierung wurde das im Konzept (siehe Kapitel 5) geplante System umgesetzt. Gegenstand dieses Kapitels wird es sein, Aspekte der Umsetzung widerzuspiegeln und konkret die Umsetzung eines Anwendungsfalls darzulegen. Zusätzlich wird die Auswahl des dafür genutzten Frameworks aufgegriffen.

6.1 Auswahl des Frameworks

Im Bereich der Java-Entwicklung gibt es mittlerweile viele Möglichkeiten, um Applikationen, Anwendungen und Frameworks zu entwickeln, die unterschiedliche Präferenzen und Einsatzmöglichkeiten bieten. Dadurch sind, auf den Einsatzbereich bezogen, Vor- und Nachteile im Vergleich ähnlicher Systeme nicht auszuschließen. Eine kleine Auswahl an Systemen wurde getestet und auf deren Brauchbarkeit analysiert und evaluiert. Für diese Evaluation wurden Kriterien ausgearbeitet, mit der die Auswahl des Frameworks eingeschränkt und nach Möglichkeit das passende ergeben soll. Die Kriterien sind nach ihrer Relevanz aufgelistet:

1. Freiheiten bei der Nutzung (Anwendung und Gewährleistung von Entwurfsmustern).
2. Nutzung und Bereitstellung von Bibliotheken (Libraries).
3. Bereitstellung einer Plattform (Full Stack).
4. Aktive Community und stetige Weiterentwicklung des Systems.
5. Nutzung des Frameworks in bereits bestehenden Projekten im Bereich Smart Home.
6. Open Source-Projekt, um Flexibilität und weitestgehende Unabhängigkeit zu gewährleisten.
7. Ausschluss von Frameworks, die ausschließlich für die Web-Entwicklung gedacht sind.

Aufgrund der Vielzahl an Frameworks war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, alle vorhandenen und in Betracht gezogenen Systeme detailliert aufzuführen. Lediglich die engere Auswahl wird aufgegriffen. Nach ausführlicher Recherche und unter Berücksichtigung von Frameworks, wie

bspw. Grails, Quarkus, Blade, und Play, wurden schließlich genau zwei Systeme genauer betrachtet, die die vorangestellten Kriterien in Gänze erfüllen. Viele in Erwägung gezogene Frameworks finden überwiegend in der Web-Entwicklung Anwendung, bzw. basieren auf dem Spring Framework. Durch diese Erkenntnis wurden viele Systeme nicht weiter berücksichtigt. Die beiden Kernsysteme, die ihren Einsatz und ihre Möglichkeiten rechtfertigen werden in den folgenden Abschnitten kurz erläutert.

6.1.1 OSGi

Das OSGi Framework der OSGi¹ Alliance, welches in der openHAB Software eingesetzt wird, klassifiziert eine dynamische Softwareplattform, mit der die Modularisierung und Verwaltung von Applikationen und den dazugehörigen Diensten mittels Komponentenmodell realisiert werden kann [FUNKE 2009]. Bekannte Produkte, die auf der OSGi Plattform laufen, sind neben openHAB unter anderem die Entwicklungsumgebung Eclipse der Eclipse Foundation, Produkte und Softwarelösungen von IBM, Oracle, Adobe und weitere.

Nennenswerte Eigenschaften und Vorteile der Software sind die Modularisierung und Versionierung, das zur Laufzeit organisierte Abhängigkeitsmanagement, das Fernmanagement des laufenden Systems über sogenannte Management Agents und die Nutzung des Serviceorientierten Programmiermodells, Service-Oriented Architecture (SOA)². An dieser Stelle wird das Framework nicht technisch vertieft. Die Funktionsweise und die technisch fundierte Erläuterung kann dem Buch [WUETHERICH u. a. 2008], sowie der Dokumentation [WUETHERICH u. a. 2009] eines ausgearbeiteten Workshops entnommen werden. Nachteile der Plattform sind zum einen der weniger breite Einsatz des Frameworks und zum anderen die kleine Community. Ebenso findet eine Weiterentwicklung der Plattform nur mäßig statt. Dies hat zur Folge, dass die Erweiterung, bzw. die Entwicklung des darauf aufbauenden Systems träge vonstatten geht.

6.1.2 Spring

Spring³ ist ein Open-Source-Framework, welches auf der Java-Plattform aufbaut. Das Ziel von Spring selbst ist die Vereinfachung und Förderung von Programmierpraktiken in der Java- und Java EE Entwicklung. Mit einem breiten Spektrum an Funktionalitäten bietet das Framework eine ganzheitliche Lösung zur Entwicklung von Applikationen, Anwendungen und Frameworks. Im Vordergrund dabei steht immer die Entkopplung von Applikationskomponenten. Das Spring Framework wurde im März 2004 offiziell Freigegeben und wird seitdem stetig weiterentwickelt. Initiator des Frameworks ist der Author und Softwareentwickler Rod Johnson. Das Framework, welches in dem Buch des Experten Rod Johnson erläutert wird, basiert auf den folgenden Prinzipien [JOHNSON 2004]:

Dependency Injection ist ein sehr bekanntes Entwurfsmuster. Dabei werden die Abhängigkeiten eines Objektes zur Laufzeit reglementiert. Unter Verwendung des Frameworks werden den Objekten die benötigten Objekte und Ressourcen zugewiesen. Dadurch müssen diese nicht selbst gesucht werden.

¹ Ursprung der OSGi Plattform. <https://www.osgi.org/about/> Abgerufen am 19.06.2022

² Erläuterung des SOA Modells. <https://www.ibm.com/cloud/learn/soa> Abgerufen am 20.06.2022

³ Open-Source-Framework Spring. <https://spring.io> Abgerufen am 02.07.2022

Ein weiterer Punkt ist die aspektorientierte Programmierung, durch die der Entwickler technische Aspekte voneinander isolieren und den eigentlichen Programmcode von Transaktionen oder anderen Faktoren freizuhalten.

Das dritte Prinzip ist das Bereitstellen von Vorlagen zur Vereinfachung der Nutzung von Schnittstellen, sog. APIs. Dadurch wird ein POJO-basiertes Modell möglich. Unter POJO, *Plain Old Java Object*, ist ein ganz normales Objekt in Java zu verstehen.

Zusammenfassend sind beide Frameworks dazu geeignet, um das Konzept der Steuerzentrale unterstützend zu realisieren. Ein direkter Vergleich zwischen den Frameworks kann nicht gezogen werden, da die Funktionalitäten, bzw. die aus der Nutzung profitablen Eigenschaften nicht vergleichbar sind. Während sich Spring auf die Unterstützung zur Erstellung von Applikationen konzentriert, legt OSGi den Mehrwert auf die Modularisierung durch Kontainerisierung. Durchaus ist eine Kombination aus beiden Frameworks möglich, um Vorteile beider zu vereinen. Fundamental bietet Spring jedoch weitaus mehr Möglichkeiten und Unterstützungen zur Entwicklung von Applikationen und Frameworks, weshalb es im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt wird. Mit Spring Boot, welches auf Spring aufbaut können auch Model View Controller Web-Architekturen und REST APIs implementiert werden. So kann mit dieser Entscheidung ein Volumfähiges System erstellt werden. Unter zusätzlicher Verwendung von OSGi wäre eine weiter Modularisierung und Kontainerisierung möglich. Dies ist auch durch Spring mit Hilfe von Microservices in einer anderen Form realisierbar. An der Stelle wird im Rahmen dieser Arbeit das Thema von Microservices und Kontainerisierung nicht weiter konkretisiert.

Die Entscheidung viel auf Spring, da dieses ein modernes und etabliertes Framework darstellt und die Community erheblich größer ist, als die des OSGi Frameworks. Hinzukommt, die Schaffung eines alternativen Ansatzes zu openHAB, da dieses System bereits auf OSGi aufbaut. Dennoch unterscheidet sich die Steuerzentrale in den Funktionalitäten und Angeboten immens im Vergleich zu openHAB. Das System bietet weitaus mehr Funktionalitäten, Erweiterungen und Ausprägungen. Lediglich kann zum Vergleich die Definition von Regeln herangezogen werden.

6.2 Implementierung

Hierbei wird konkret die Implementierung des Frameworks aufgegriffen und beschrieben, wie Konzeptentscheidungen im Code umgesetzt wurden. Auch werden wichtige Anhaltspunkte ergänzt, die in der Tiefe nicht aus dem Konzept hervorgehen, da sich dort lediglich auf die Idee und die allgemein gehaltene Vorstellung bezogen wurde.

6.2.1 Generische Programmierung

Eine entscheidende Überlegung der Umsetzung in Richtung des Zustandsraumes ist die Verwendung der generischen Programmierung. Mit dem Hintergrund, dass der Entwickler die volle Entscheidungsmacht über die Implementierung der Regeln, des Zustandsraumes und den dafür notwendigen

Bedingungen beibehält, ist die Überlegung notwendig, wie mit einem Objekt gearbeitet werden kann, ohne dass es vor der Systemlaufzeit bekannt ist.

Hierfür wird auf das Konzept der generischen Programmierung, sog. *Generics*, gesetzt. Ein Synonym des Begriffs ist der *parametrisierte Typ*. Mit der Nutzung von Generics ist ein syntaktisches Mittel gegeben, mit dem Klassen und Methoden mit Typen parametrisiert werden können. Diese Typ-Variablen sind zum Zeitpunkt der Implementierung unbekannt und können beliebig definiert werden. Erst zur Laufzeit des Systems wird die Typ-Variablen durch ein Objekt ersetzt. Somit ist zur Laufzeit das Objekt, dessen Struktur, Methoden und Funktionen bekannt. Bei der Verwendung von generischen Typen gibt es Varianzfälle, die unterschiedliche Auswirkungen aufzeigen. Der für das Konzept relevante Fall ist der des einfachen Typ-Parameters. Weitere Varianzfälle werden in dieser Ausarbeitung nicht erläutert.

Ein konkretes Anwendungsbeispiel, wie es auch im Rahmen dieser Arbeit verwendet wird, sieht wie folgt aus:

Das Framework arbeitet mit dem generischen Typ *E*. Der Anwender soll nach der Implementierung der Klasse des Zustandsraumes das jeweilige Objekt dem Framework übergeben. So ist zur Laufzeit das konkrete Objekt bekannt. Zur Veranschaulichung dient folgendes Code-Beispiel:

```
1 public class LogicHub<E> {
2     private E state;
3     ...
4     public E getState() {
5         return this.state();
6     }
7 }
```



```
9 public class Application {
10     private final LogicHub<InnovationLab> logicHub;
```



```
12     public static void main(String[] args) {
13         logicHub = LogicHub.getInstance();
14         logicHub.getState(); // -> returns the state object
15                                     // and its values.
16     }
17 }
```

Code-Beispiel 6.1: Zustandsobjekt als Typ-Variablen

Mit den Java Generics ist eine leistungsstarke Ergänzung der Java-Sprache gegeben, da es die Arbeit des Programmierers einfacher und weniger Fehleranfällig macht. Zusätzlich wird durch die Generics die Typkorrektheit zur Kompilierzeit erzwungen und ermöglicht die Implementierung generischer Algorithmen, ohne für Anwendungen einen zusätzlichen Overhead zu verursachen.

Mit der Option des generischen Typs kann das Framework universell definiert und der Zustandsraum vom Anwender individuell implementiert werden.

Durch die Verwendung der Java Generics wird der konzeptionelle Schnitt zwischen Framework und Anwender-Interaktionen im Quellcode deutlicher.

6.2.2 Zustandsraum

Der vom Anwender zu definierende Zustandsraum stellt ein einfaches Java Objekt (*POJO*) dar, das in einer eigenen Klasse definiert wird. Die darin enthaltenen Felder und Attribute sollen reelle Gegenstände und deren Werte abbilden. Dies erfolgt durch Klassenvariablen, die einem primitiven und überwiegend einem nicht primitiven Datentypen entsprechen, bspw. könnte eine LED-Leuchte als *boolean* mit den Werten *true* und *false* oder als *char* mit jeweils "y" und n" oder mit dem nicht primitiven Typen *String* mit den Zeichenketten "on" und "öff" definiert werden. Diese Entscheidung kann alleinig der Entwickler treffen.

Die im Zustandsraum erstellten Felder werden direkt an eine Transformation (siehe Abschnitt 6.2.4) gebunden. So kann sichergestellt werden, dass das Attribut im Zustandsobjekt immer den Wert erhält, der über die Transformation registriert, bzw. empfangen wird. Dadurch kann auch die Dopplung von Felder vermieden werden, dies bedeutet, dass ein Feld nicht für mehrere reelle Gegenstände stehen kann. Hierfür ist für jedes Gerät mindestens ein eigenes Feld zu definieren. Durch die Verwendung von einfachen primitiven und nicht primitiven Datentypen innerhalb des Zustandsobjektes kann eine Rückkopplung von Objekten vermieden werden.

Der Aufbau des *POJOs* entspricht einer einfachen Klasse, die neben einem Konstruktor alle Felder und Attribute besitzt, die Zustände reeller Geräte abbilden sollen. Damit der Anwender in seinen definierten Regeln die Werte setzen und abfragen kann, gibt es zu jedem Attribut eine *Getter*- und *Setter*-Methode. Es ist wichtig anzumerken, dass das Zustandsobjekt mit dem *Singleton*-Pattern markiert und der Konstruktor dementsprechend initialisiert werden muss. Dadurch wird die Integrität des Objektes, sowie die dadurch vermeidbare Redundanz gewährleistet. Anhand der Verwendung der *Lombok*-Bibliothek⁴ kann mittels der *@Data*-Annotation sämtlicher (*boilerplate*) Quellcode reduziert werden. Zu Überprüfungszwecken wird mittels der Annotation das Objekt mit den einzelnen Feldern und Werten ausgegeben, wodurch das Objekt für den Entwickler lesbar wird. Dieses Konstrukt kann in der Form als Datenobjekt, bzw. als Datenmodell abgespeichert werden, um eine Transaktionshistorie der Zustandsänderungen zu erstellen.

Durch die Verwendung von Reflection (siehe Abschnitt 6.2.3) ist die Initialisierung des Zustandsraumes auf bestimmte Typendefinitionen beschränkt. Auf dieser Grundlage ist eine Verwendung von Objekten im Zustandsraum möglich, davon wird dennoch zu aktuellem Zeitpunkt abgeraten.

In der Modellierung des Zustandsraumes gibt es in dem aktuellen konzeptionellen Stand Designvorgaben. Diese werden im Abschnitt der Modellierungsvorgaben (siehe 6.3.1) aufgegriffen.

Diese Entscheidung wurde getroffen, da in der Mehrheit der Anwendungsfälle die Zustände über primitive Typen abgebildet werden können. Ein Designnachteil ist dabei, dass für ein Gerät ggf. mehrere Attribute im Zustandsraum angelegt werden müssen und dadurch das Zustandsobjekt deutlich umfangreicher wird. Eine bessere Übersicht wäre gegeben, wenn die Felder in ein eigenes Objekt,

⁴Project Lombok. <https://projectlombok.org/features/Data> Besucht am 31.07.2022

bzw. eine eigene Klasse ausgelagert werden könnten. Der optische Nachteil ist dabei vertretbar. In weiteren Iterationen des Agilen Projektes könnte eine weitere Alternative konzipiert werden, die Objekte im Zustandsraum zulässt. Im Rahmen dieser Arbeit war dies jedoch nicht vorgesehen. Eine Aggregation von Objekte, bzw. deren Serialisierung ist nicht beabsichtigt, da die Transformation jeweils ein Attribut, bzw. Element bedient und somit eine eins-zu-eins-Beziehung zwischen dem Feld und dem MQTT-Topic besteht.

6.2.3 Reflection

Mit der Reflection⁵ (Reflexion, Spiegelung) ist eine Funktion der Programmiersprache Java gegeben, die es ermöglicht, Laufzeitattribute von Klassen, Schnittstellen, Feldern und Methoden zu überprüfen und zu ändern. Diese Funktion erweist sich als besonders praktisch, wenn die Namen der Attribute zur Kompilierzeit nicht bekannt sind. Darüber hinaus können neue Objekte instanziert, Methoden aufgerufen und Feldwerte mithilfe von Reflexion abgerufen oder festgelegt werden.

Eingesetzt wird die Reflexion in der Transformation, die der Entwickler definiert, um aus eingehenden Events und Nachrichten Zustandsänderungen zu erzeugen. Konkret wird in der Transformation der Name des Feldes mitgegeben, der vom Entwickler bei der Definition des Zustandsobjektes vergeben wurde. Somit kann immer auf das Feld und dessen Wert zurückgegriffen werden und bei Bedarf durch eine eingehende Nachricht, bzw. durch eine Zustandsänderung innerhalb einer Regel überprüft und geändert werden. Die Struktur der Transformation wird in folgendem Abschnitt greifbar aufgezeigt.

6.2.4 Transformation

Die Transformation stellt die Schnittstelle zwischen den externen Auslösern, bspw. MQTT, und der Kommunikationsschicht dar. Die über das Kommunikationsprotokoll gelieferten Daten werden der *transform*-Methode übergeben, sodass die eigentliche Transformation stattfinden kann.

Im Rahmen der Arbeit wurden zwei Lösungswege erarbeitet, die jeweils dem Entwickler ermöglichen, eine Transformation zu definieren. Diese werden beide erläutert und anschließend gegenübergestellt. Das dabei verfolgte Ziel, ist dem Anwender einen möglichst komfortablen Weg zu bieten, eine Transformation zu implementieren, sodass die Aufwände für denjenigen gering bleiben.

Transformationsobjekt mittels Switch-Case-Anweisung

Die erste Option ist die Nutzung einer Switch-Case-Anweisung. Hierbei wird die *transform*-Methode bis zum Anwender durchgereicht. An dieser Stelle wird klar definiert, welches MQTT-Topic eine bestimmte Zustandsänderung auslöst. Innerhalb eines Falles (Case) wird über eine *Lambda*⁶-Funktion der jeweilige Wert im Zustandsobjekt geändert. Mit dem direkten Aufruf der Methode zur Zustandsänderung wird mit dem neuen Wert die Regelüberprüfung und -ausführung ausgelöst. Das konkrete

⁵ Java Reflection. <https://www.oracle.com/technical-resources/articles/java/javareflection.html>
Besucht am 27.07.2022

⁶ Java Lambda-Funktion. <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/javaOO/lambdaexpressions.html>
Besucht am 28.07.2022

Vorgehen ist dem folgenden Sequenzdiagramm, sowie dem Ausschnitt des Quellcode (siehe 6.2) zu entnehmen:

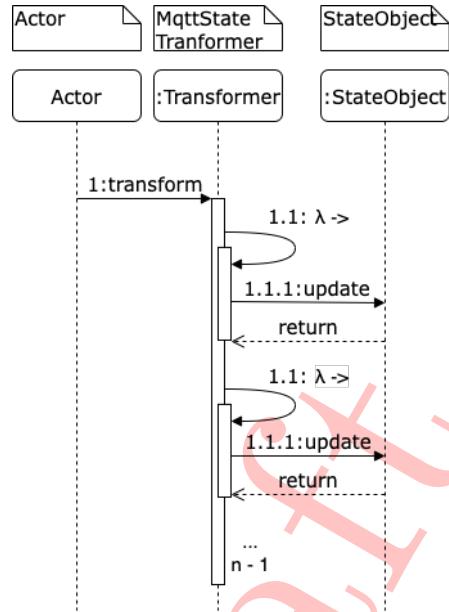


Abbildung 6.1: Transformation über Switch-Case-Anweisung

```

1 public class MqttTransformer extends AbstractTransformer<InnovationLabKA> {
2     private final LogicHubState<InnovationLabKA> logicHubState;
3
4     public void transform(String topic, String payload) {
5         switch (topic) {
6             case "InnovationLab/LogicHub/PersonOnDoor":
7                 logicHubState.setState((innovationLab) -> {
8                     innovationLab.setPersonOnDoor(payload);
9                     innovationLab.update();
10                });
11                break;
12            case "InnovationLab/LogicHub/SR/GoTo":
13                logicHubState.setState((innovationLab) -> {
14                    innovationLab.setSRGoTo(payload);
15                    innovationLab.update();
16                });
17                break;
18        }
19    }
20 }
  
```

Code-Beispiel 6.2: Transformeation über eine Switch-Case-Anweisung

Dieser Ansatz gibt eine Übersicht des Topics und der dafür vorgesehenen Zustandsänderung. Nachteile dabei sind jedoch, dass die Anweisungen zunehmen, je mehr Regeln und dafür vorgesehenen Zustandsänderungen hinzugefügt werden und die einmalige Verwendung der MQTT-Topic-Zeichenkette. Dafür muss der Anwender, um innerhalb einer Regel eine weitere Zustandsänderung vornehmen zu können, das Topic erneut aufgreifen und in Kenntnis des jeweiligen sein. Mit dem Topic würde dann über den MQTT-Producer eine Nachricht veröffentlicht werden, die die Aktion der Regeländerung steuert.

Diese umständliche Art und Weise galt es dem Anwender zu erleichtern, deshalb wurde ein zweiter Lösungsweg erarbeitet, der in folgendem Abschnitt aufgezeigt wird.

Transformationsobjekt mittels eigenem Objekt

In Opposition zu der Verwendung einer Switch-Case-Anweisung wird bei diesem Ansatz eine Klasse implementiert, mit der je nach Bedarf weitere Objekte mit unterschiedlichen Werten erzeugt werden kann. Dabei werden in dem Konstrukt der Klasse die jeweiligen Parameter definiert. Das zu erzeugende Objekt wird zur Laufzeit dem Framework übergeben und in einer Liste gespeichert, sodass das System damit arbeiten kann. Die Parameter, die der Entwickler bestimmt, haben folgende Funktion:

- 1. Parameter: Hier wird das Topic übergeben. Der MQTT-Subscriber prüft, ob das konsumierte Topic einem in der Liste definierten Topics entspricht.
- 2. Parameter: Hier wird der Key definiert. Das über das Topic mitgelieferte JSON-Konstrukt wird auf diesen key überprüft. Dessen Wert für den Zustandsraum relevant. Hierüber wird der Zustand des Objektes transportiert.
- 3. Parameter: Hier wird optional eine Liste übergeben, die nur bestimmte Werte für den Key zulässt, eine sogenannte *White-List*.
- 4. Parameter: Hier wird der Name des Feldes im Zustandsraum wiedergegeben, sodass mittels Reflection der Wert im Zustandsraum adressiert werden kann.
- 5. Parameter: Hier wird der Name des Feldes der Komponente im Zustandsraum wiedergegeben, sodass mittels Reflection der Wert der Komponente im Zustandsraum adressiert werden kann.

Diese Werte bilden die Transformation, die ebenso für die inverse Transformation (siehe Abschnitt 6.2.5) gilt. Der Ablauf kann dem folgenden Sequenzdiagramm entnommen werden:

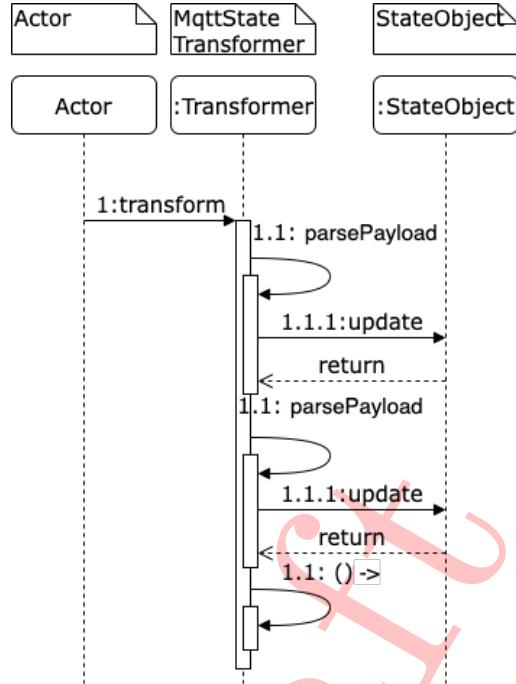


Abbildung 6.2: Transformation über eigenes Objekt

Um das Objekt zu erzeugen, muss der Entwickler lediglich das folgende Code-Beispiel verwenden und auf die entsprechenden Werte anpassen:

```

1 public class InnovationLogicHubApplication {
2     public InnovationLogicHubApplication() {
3         ...
4         logicHub.addTransformation(
5             new SimpleTopicTransformation(
6                 "InnovationLab/LogicHub/PersonOnDoor",
7                 "email",
8                 "personOnDoorEmail"
9             )
10        );
11    }
12 }

```

Code-Beispiel 6.3: Transformation über ein eigenes Objekt

Für die jeweiligen Konfigurationsmöglichkeiten der Transformation gibt es drei Konstrukte, die jeweils benutzt werden können. Neben der im Code-Beispiel (6.3) aufgeführten Struktur gibt es die mit dem zusätzlichen Parameter der *White-List* und die dritte Möglichkeit, die zusätzlich den Namen eines Feldes innerhalb der Komponente wiedergibt. So können Objekte theoretisch in den Zustandsraum aufgenommen werden, wovon allerdings zu aktuellem Zeitpunkt abgeraten wird. Die Begründung zu dieser Modellierung wird in dem Abschnitt (6.3.1) aufgegriffen.

Der interne Ablauf des Frameworks unterscheidet sich bei beiden Transformationsmethoden in Nuancen, wie den beiden Sequenzdiagrammen (6.1 und 6.2) zu entnehmen ist. Jedoch wird bei dem zweiten Ansatz das Zustandsobjekt mittels Reflection manipuliert und anschließend als Änderung registriert und ausgeführt, während bei der ersten Methode die Änderung direkt über die Lambda-Funktion gesteuert und ausgelöst wird. Dies hat für den Anwender keinerlei Auswirkung auf die Funktionsweise des Frameworks, bei der Entscheidung war hingegen relevant, welcher Ansatz für den Entwickler den besseren darstellt. An dieser Stelle bringt der zweite Ansatz Potentiale mit, die dem Entwickler die Handhabung der Interaktionen formalisieren und erleichtern und zudem übersichtlicher gestalten.

Für die Vorteile, die der zweite Ansatz dem Entwickler gegenüber liefert, wurde dieser in dem Framework angewendet.

Die Funktionsweise der Transformation ist demnach wie folgt umgesetzt:

Die vorab definierten Transformationen des Entwicklers werden in einer Liste gespeichert, damit das darin enthaltene Topic mit dem vom MQTT-Subscriber eingehenden verglichen werden kann. Dafür wird über die Liste iteriert und jede Transformation, sowie deren zugewiesenes Topic geprüft. Sofern es eine Übereinstimmung gibt, wird der Key-Wert ermittelt und als Nutzlast (*Payload*) übergeben. An dieser Stelle wird der *ReentrantLock* aktiviert und die Feldmanipulation für den Wert durchgeführt, der mittels Nutzlast mitgegeben wurde. Nachdem die Zustandsänderung erfolgte, wird der *Lock* deaktiviert und die Zustandsänderung an die Logikschicht weitergegeben. Somit ist die Transformation für ein eingehendes MQTT-Topic abgeschlossen. Der Ablauf kann dem Sequenzdiagramm (siehe Abbildung 5.6) entnommen werden.

Die Funktion der inversen Transformation wird in folgendem Abschnitt erläutert.

6.2.5 Inverse Transformation

Damit der Anwender des Frameworks bei der Regeldefinition einen geringen Aufwand erfährt und dennoch dadurch eine weitere Zustandsänderung hervorrufen kann, findet an dieser Stelle eine inverse Transformation stattfinden. Dadurch wird anhand der Zustandsänderung, die der Entwickler durch eine Funktion in der jeweiligen Regel vorgibt, die zugehörige Aktion mittels MQTT-Nachricht veröffentlicht. In Folge dessen muss der Entwickler bei der Implementierung einer Regel keine Kenntnis über das MQTT-Topic haben, lediglich muss das richtige Attribut im Zustandsraum angesprochen und geändert werden. Ein konkretes Beispiel:

Wird ein Lichtschalter eingeschaltet, so wird ein MQTT-Topic konsumiert, dass den Zustandsraum ändert, indem der Schalter betätigt wurde. Daraufhin wird eine Regel ausgeführt, deren Regelaktion die LED-Leuchte aktiviert. Dementsprechend definiert der Entwickler eine Funktion, die den Wert des Lichtzustandes im Zustandsobjekt verändert. Mit der Veränderung wird überprüft, um welches Attribut es sich im Zustandsraum handelt und wie sich der Wert geändert hat. Wenn diese Überprüfung zutrifft, wird im Rahmen der inversen Transformation ein JSON-Konstrukt generiert, welches mit dem in der Transformation definierten Topic als MQTT-Nutzlast an den MQTT-Broker publiziert wird. Dabei handelt es sich konkret um das Topic, auf das der MQTT-Client der LED-Leuchte reagiert. Daraufhin wird die LED-Leuchte angeschaltet.

Zusammengefasst wird mit der inversen Transformation vermieden, dass der Entwickler sich bei der Regelimplementierung neben der zu definierenden Zustandsänderung zusätzlich um das veröffentlichen der jeweiligen Nachricht und das Verpacken in eine übertragbare *JSON*-Struktur kümmern muss. Des weiteren ist die Kenntnis über das Topics, unter dem die Nachricht gesendet wird, ausschließlich in der Transformation von Nöten und muss nicht an mehreren Stellen konkret aufgeschrieben werden. Dafür kann zu jeder Zeit die Liste der Transformationen genutzt werden, um das erforderliche Topic zu erhalten.

Zu aktuellem Zeitpunkt wird bei der inversen Transformation ein einfaches *JSON*-Konstrukt erzeugt. Dafür wird der *Key*-Wert der Transformation und die Nachricht als Nutzlast verwendet. Zur Veröffentlichung der Nachricht unter einem MQTT-Topic, wird derzeit ausschließlich der *Zigbee2MQTT*-Standard⁷ eingehalten. Dabei wird die Topic-Zeichenkette, die über das Transformationsobjekt abgerufen werden kann, um den Anhang (*/set*) ergänzt. Hierfür wird vorab das *JSON*-Konstrukt generiert und mit den jeweiligen Werten belegt. Diese Struktur wird als Nutzlast mittels dem Topic und dessen Anhang herausgegeben. Soll im Rahmen der Veröffentlichung einer Nachricht kein *JSON*-Konstrukt sondern ein einzelner Wert publiziert werden, so kann dies erfolgen, indem das Topic um den zugehörigen *Key*-Wert der Transformation (*/set/[Key-Wert]*) ergänzt wird. Ein Beispiel dazu:

Eine LED-Leuchte wird mit einer Transformation mit den Werten *mqtt/topic/test*", "key-state" und dem Attribut *led-leuchte*" definiert. Soll in dem Zuge die Nutzlast nur den Wert "on" enthalten, so wird kein *JSON*-Konstrukt erzeugt sondern lediglich die Nachricht über das modifizierte Topic (*mqtt/topic/test/set/key-state*) veröffentlicht.

Resümierend gibt es im Kontext des *Zigbee2MQTT* zwei Wege, um mit Geräten, die das ZigBee-Protokoll unterstützen, zu kommunizieren. Diese sind beide über das Framework, somit auch über die inverse Transformation abgedeckt.

6.2.6 Regeldefinition

Damit die Vorgaben für eine valide Regeldefinition eingehalten werden, wird dem Anwender mittels *Template Methode*-Pattern eine Schablone vorgegeben, die alle notwendigen Methoden vorgibt, die der Entwickler implementiert sollte. Zusätzlich gibt es eine Annotation, die *RuleAnnotation*, die eine Regel als solche kenntlich macht und die Implementierung der Methoden forciert. Die beiden wichtigsten Funktionen innerhalb der Klasse, die durch die abstrakte Definition zum Softwareentwickler durchgereicht werden, ist zum einen die *checkCondition*-Funktion und zum anderen die *ruleProcess*-Funktion. Innerhalb der erstgenannten Methode gibt der Anwender einen Sachverhalt vor, der zutreffen muss, sodass anschließend diese Regel ausgeführt werden kann. Die Bedingung ist abhängig von dem Feld des Zustandsraumes und der Absicht für die der Regelprozess gestartet werden soll. Sofern die Bedingung zutrifft, wird ein boolescher Werte (*true*) zurückgeliefert, der die Regel ausführen lässt. Die ebenso wichtige Funktion des Regelprozesses beinhaltet die Schritte der

⁷Nutzung von Zigbee2MQTT. https://www.zigbee2mqtt.io/guide/usage/mqtt_topics_and_messages.html
Besucht am 30.07.2022

Regelausführung als klassische Methode, die keinen konkreten Wert zurückgibt, sondern lediglich die darin enthaltenen Punkte abarbeitet. An dieser Stelle können wiederum weitere Zustandsänderungen implementiert werden. Dies ist abhängig von dem Inhalt der Regel und liegt ebenso in der Macht des Entwicklers.

Neben den beiden Hauptfunktionen, gibt es eine weitere Funktion, die den Auslöser der Regel definiert. Dieser dient dazu, um Regeln ggf. nur auslösen zu können, sofern ein bestimmter Auslöser dafür aktiviert wurde. Zusätzlich gibt es weitere Funktionen, die reine Informationswerte halten, darunter den Regelnamen und die -beschreibung. Darüber hinaus hat der Entwickler keinerlei Einschränkungen, das Regelobjekt ergänzend zu gestalten.

6.2.7 Parallelisierung

Bereits im Konzept wurde der Terminus der Parallelisierung und der Asynchronität aufgegriffen. Für das Auslösen einer Regel, wird der gesamte Prozess der Bedingungsprüfung und der anschließenden Ausführung in einen *Thread* ausgelagert, der durch einen *ThreadPoolExecutor*⁸ im java Code angestoßen wird. Durch das Auslagern des konkreten Prozesses in einen eigenen *Thread* können mehrere Regeln gleichzeitig ausgeführt werden, sofern die Bedingungsprüfung zutrifft und die Regel ausgeführt wird. In folge der Entscheidung, dass nach jeder Zustandsänderung immer alle Regeln durchlaufen werden, wäre eine sequenzielle Ausführung der Regeln sehr ineffektiv und langsam. Dadurch würde sich das Durchführen von Regeln verzögern, bspw. wenn ein Licht eingeschaltet werden würde, davor allerdings noch zwei Regeln abgearbeitet werden müssten, die jeweils eine Minute beanspruchen, würde sich das Licht erst nach zwei Minuten einschalten. Durch die Auslagerung des Regelmanagements in jeweils eigene *Threads* entfällt die sequenzielle Abarbeitung, da diese asynchron durchgeführt wird. Durch die Parallelisierung der Regelprozesse können gleichzeitig weitere Zustandsänderungen entstehen, die anschließend wieder zusammengeführt werden und darauf gegebenenfalls weitere Regeln ausgeführt werden. An der Stelle der Zustandsänderung selbst greift der Lock-Mechanismus, der durch einen *ReentrantLock*⁹ realisiert ist. Dadurch wird sichergestellt, dass der Zustandsraum, der die aktuell geltenden Zustände wiedergibt, immer nur einen Änderungsvorgang durchführt.

6.2.8 Regelwerk -und management

Anknüpfend an die abgeschlossene Transformation wird nach der Zustandsänderung der Teil ausgeführt, der basierend auf der Zustandsänderungen alle bekannten Regel überprüft und die zutreffenden ausführt. Grundlegend gilt hier, wenn eine Zustandsänderung keiner konkreten Regel zugeordnet werden kann, fehlt entweder die dazugehörige Regel oder es liegt in der Absicht des Entwicklers, darauf keine Regel auszuführen. Wenn eine Zustandsänderung mehrfach hintereinander erfolgt, wird diese, sofern keine weitere Bedingung darauf zutrifft, ohne Auswirkungen übertragen und keine Regel ausgeführt. Damit jedoch voneinander unabhängige Regel parallel ausgeführt werden können,

⁸ Spezifikation des Thread-Pools. <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/concurrent/ThreadPoolExecutor.html> Besucht am 27.07.2022

⁹ Spezifikation des Locks. <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/concurrent/locks/ReentrantLock.html> Besucht am 27.07.2022

wird der Prozess der Regelüberprüfung und -durchführung in einen *Thread* ausgelagert, wie bereits im Abschnitt der Parallelisierung (siehe 6.2.7) beschrieben. Der Ablauf kann dem Sequenzdiagramm (siehe Abbildung 5.8) ab dem Schritt 1.5:*copyState* entnommen werden.

Nach Implementierung der Funktionen des Frameworks ging es um die Umsetzung der Use Cases, um die Funktionalität des Systems zu testen und Anhaltspunkte für die Evaluation (siehe Kapitel 7) zu schaffen. Der folgende Abschnitt behandelt die praktische Umsetzung zweier Anwendungsfälle.

6.2.9 Implementierung von Anwendungsfällen

Zur Überprüfung des Frameworks wurden im Rahmen der Arbeit drei Anwendungsfälle implementiert, um anhand dessen die Funktionsweise darzustellen. Zum einen wurde ein trivialer Fall, die Steuerung einer LED-Leuchte, umgesetzt, um einen greifbaren Vergleich zwischen der Regeldefinition in Home Assistant, openHAB und der Steuerzentrale (LogicHub) zu ziehen. Zum anderen wurden die beiden Anwendungsfälle, die im Rahmen der Anforderungsanalyse (siehe Kapitel 4) als Anwendungsfälle (4.3) definiert wurden, um

in den vorab erläuterten , mit der die Funktionsweise des Systems als auch die in dem Konzept getätigten Überlegungen

6.3 Fazit der prototypischen Implementierung

6.3.1 Modellierungsvorgaben und -grenzen

Draft

Kapitel 7

Evaluation

In diesem Abschnitt wird das erzielte Ergebnis des erarbeiteten Konzeptes (siehe Kapitel 5) und des Prototypen analysiert. Anhand von ausgewählten Forschungsmethoden werden die vorab identifizierten Anforderungen überprüft und evaluiert. Mithilfe der erhobenen Informationen wird zum Ende des Kapitels die Forschungsfrage, sowie das Ziel der Arbeit abschließend evaluiert.

7.1 Usability-Test

Im Rahmen der Evaluation wurde ein Usability-Test durchgeführt, um bestimmte, für die Nutzbarkeit aufgestellte Anforderungen zu überprüfen. Das angestrebte Ziel und die Ergebnisse der Tests werden in dem folgenden Abschnitt erläutert:

7.1.1 Ziel des Usability-Tests

Anhand des Usability-Tests sind die Anforderungen zu prüfen, die den Bereich der Nutzbarkeit adressieren. Hierfür werden die Anforderungen, die den Tabellen (4.1, 4.2 und 4.3) zu entnehmen sind, betrachtet. Die dafür berücksichtigen Anforderungen sind konkret die Folgenden: NFA1, NFA2, NFA3 und NFA4 (siehe 4.2)

Damit die Erfüllung der Anforderungen überprüfbar ist, wird einer Auswahl an Anwendern der Zielgruppe im Rahmen der Nutzbarkeit eine Aufgabe gestellt, mit der das Framework getestet wird und dabei die oben genannten Anforderungen genauestens betrachtet werden. Ziel dabei ist die Sicherstellung der Erfüllung von obigen Anforderungen, bzw. die Identifizierung von Verbesserungspotentialen.

7.1.2 Durchführung des Usability-Tests

Für die Durchführung der Tests wurde vorab eine Aufgabe erstellt. Diese dient als Grundlage zur Identifizierung der Usability-Anforderungen. Der Aufbau und das Vorgehen der Testung wurde für jeden Teilnehmer ähnlich gestaltet. Zu Anfang, bevor der Test durchgeführt wurde, war der Kontext sowie das Framework zu erläutern, damit die Informationen und Vorbedingungen für jeden Teilnehmer zu vergleichen waren. Vorab war die Erläuterung der Kernkomponenten des

Frameworks sowie die Rahmenbedingungen und die Aufgabenstellung selbst notwendig. So war für jeden Teilnehmer klar, welche Informationen zum Durchführen des Tests erforderlich waren. Die Realisierung des Tests wurde an unterschiedlichen Orten durchgeführt. Für die Variation des Durchführungsortes war eine Aufgabe zu erstellen, die umgebungsunabhängig erfüllt werden konnte. Da die Tests ausschließlich auf die Nutzung des Frameworks abzielten, war die Umgebung sowie die Anbindung verfügbarer Geräte zu vernachlässigen. Damit der Testumfang nicht zu komplex wurde, war der Anwendungsfall der umzusetzenden Aufgabe trivial. Für die Ausführung des Tests war eine Voraussetzung, dass bereits ein MQTT-Broker aufgesetzt war und für die Aufgabe zur Verfügung stand. Durch die Fehlende Anbindung von Geräten, wurden die ausgehenden MQTT-Nachrichten nicht für die weitere Verarbeitung benötigt. Eingehende Nachrichten wurden simuliert, indem durch den Broker manuell MQTT-Nachrichten veröffentlicht werden konnten.

Die von den Anwendern durchzuführende Aufgabe ist wie folgt definiert:

Es soll ein Anwendungsfall implementiert werden, bei dem ein Service-Roboter einen Mitarbeiter oder Gast, der an der Tür steht, empfangen und begrüßen soll. Eingangsbedingungen sind, dass eine Kamera zur Authentifizierung für die Anwendung simuliert wird. Die MQTT-Nachricht wird im Rahmen der Aufgabe manuell erzeugt und losgelöst. Auch die Definition des MQTT-Topics ist vorgegeben. Nachdem die simulierte Authentifizierung ausgelöst wurde, soll über die Steuerzentrale eine Regel ausgeführt werden, die folgende Anforderungen erfüllen soll:

- Nach eingehendem Topic soll der Service-Roboter angesteuert und an die Tür geschickt werden. (Die Ansteuerung des Service-Roboters erfolgt ebenso über MQTT. Da in den meisten Fällen kein Roboter verfügbar ist, wird auch diese Kommunikation mittels MQTT simuliert.)
- Ist der Roboter an der Tür, soll er die Begrüßung starten. (Die folgende Interaktion wird im Rahmen des Test nicht durchgeführt. Nach der Nachricht zur simulierten Begrüßung gilt die Aufgabe als erledigt.)

Für die Aufgabe sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Kenntnis über MQTT-Topics, die für die Kommunikation benötigt werden.
- Ein Zustandsraum, der alle benötigten Komponenten abbildet.
- Der Service-Roboter als Komponente, sodass dieser bei Ausführung einer Aufgabe für weiter Aufgaben geblockt werden kann.
- Der Auslöser, welcher durch ein MQTT (PlugIn) abgebildet wird.
- Die Transformation der eingehenden MQTT-Topics zu Zustandsänderungen, auf die Regeln ausgeführt werden sollen.

Dem Anhang (REF TBD) ist das Dokument zur Durchführung des Usability-Test beigefügt.

Nach dem Abschluss der Aufgabe wurden die Probanden gebeten einen Fragebogen, welcher sich an dem *System Usability Scale (SUS)* Template orientiert, auszufüllen, um damit ihre Erkenntnisse und Meinungen mitzuteilen. Auf die Auswertung des Fragebogens wird in der Zusammenfassung (7.1.3) des Usability-Tests eingegangen.

7.1.3 Fazit

Die Durchführung der quantitativen Forschung kann nicht als repräsentativ eingestuft werden. Die Ergebnisse der Usability-Tests zeigen im Rahmen einer kleinen Auswahl von Experten eine Tendenz, die zeigt, welche Anforderungen abgedeckt, bzw. welche Verbesserungspotentiale identifiziert wurden. Nachdem die Tests durchgeführt wurden, wurde mit den jeweiligen Experten ein abschließendes Interview geführt. Der Aufbau, die Durchführung und die Ergebnisse der Interviews werden in folgendem Abschnitt dargelegt.

7.2 Experten Interview

7.2.1 Ziele des Experten Interviews

7.2.2 Fazit

7.3 Evaluation der Anforderungen

7.4 Evaluation der Forschungsfrage

Kapitel 8

Fazit

Draft

Kapitel 9

Ausblick

Draft

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Technologische Einordnung von IoT [SIEPERMANN und LACKES 2018] | 10 |
| 2.2 | Exemplarische Darstellung eines IoT-Systems [GILLIS 2022] | 11 |
| 2.3 | Client-Server, Peer-to-Peer und Message Passing Interaktionsparadigma [MINERVA, BIRU und ROTONDI 2015] | 13 |
| 2.4 | Mögliche Anwendungsszenarien im Smart Home [STRESE u. a. 2010] | 18 |
| 2.5 | Technologische Einordnung von Smart Home in Verbindung zu IoT [BENDEL 2021] . | 19 |
| 2.6 | Aufbau und Funktionsweise einer Smart Home Infrastruktur | 20 |
| 2.7 | Themenbasiertes Pub/Sub Kommunikationsmodell [HUNKELER, TRUONG und STANFORD-CLARK 2008] | 26 |
| 2.8 | Architektur des Home Assistant Supervisors [SCHOUTSEN 2020] | 30 |
| 2.9 | Architektur des Home Assistant Cores [LI u. a. 2018] | 31 |
| 2.10 | Architektur der openHAB Plattform [KREUZER 2013] | 37 |
| 2.11 | Architektur der openHAB 2.0 Plattform [KREUZER 2016] | 38 |
| 2.12 | OSGi Schichtenarchitektur [KREUZER 2022] | 39 |
| 3.1 | Strategie der Literatursuche | 43 |
| 4.1 | Übersicht der repräsentativen Schlüsselanbieter [LASQUETY-REYES 2021] | 52 |
| 4.2 | Umsatz-Prognose von Deutschland und den USA [LASQUETY-REYES 2021] | 53 |
| 4.3 | Globaler Smart Home Marktwert [LASQUETY-REYES 2021] | 53 |
| 4.4 | Anzahl Smart Home nach Segment [LASQUETY-REYES 2021] | 56 |
| 4.5 | Persona zur Zielgruppenanalyse | 58 |
| 4.6 | Use Case 1 - Anwendungsfalldiagramm | 60 |
| 4.7 | Use Case 2 - Anwendungsfalldiagramm | 63 |
| 5.1 | Infrastruktur des Anwendungsumfeldes der Steuerzentrale | 71 |
| 5.2 | Grober Programmablauf des Frameworks | 76 |
| 5.3 | Schichtenarchitektur | 78 |
| 5.4 | Architektur mit verwendeten Entwurfsmustern | 81 |
| 5.5 | Klassendiagramm der Kommunikationsschicht | 82 |
| 5.6 | Sequenzdiagramm zur Kommunikationsschicht | 82 |
| 5.7 | Klassendiagramm zur Logik- und Prozessschicht | 83 |
| 5.8 | Sequenzdiagramm zur Logikschicht | 84 |

| | | |
|-----|---|------|
| 6.1 | Transformation über Switch-Case-Anweisung | 91 |
| 6.2 | Transformation über eigenes Objekt | 93 |
| D.1 | Persona 1 zu der Zielgruppenanalyse | XI |
| D.2 | Persona 2 zu der Zielgruppenanalyse | XII |
| D.3 | Persona 3 zu der Zielgruppenanalyse | XIII |

Draft

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|---|------|
| 2.1 | Interaktionsparadigmen nach [MINERVA, BIRU und ROTONDI 2015] | 13 |
| 2.2 | Historische Entwicklung vom Internet der Dinge [DURGA, PROF und KUMAR 2020] . | 15 |
| 2.3 | Teilsysteme des Smart Home [STRESE u. a. 2010] | 17 |
| 2.4 | Übertragungsmethoden des Smart Home | 24 |
| 2.5 | Stärken und Schwächen der Home Assistant Plattform | 32 |
| 3.1 | Suchprotokoll des Systematischen Literaturreviews | 44 |
| 3.2 | Einschluss- und Ausschlusskriterien des systematischen Literaturreviews | 45 |
| 4.1 | Funktionale Anforderungen (FAs) | 67 |
| 4.2 | Nicht funktionale Anforderungen (NFAs) | 68 |
| 4.3 | Zusätzliche Anforderungen | 69 |
| A.1 | Vergleich von MQTT und AMQP [NAIK 2017] | VI |
| B.1 | Vergleich der Plattformen [BRICE 2022] [SUTTNER 2022] [BARCLAY 2020] | VIII |
| E.1 | Aufgabenbeschreibung UC 1 - Begrüßung / Check-in | XV |
| F.1 | Aufgabenbeschreibung UC 2 - Notfall-Evakuierung | XIX |

Liste der Code-Beispiele

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Erzeugung und Veröffentlichung einer Nachricht | 26 |
| 2.2 | Empfang und Konsum einer Nachricht | 26 |
| 2.3 | Konstrukt zur Regeldefinition über Home Assistant | 33 |
| 2.4 | Konstrukt zur Regeldefinition über Xbase | 40 |
| 6.1 | Zustandsobjekt als Typ-Variablen | 88 |
| 6.2 | Transformation über eine Switch-Case-Anweisung | 91 |
| 6.3 | Transformation über ein eigenes Objekt | 93 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|----------------|---|----|
| IoT | Internet of Things | 8 |
| IdD | Internet der Dinge | 8 |
| SH | Smart Home | 3 |
| IT | Informationstechnologie | 8 |
| IP | Internetprotokoll | 9 |
| IIoT | Industrial Internet of Things, dt. Industrielles Internet der Dinge | 12 |
| P2P | Peer to Peer | 13 |
| REST | Representational State Transfer | 14 |
| SOAP | Simple Object Access Protocol | 14 |
| M2M | Machine to Machine | 14 |
| API | Application Programming Interface | 14 |
| HTML | Hypertext Markup Language | 14 |
| XML | Extensible Markup Language | 14 |
| JSON | JavaScript Object Notation | 14 |
| P&G | Procter & Gamble | 15 |
| RFID | Radio-Frequency Identifitaction | 15 |
| ITU | International Telecommunication Union | 15 |
| IIS | Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen | 15 |
| RE | Requirements Engineering | 5 |
| BMWK | Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz | 21 |
| IFA | Internationale Funkausstellung | 22 |
| MQTT | Message Queue Telemetry Transport | 24 |
| TCP | Transmission Control Protocol | 24 |
| TLS | Transport Layer Security | 24 |
| SSL | Secure Sockets Layer | 24 |

| | | |
|----------------|--|----|
| AMQP | Advanced Message Queue Protocol | 27 |
| HTTP | Hypertext Transfer Protocol | 27 |
| CoAP | Constrained Application Protocol | 27 |
| PAN | Personal Area Network | 28 |
| UI | User Interface | 30 |
| DoD | Definition of Done | 31 |
| openHAB | open Home Automation Bus | 34 |
| OSGi | Open Service Gateway initiativ | 34 |
| JVM | Java Virtual Machine | 39 |
| JAR | Java Archive | 39 |
| SGX | Software Guard Extentions | 47 |
| SGCS | Statista Global Consumer Survey | 51 |
| AI | Artificial Intelligence | 54 |
| KI | Künstliche Intelligenz | 54 |
| WLAN | Wireless Local Area Network | 54 |
| DSL | Domain Specific Language | 40 |
| TORE | Task-oriented Requirements Engineering | 59 |
| SOA | Service-Oriented Architecture | 86 |
| MVC | Model View Controller | 79 |
| MVVM | Model View ViewModel | 79 |
| BRMS | Business-Rule-Management-System | 49 |
| POJO | Plain Old Java Object | 81 |

Literatur

- ADAM, Sebastian, Norman RIEGEL und Joerg DOERR [2014]. *A Framework for Systematic Requirements Development in Information Systems*. URL: <https://re-magazine.ireb.org/articles/tore> [besucht am 30.05.2022].
- ASCHENDORF, B. [2014]. *Energiemanagement durch Gebäudeautomation: Grundlagen - Technologien - Anwendungen*. Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 55–57. ISBN: 9783834820327. URL: <https://books.google.de/books?id=-y8pBAAAQBAJ>.
- BALAKRISHNAN, Sumathi, Hemalata VASUDAVAN und Raja Kumar MURUGESAN [Dez. 2018]. „Smart home technologies: A preliminary review“. In: Association for Computing Machinery, S. 120–127. ISBN: 9781450366298. DOI: [10.1145/3301551.3301575](https://doi.org/10.1145/3301551.3301575).
- BARCLAY, Lewis [2020]. *Home Assistant vs OpenHAB - Which one is better?* URL: <https://everythingsmarthome.co.uk/home-assistant-vs-openhab-which-one-is-better/> [besucht am 20.05.2022].
- BENDEL, Oliver [2021]. *Smart Home*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-home-54137> [besucht am 23.03.2022].
- BRAJKOVIC, Sandra [2014]. *Telekom arbeitet am intelligenten Haus der Zukunft*. URL: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article125324076/Telekom-arbeitet-am-intelligenten-Haus-der-Zukunft.html> [besucht am 06.04.2022].
- BRICE, Alex [2022]. *Best of open source smart home: Home Assistant vs OpenHAB*. URL: <https://smarthome.university/your-smart-home-platform-home-assistant-vs-openhab/> [besucht am 01.05.2022].
- BUSCH-JAEGER [2021]. *Busch-Jaeger - Geschichte. 1990er-Jahre - Das intelligente "Haus wird Wirklichkeit*. In: busch-jaeger.de. URL: <https://www.busch-jaeger.de/geschichte/> [besucht am 06.04.2022].
- CAO, Keyan u. a. [2020]. „An Overview on Edge Computing Research“. In: *IEEE Access* 8, S. 85714–85728. ISSN: 21693536. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2991734](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734).
- DURGA, P V Vijaya, Asst PROF und T Sujith KUMAR [2020]. „A Literature Survey on Internet of Things“. In: *International Journal for Research in Engineering Application Management (IJREAM) 06*, S. 2454–9150. DOI: [10.35291/2454-9150.2020.0717](https://doi.org/10.35291/2454-9150.2020.0717).

- FRAUNHOFER [2021]. *Historie - Die Geschichte des Fraunhofer-inHaus-Zentrums. Das Fraunhofer-inHaus-Zentrum*. URL: <https://www.inhaus.fraunhofer.de/de/ueber-uns/Historie.html> [besucht am 06.04.2022].
- FUNKE, Holger [2009]. *Das OSGi Framework*. URL: <https://entwickler.de/java/das-osgi-framework> [besucht am 19.06.2022].
- GAMMA, Erich u. a. [1995a]. *Design patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley Longman, Inc., S. 325–330. ISBN: 0-201-63361-2.
- [1995b]. *Design patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley Longman, Inc., S. 127–134. ISBN: 0-201-63361-2.
- [1995c]. *Design patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley Longman, Inc., S. 139–150. ISBN: 0-201-63361-2.
- GARTNER [März 2022]. *Gartner Hype Cycle*. <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>.
- GILLIS, Alexander [2022]. *What is the internet of things (IoT)*? URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> [besucht am 25.03.2022].
- HUNKELER, Urs, Hong Linh TRUONG und Andy STANFORD-CLARK [2008]. „MQTT-S - A publish-/subscribe protocol for wireless sensor networks“. In: IEEE Computer Society, S. 791–798. ISBN: 9781424417971. DOI: 10.1109/COMSWA.2008.4554519.
- JOHNSON, Rod [2004]. *Expert one-on-one J2EE design and development*. John Wiley & Sons. ISBN: 0-7645-4385-7.
- KIM, Ji Eun u. a. [2012]. „Seamless integration of heterogeneous devices and access control in smart homes“. In: S. 206–213. ISBN: 9780769547411. DOI: 10.1109/IE.2012.57.
- KITCHENHAM, Barbara und Stuart CHARTERS [Jan. 2007]. „Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering“. In: 2.
- KREUZER, Kai [Juni 2014]. *openHAB 1.5 - Release Highlights*. URL: <http://kaikreuzer.blogspot.com> [besucht am 29.04.2022].
- [Jan. 2016]. *openHAB 1.8 and 2.0 beta 1 Release*. URL: <http://kaikreuzer.blogspot.com> [besucht am 30.04.2022].
- [2013]. *openHAB Dokumentation*. URL: <https://github.com/openhab/openhab1-addons/wiki> [besucht am 29.04.2022].
- [2020]. *openHAB Strength*. URL: <https://www.openhab.org/docs/> [besucht am 01.05.2022].
- [Dez. 2012]. *OSGi Connects the World*. URL: <http://kaikreuzer.blogspot.com> [besucht am 29.04.2022].
- [2022]. *OSGi Overview*. URL: <https://www.openhab.org/docs/developer/osgi/osgi.html> [besucht am 01.05.2022].
- KRUCHTEN, Philippe [1995]. *Architectural Blueprints-The "4+1"View Model of Software Architecture*, S. 42–50. DOI: 10.1109/52.469759.

- LASQUETY-REYES, Dr. Jeremiah [2021]. *Statista. Smart Home Report 2021. Statista Digital Market Outlook - Market Report.* (Aritkel-Nr. did-41155-1). URL: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/41155/dokument/smart-home-report/> [besucht am 23.05.2022].
- LAZAR, Jonathan, Jinjuan Heidi FENG und Harry HOCHHEISER [2017]. „Chapter 10 - Usability testing“. In: *Research Methods in Human Computer Interaction (Second Edition)*. Hrsg. von Jonathan LAZAR, Jinjuan Heidi FENG und Harry HOCHHEISER. Second Edition. Boston: Morgan Kaufmann, S. 263–298. ISBN: 978-0-12-805390-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805390-4.00010-8>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128053904000108>.
- LI, Yang u. a. [2018]. „Home Assistant-Based Collaborative Framework of Multi-Sensor Fusion for Social Robot*“. In: ISBN: 9781538673461.
- LIKERT, Rensis [1932]. „A technique for the measurement of attitudes.“ In: *Archives of psychology*.
- LISKOV, Barbara H und Jeannette M WING [2001]. „Behavioral subtyping using invariants and constraints“. In: *Formal methods for distributed processing: a survey of object-oriented approaches*, S. 254–280.
- LUBER, Stefan und Nico LITZEL [2019]. *Definition - Was ist Smart Home.* URL: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-smart-home-a-809018/> [besucht am 08.05.2022].
- [2016]. *Was ist das Internet of Things?* URL: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-das-internet-of-things-a-590806/> [besucht am 22.03.2022].
- MADAKAM, Somayya, R. RAMASWAMY und Siddharth TRIPATHI [2015]. „Internet of Things (IoT): A Literature Review“. In: *Journal of Computer and Communications* 03 [05], S. 164–173. ISSN: 2327-5219. DOI: [10.4236/jcc.2015.35021](https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021).
- MARTIN, Robert C. [2009]. *Clean Code - Refactoring, Patterns, Testen und Techniken für sauberen Code*. Hrsg. von Reinhard ENGEL. mitp Verlags GmbH, S. 176–185. ISBN: 978-3-8266-5548-7.
- MARTIN, Robert C [1996]. „The interface segregation principle: One of the many principles of OOD“. In: *C PLUS PLUS REPORT* 8, S. 30–36.
- MARTIN, Robert Cecil [2003]. *Agile software development: principles, patterns, and practices*. Prentice Hall PTR, S. 127–131. ISBN: 978-0-13-597444-5.
- MELL, Peter und Timothy GRANCE [Sep. 2011]. *The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*, S. 2–3. URL: <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>.
- MEYER, Bertrand [1988]. *Object Oriented Software Construction*. Prentice Hall, S. 57–61. ISBN: 978-0-13-629155-8.
- MINERVA, Roberto, Abyi BIRU und Domenico ROTONDI [2015]. „Towards a Definition of the Internet of Things“. In: *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)*, S. 59–70. URL: https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf.

- MONTANARO, Teodoro u. a. [2021]. „Fast-prototyping approach to design and validate architectures for smart home“. In: *Journal of Communications Software and Systems* 17 [2], S. 177–184. ISSN: 18466079. DOI: 10.24138/jcomss-2021-0005.
- NAIK, Nitin [Okt. 2017]. „Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP“. In: Hrsg. von Nitin NAIK. 2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE), S. 1–6. ISBN: 9781538634035. DOI: 10.1109/SysEng.2017.8088251.
- POHL, K. und C. RUPP [2021]. *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level*. dpunkt.verlag. ISBN: 9783969102473. URL: <https://books.google.de/books?id=iEgqEAAAQBAJ>.
- PRANZ, Bernhard und Markus SCHILLER [Juni 2018]. „Smart Home with openHAB“. In: S. 2–4.
- ROBSON, Colin [2002]. *Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0631213055.
- SCHOUTSEN, Paulus [2020]. *Home Assistant Supervisor*. URL: <https://developers.home-assistant.io/docs/supervisor> [besucht am 01.05.2022].
- SIEPERMANN, Markus und Richard LACKES [2018]. *Internet der Dinge*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internet-der-dinge-53187> [besucht am 23.03.2022].
- STRESE, Hartmut u. a. [2010]. *Smart Home in Deutschland. Untersuchung im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung zum Programm Next Generation Media (NGM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie*. Institut für Innovation und Technik (iit). ISBN: 9783897501652.
- SUTTNER, Matthias [2022]. *VERGLEICH: OPENHAB VS. HOME ASSISTANT*. URL: <https://smarthome.msuttner.de/openhab-2/vergleich-openhab-vs-home-assistant/> [besucht am 02.05.2022].
- V., VDE e. [2013]. *Die deutsche Normungs-Roadmap Smart Home + Building*, S. 16–45. URL: www.dke.de.
- VIANI, Federico u. a. [2013]. „Wireless architectures for heterogeneous sensing in smart home applications: Concepts and real implementation“. In: *Proceedings of the IEEE* 101 [11], S. 2381–2396. ISSN: 00189219. DOI: 10.1109/JPROC.2013.2266858.
- WAGNER, Dr. Gunher u. a. [2018]. *Deloitte. Smart Home Consumer Survey 2018. Ausgewählte Ergebnisse für den deutschen Markt*. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology-media-telecommunications/Deloitte_TMT_Smart_Home_Studie_18.pdf [besucht am 22.05.2022].
- WU, Chao Lin und Li Chen FU [2012]. „Design and Realization of a Framework for Human–System Interaction in Smart Homes“. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans* 42 [1], S. 15–31. ISSN: 15582426. DOI: 10.1109/TSMCA.2011.2159584.
- WUETHERICH, Gerd u. a. [2008]. *Die OSGi Service Platform*. dpunkt.verlag. ISBN: 978-3-89864-457-0.
- [2009]. *Einführung in die OSGi Service Plattform*. URL: <https://nilshartmann.net/uploads/Powerworkshop-OSGi-JAX2009.pdf> [besucht am 19.06.2022].

ZAVALYSHYN, Igor u. a. [Dez. 2020]. „My house, my rules: A private-by-design smart home platform“. In: Association for Computing Machinery, S. 273–282. ISBN: 9781450388405. DOI: 10.1145/3448891.3450333.

Draft

Anhang A

| Kriterium | MQTT | AMQP |
|------------------------------------|---|---|
| Jahr | 1999 | 2003 |
| Architektur | Client/Broker, | Client/Broker Client/Server |
| Abstraktion | Publish/Subscribe | Publish/Subscribe Request/response |
| Header Größe | 2 Byte, | 8 Byte |
| Nachrichtengröße | max. 265 MB | Abhängig von Broker/Server |
| Semantik / Methoden | Connect, Disconnect, Publish, Subscribe, Unsubscribe, Close | Consume, Deliver, Publish, Get, Select, Ack, Delete, Nack, Recover, Reject, Open, Close |
| Zwischenspeicher (Cache) und Proxy | Teilweise | Ja |
| Standards | OASIS, Eclipse Foundation | OASIS, ISO/IEC |
| Transport-Protokoll | TCP, | TCP, SCTP |
| Sicherheit | TLS/SSL | TLS/SSL |
| Standard-Port | 1883/8883 (TLS/SSL) | 5671 (TLS/SSL), 5672 |
| Format | binär | Binär |
| Lizenzmodell | Open Source | Open Source |
| Support | IBM, Facebook, Eurotech, Cisco, Red Hat Amazon (AWS) etc. | Microsoft, JP Morgan, Bank of America, Barclays, Goldman Sachs Credit Suisse |

Tabelle A.1: Vergleich von MQTT und AMQP [NAIK 2017]

Anhang B

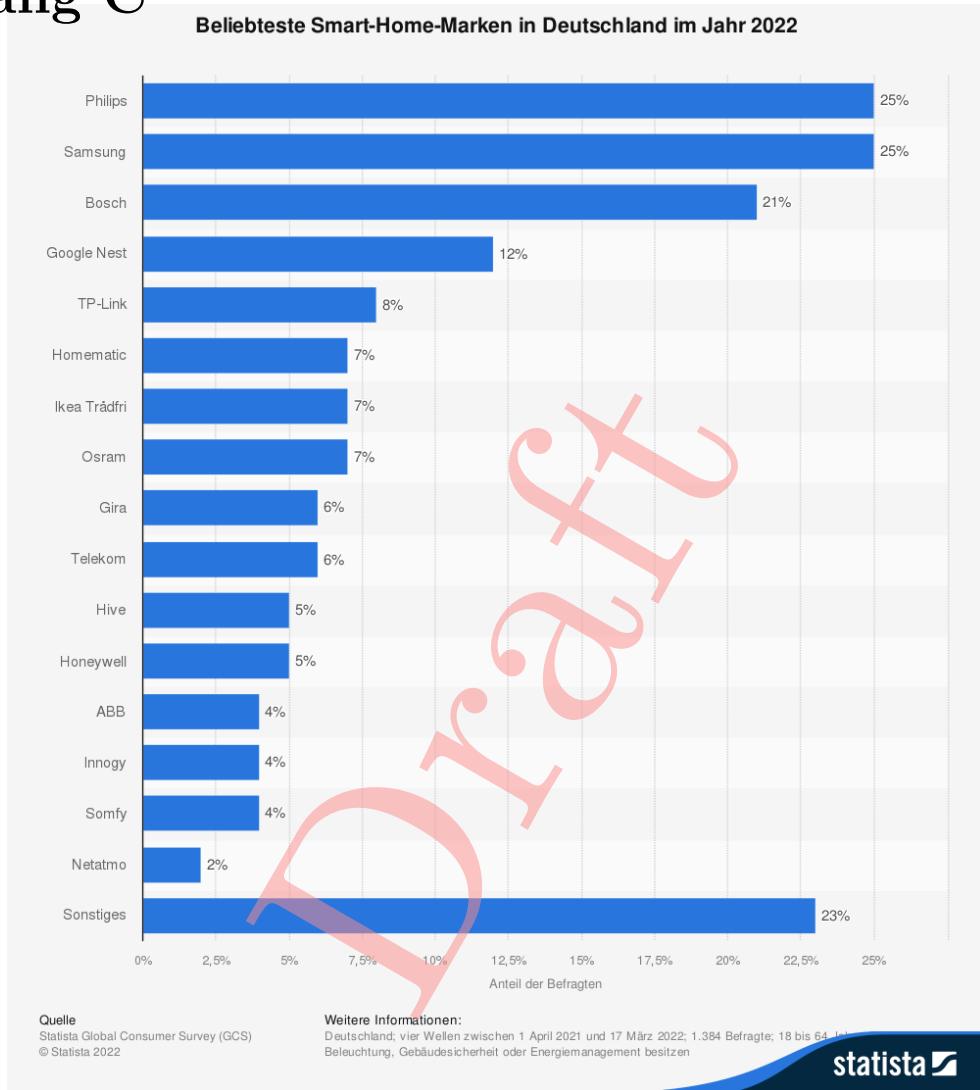
Draft

| Attribut | openHAB | Home Assistant |
|---------------------------------------|---|--|
| Architektur | Robustheit und Starrheit, sowie die gewissenhafte Entwicklung | Erfordert häufigere Updates, bietet jedoch eine schnelle Entwicklung und eine viel modernere und anspruchsvollere Architektur [BRICE 2022]. |
| Installation und Wartung | Installation ist genauestens dokumentiert. Initiale Konfiguration muss über die Kommandozeile durchgeführt werden, Updates ebenso. | Ein-Klick-Installationsprozess. Initiale Konfiguration benötigt das Verständnis von YAML-Dateien. Updates können über die UI verwaltet werden [BRICE 2022]. |
| Unterstützte Geräte und Verknüpfungen | Durch die gängigen Smart Home Protokolle werden über 1000 Komponenten unterstützt. | Home Assistant unterstützt ebenso über 1000 Komponenten, wobei die Benutzerfreundlichkeit beim Anlegen und Verwalten bei Home Assistant deutlich angenehmer und leichter erscheint [SUTTNER 2022]. |
| Automatisierungsregeln | Bereitstellung von Automationen durch Xtend. Xtend ist ein flexibler und ausdrucksstarker Java-Dialekt, der sich in Quellcode basierend auf Java 8 kompilieren lässt. Ebenso können über Blockly Automatisierungsregeln erstellt werden. Blockly ist eine clientseitige JavaScript Bibliothek, die visuelle Blöcke mit Anweisungen, Bedingungen uvm. erstellen und editieren lässt. Eine weitere Alternative ist die Verwendung von Node-RED. | Home Assistant bietet die Möglichkeit, Automatisierungen per YAML zu erstellen. Alternativ mit Node-RED. YAML-Dateien sind flexibler, jedoch nicht unbedingt benutzerfreundlich. |
| User Interface | openHAB hat in den User Interface viele Duplikate und zu viele ähnliche Optionen zur Verfügung bei unterschiedlicher Oberfläche. | Die Benutzeroberfläche der Home Assistant Plattform ist für Einsteiger und Anfänger deutlich benutzerfreundlicher und weniger komplex als openHAB. |
| Mobile Anwendungen | openHAB bietet eine dedizierte App für iOS und Android. Diese ist mit innovativen Optionen ausgestattet. | Home Assistant bietet ebenso eine App für iOS und Android, jedoch bei weitem nicht so stark entwickelt als die von openHAB. Die Benachrichtigungsdiensste sind jedoch mit Home Assistant besser genutzt. |
| Community und Dokumentation | openHAB bietet eine sehr starke und repräsentative Community. Die Dokumentation ist ausführlich und beschreibt die Prozesse, Konzept und Architektur ausführlich. | Home Assistant unterscheidet sich in diesen Punkten nicht von openHAB. Eine starke Community und eine solide Dokumentation der Plattform. |
| Vergleich von Xtend & YAML | XIV | |

Tabelle B.1: Vergleich der Plattformen [BRICE 2022] [SUTTNER 2022] [BARCLAY 2020]

Anhang C

Beliebteste Smart-Home-Marken in Deutschland im Jahr 2022



Draft

Anhang D

Abbildung D.1: Persona 1 zu der Zielgruppenanalyse

ROMAN'S PERSONA TEMPLATE

 romanpichler

|  PICTURE & NAME |  DETAILS |  GOAL |
|--|--|---|
| <p>What does the persona look like? What is its name? Choose a realistic and believable picture and name.</p> <p>Picture from unsplash free to use under the Unsplash license</p>  <p>Maya Zimmermann</p> | <p>What are the persona's relevant characteristics and behaviours? For instance, demographics, such as age, gender, occupation, and income; psychographics, including lifestyle, social class, and personality; and behavioural attributes like usage patterns, attitudes, and brand loyalty. Only list relevant details.</p> <p>Geschlecht: Weiblich Alter: 28 Beruf: Business and Location Managerin Ausbildung: MBA Business Management Familienstand: Verheiratet, keine Kinder Hobbies: Handball, Ski fahren, Reisen, Malen Attribute: modern, nutzt soziale Medien, innovative Ideen, chaotisch Lebensstil: Typ B (modern, lebt den digitalen Lebensstil) Personlichkeit: innovativ, emanzipiert, koordiniert Nutzungsmuster: Treibt Innovationen voran, legt Wert auf kontinuierliche und stetige Entwicklung und möglichst geringe Komplexität, nutzt SmartHome Technologien als Anwender</p> | <p>What problem does the persona want to solve or which benefit does the character seek? Why would the persona want to use or buy the product?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sie möchte flexibel in der Erweiterbarkeit der Plattform sein - Neue Funktionen in die Plattform zu integrieren soll wenig komplex sein - Anwendung und Ergänzung von Regeln oder Funktionen sollen schnell und unkompliziert sein - Sie möchte eine innovatives Arbeitsklima erschaffen - Eine zuverlässige Plattform bereitstellen, die Aufgaben übernimmt und Mitarbeiter entlastet. - Sie will selbst mit ihren IT-Kenntnissen Erweiterungen hinzufügen - Einfache Bedienung fördert die Weiterentwicklung und Nutzung der Plattform |



Abbildung D.2: Persona 2 zu der Zielgruppenanalyse

ROMAN'S PERSONA TEMPLATE

 romanpichler

|  PICTURE & NAME |  DETAILS |  GOAL |
|--|--|--|
| <p>What does the persona look like? What is its name? Choose a realistic and believable picture and name.</p>  | <p>What are the persona's relevant characteristics and behaviours? For instance, demographics, such as age, gender, occupation, and income; psychographics, including lifestyle, social class, and personality; and behavioural attributes like usage patterns, attitudes, and brand loyalty. Only list relevant details.</p> <p>Geschlecht: Männlich Alter: 25 Beruf: Business Analyse Ausbildung: B.Sc. Wirtschaftsinformatik Familienstand: Ledig Hobbies: Games, Schach, Fahrrad fahren Attribut: jung, modern, nutzt soziale Medien, innovative Ideen, chaotisch Lebensstil: Typ A (modern, lebt den digitalen Lebensstil) Persönlichkeit: innovativ, eigenständig, lernfähig und unauffällig Nutzungsmuster: Verwendet gerne die neuesten Technologien der Informatik, Programmiert gerne</p> | <p>What problem does the persona want to solve or which benefit does the character seek? Why would the persona want to use or buy the product?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Er möchte Prozesse im Büro automatisieren, sodass er nicht an alles denken muss und sich auf seine Arbeit konzentrieren kann - Er möchte eine innovativeres Arbeitsklima erschaffen - Eine zuverlässige Plattform entwickeln - Er möchte mit der Plattform den Aufwand gering halten, der bei der stetigen Weiterentwicklung entsteht - Er möchte modernste Techniken miteinander vereinen - Ein hat die Vision ein digitalisiertes Gebäude mit aufzubauen |

Abbildung D.3: Persona 3 zu der Zielgruppenanalyse

ROMAN'S PERSONA TEMPLATE

 romanpichler

|  PICTURE & NAME |  DETAILS |  GOAL |
|---|---|---|
| <p>What does the persona look like? What is its name? Choose a realistic and believable picture and name.</p> <p>Picture from unsplash free to use under the Unsplash license</p>  <p>Samantha Nalani Keala</p> | <p>What are the persona's relevant characteristics and behaviours? For instance, demographics, such as age, gender, occupation, and income; psychographics, including lifestyle, social class, and personality; and behavioural attributes like usage patterns, attitudes, and brand loyalty. Only list relevant details!</p> <p>Geschlecht: Weiblich Alter: 42 Beruf: Software Engineer Ausbildung: Diplom Informatiker/in (FH) Familienstand: Verheiratet, ein Kind (männlich im Alter von 7 Jahren) Hobbies: Yoga, Lesen, Reisen Attribute: modern, karriereorientiert, nutzt soziale Medien, innovative Ideen, lernt gerne dazu, ist jeder Aufgabe gewachsen, gerne unter Leuten, strukturiert Lebensstil: Typ A (kulturell interessiert, modern, lebt den digitalen Lebensstil), gestaltet den Alltag und Lebensraum nach ihren Vorstellungen Persönlichkeit: emanzipiert, eigenständig, zielstrebig, erfinderisch, neugierig und innovativ Nutzungsmuster: Exklusiv, legt Wert auf Qualität, Performance und Digitalisierung</p> | <p>What problem does the persona want to solve or which benefit does the character seek? Why would the persona want to use or buy the product?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sie möchte eine Struktur in Prozesse bringen, die wiederholbar sind - Das Wohlbefinden im Büro erhöhen - Büroaktivitäten erleichtern - Strom sparen (durch automatischen Ein- und Ausschalten von Lichten, Heizung etc.) - Die Sicherheit im Bürogebäude erhöhen - Alle SmartHome Prozesse zentralisieren und möglichst schnell neue Funktionen und Use Cases abdecken - Mit moderner Technik in Berührung kommen - Möglichst viele Prozesse automatisieren |

Anhang E

Draft

Use Case 1 - Check-in mit einem Service-Roboter

Aufgabenbeschreibung UC 1

| Task: | Begrüßung / Check-In von Member und Gästen |
|---------------------------------|--|
| Ziel: | Einen Member (Mitarbeiter) oder einen Guest in der Location mit einem Service-Robot zu begrüßen, wenn dieser eintreten möchte. Nach der Begrüßung findet der Check-In statt, bei dem der Member seinem Platz zugewiesen und der Guest zu seinem Ansprechpartner geleitet wird. |
| Eingriffs-möglichkeiten: | Auswahl der Situation, Interaktion mit dem Service-Robot (Informieren, Begleiten). |
| Ursachen: | Terminbuchung, Anmeldung, Klingeln an der Tür, Authentifizierung / Authentisierung an der Tür mittels Biometrische Eingangskontrolle. |
| Priorität: | Hoch |
| Durchführungsprofil: | Nach Anmeldung oder Eintritt eines Guests oder Members, Unterbrechungen möglich (Verbindungsfehler, Fehlerhafte Abfrage der Verfügbarkeiten von Platzreservierungen), mittlere Komplexität. |
| Vorbedingung: | Platzbuchung / Reservierung und Einbuchung für ein Meeting fand im Vorfeld statt, Einverständniserklärung von den Personen liegt vor, Authentisierung über die Eingangskontrolle hat funktioniert / stattgefunden. |
| Info-In: | Die Person, die eintreten will, ist durch die Buchung oder Authentisierung bekannt, Buchung ist registriert und kann abgerufen werden. |
| Info-Out: | Begrüßung Standardprotokoll mit Interaktionsmöglichkeiten und Kenntnis des Namens der Person, Check-In Informationen für die einzucheckende Person. |
| Ressourcen: | Service-Robot, Eintrittskontrolle per Biometrischer Authentisierung, Buchung der Person abrufbar über die API. |

Tabelle E.1: Aufgabenbeschreibung UC 1 - Begrüßung / Check-in

UC 1 - User Story

Gast:

Als Guest möchte ich für den Zugang in das Gebäude ein Bild für den Anmeldeprozess hinterlegen können. Vor Ort möchte ich über die Kamera am Eingang mein Gesicht Authentisieren, bei nicht Hinterlegung eines Bildes bei der Anmeldung, möchte ich klingeln. Nach der Authentisierung, bzw. nach Betätigung der Klingel soll sich die Tür öffnen. Beim Hineintreten in das Gebäude nehme ich einen Service-Robot (Service-Robot) wahr. Dieser begrüßt mich und startet eine Konversation mit mir. Er bietet mir an die Registrierung, bzw. das Antreffen im Gebäude per QR Code über den Service-Robot-Bildschirm durchzuführen. Somit werde ich als anwesend markiert und der Mitarbeiter, mit dem ich einen Termin habe, wird informiert. Nach erfolgreicher Registrierung führt mich der Service-Robot zum Mitarbeiter mit dem ich einen Termin vereinbart habe.

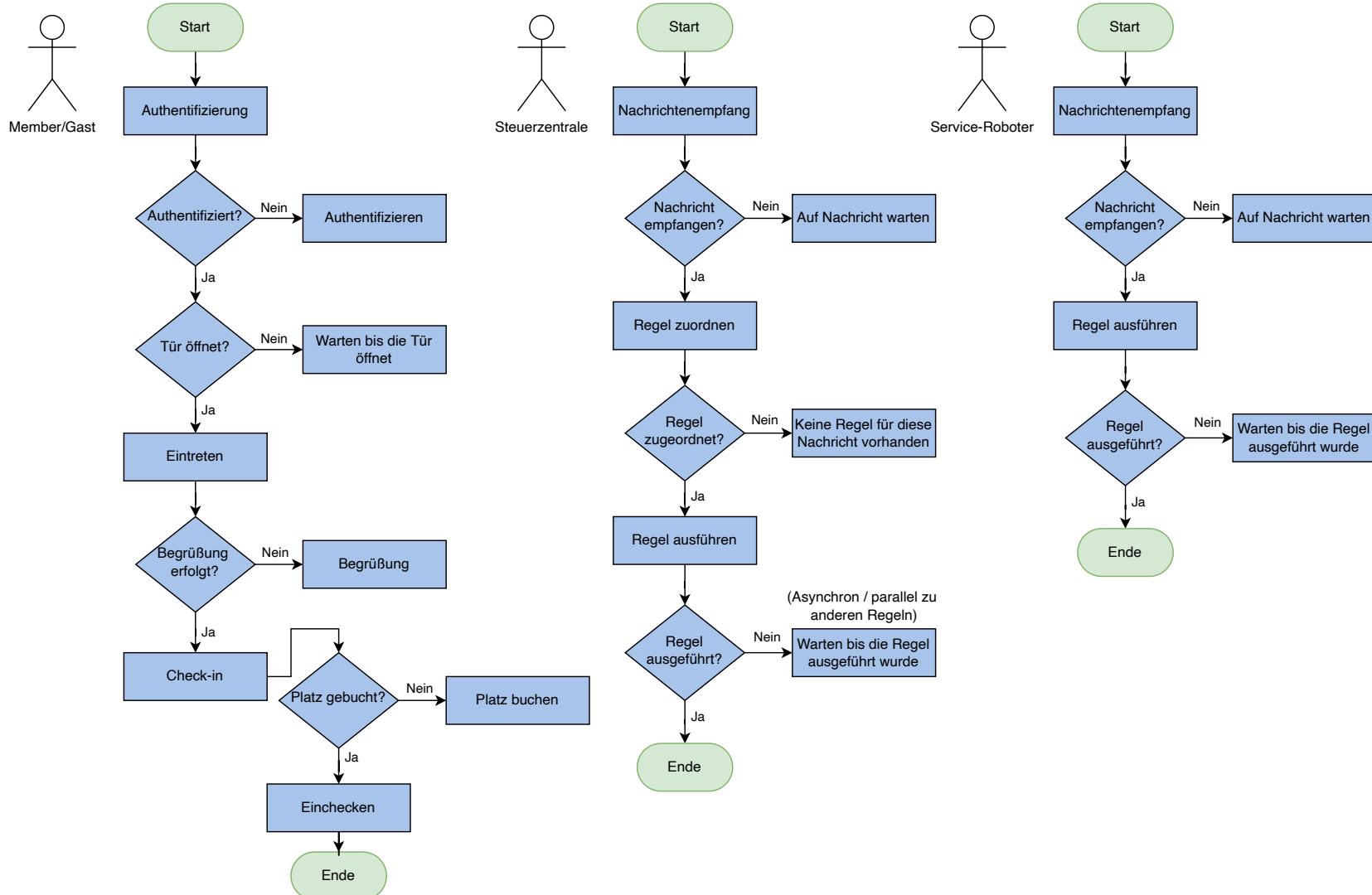
Member:

Als Member möchte ich die Buchung eines Arbeitsplatzes wahrnehmen können. Um in das Gebäude eintreten zu können, ist eine Authentifizierung durch die Gesichtserkennung oder das Abscannen der Chipkarte notwendig. Nach erfolgreicher Autorisierung werde ich von Service-Roboter bei Eintritt des Gebäudes begrüßt. Service-Roboter gibt mir den Arbeitsplatz bekannt und fragt, ob ich zum Platz begleitet werden soll. (oder Service-Roboter mir einen Kaffee an den Arbeitsplatz bringt.) -> (Erweiterung des Use Cases in Planung)

Akzeptanzkriterien

- AK-01: Eine MQTT-Message mit dem Namen der Authentisierten Person wird empfangen.
- AK-02: Die MQTT-Message wird gelesen und mittels den Informationen können Abfragen an die DoorJames API erfolgen.
- AK-03: Informationen der DoorJames API werden empfangen und können weiterverarbeitet werden.
- AK-04: Die benötigten Informationen können an den Service-Roboter (Temi) weitergeleitet werden.
- AK-05: Eine MQTT-Message wird empfangen, sobald der Service-Roboter alle Tasks (ToDo's) des Prozesses abgearbeitet hat.

Use Case - Check-in mit einem Service-Roboter - Ablaufdiagramm



Anhang F

Use Case 2 - Notfall-Evakuierung

| | |
|------------------------------|---|
| Task: | Begrüßung / Check-In von Member und Gästen |
| Ziel: | Einen Notfall zu erkennen und darauf hin alle Member und Gäste, die sich im Büro befinden, informieren und bitten das Gebäude zu verlassen. |
| Eingriffsmöglichkeit: | Kleine, (Evtl. direkte Interaktion mit dem Service-Roboter). |
| Ursachen: | Aktivierung des Sensors durch äußerliche Einwirkung. |
| Priorität: | Hoch |
| Durchführungsprofil: | Meldung eines Notfalls durch Sensoren und Melder |
| Vorbedingung: | Ein Melder kann Nachrichten veröffentlichen, Topics für die Melder und Empfänger sind definiert. |
| Info-In: | Meldung eines Sensors (Melder) über einen Notfall (Rauch, Feuer, Wasser, Gas). |
| Info-Out: | Kenntnis der gebuchten Plätze, Interaktionsmöglichkeiten mit dem Service-Roboter, Benachrichtigung bei Beendung des Prozesses. |
| Ressourcen: | Service-Roboter, Sensor (Rauch-, Feuer- oder Gas-Melder), Information über aktuelle Buchungen, Zuordnung von Positionen von Büroplätzen. |

Tabelle F.1: Aufgabenbeschreibung UC 2 - Notfall-Evakuierung

UC 2 - User Story

Gast:

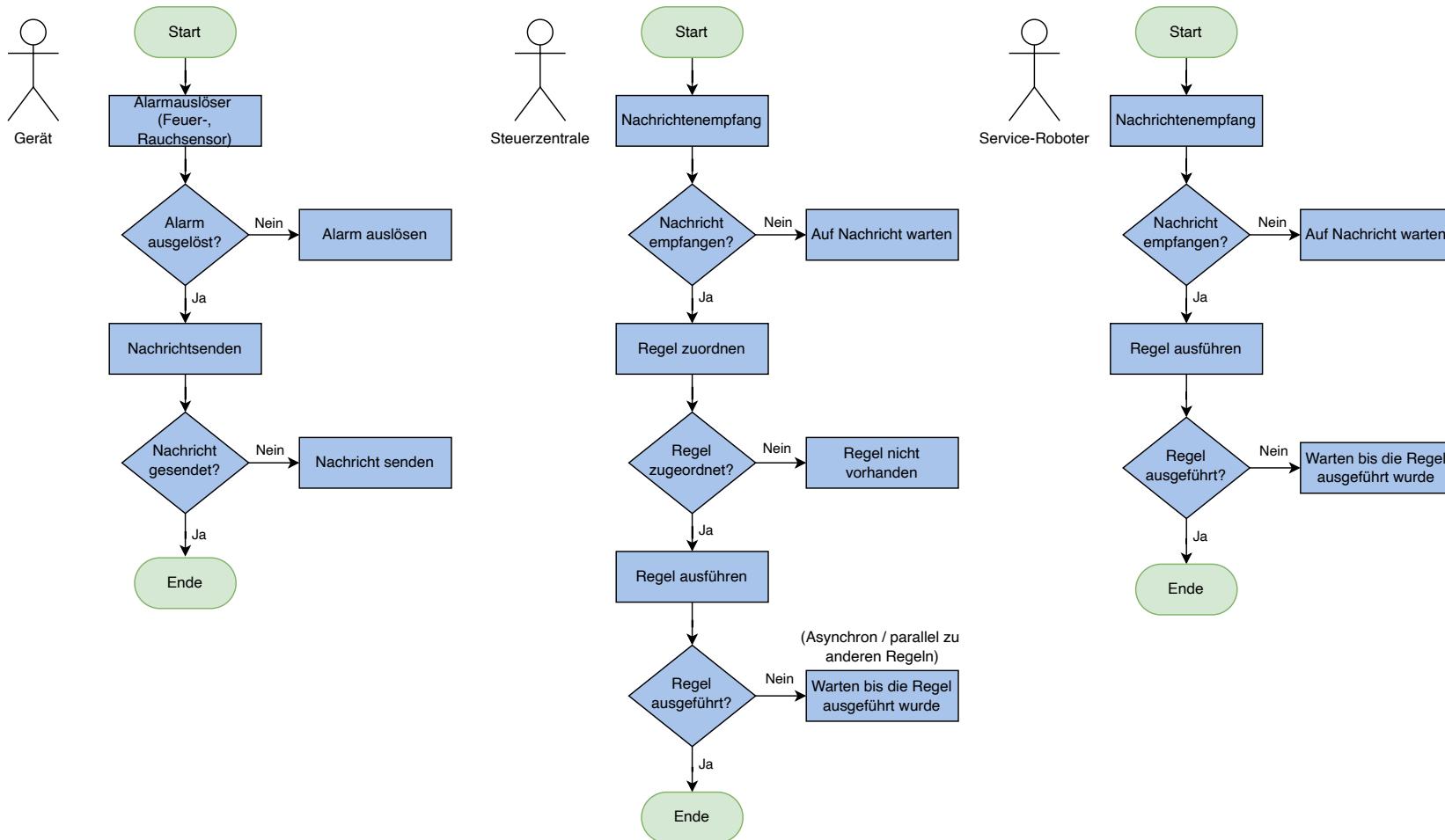
Als Guest, Member und Manager möchte ich bei einem Notfall alarmiert werden. Bei eintretendem Fall möchte ich Anweisungen, die zu beachten und umzusetzen sind, erhalten. Ebenso ist ein Hinweis zu den Notausgängen sinnvoll und hilft bei der Flucht, bzw. beim Verlassen des Gebäudes. Damit keine Personen im Büro bleiben, ist eine Information über Anwesende von belangen. Der Member sollte die Möglichkeit haben, den Service-Roboter aufzufordern nach Leuten zu rufen, die nicht in Sichtweite sind. Sobald alle Plätze abgefahren sind, bzw. durch den Service-Roboter keine Personen mehr erkannt werden, soll eine Benachrichtigung erfolgen, dass alle aus dem Gebäude sind, bzw. keine mehr gesichtet wurden. Diese Information hilft bei der anschließenden Kontrolle über am Treffpunkt anwesender Personen. Abschließend soll ggf. Eine Information über die Platzbuchungen gezeigt werden, damit bei der Kontrolle keine Fehler unterlaufen und keine Personen, die nicht gesehen werden, vergessen werden.

Akzeptanzkriterien

- AK-01: Eine MQTT-Message des Rauchmelders (Sensors) wird von der Steuerzentrale empfangen.
- AK-02: Die MQTT-Message wird gelesen und Abfragen an die DoorJames API erfolgen (Abfrage der Personen zum Zeitpunkt im Bürogebäude)

- AK-03: Informationen der DoorJames API werden empfangen und können weiterverarbeitet werden.
- AK-04: Die benötigten Informationen können an den Service-Roboter (Temi) weitergeleitet werden.
- AK-05: Temi wird losgeschickt, um nach Personen im Gebäude zu suchen.
- AK-06: Die Steuerzentrale schickt eine SMS, E-Mail an die Gebäudeverantwortliche Person, dass ein Notfall losgetreten wurde.
- Ak-07: Eine MQTT-MESSAGE wird empfangen, sobald der Service-Roboter alle Tasks (ToDo's) des Prozesses abgearbeitet hat.

Use Case - Notfall-Evakuierung mit dem Service-Roboter - Ablaufdiagramm



Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Master-Thesis mit dem Thema: „*Konzeption und prototypische Umsetzung einer Steuerzentrale eines smarten Büros mit dem Fokus einer einfachen Handhabung der formalisierten Interaktionen für Softwareentwickler*“ selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlichen oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde noch keiner Kommission zur Prüfung vorgelegt und verletzt in keiner Weise Rechte Dritter.

Ort, Datum

Unterschrift