



# MQTT Device Description

Beschreibung von vernetzten Geräten mit MQTT

**Bachelorthesis**

Studiengang: Informatik  
Autor: Adrian Bärtschi  
Betreuer: Prof. Dr. Ing. Reto E. Koenig  
Experte: Dr. Federico Flueckiger  
Datum: 21.01.2016

## Versionen

Version	Datum	Status	Bemerkungen
0.1	23.08.2015	Entwurf	Dokument erstellt
0.2	05.10.2015	Entwurf	Einleitung, bestehende Ansätze
0.3	27.10.2015	Entwurf	Konzept
0.4	15.11.2015	Entwurf	Projektmanagement
0.5	10.01.2016	Entwurf	Anforderungen
0.6	11.01.2016	Entwurf	Umsetzung, Verifikation
0.7	18.01.2016	Entwurf	Fazit, Review, Abrunden des Dokuments
1.0	21.01.2016	Final	Abgabe

# Management Summary

**Das Netzwerkprotokoll MQTT wird verwendet, um beliebige Geräte mit eingeschränkten Ressourcen zu vernetzen. Der einfache Aufbau des Protokolls macht es jedoch schwierig, die gewünschten Daten eines Gerätes zu erhalten und richtig zu interpretieren. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept für ein einheitliches Format für die Beschreibung von vernetzten Geräten sowie deren Eigenschaften und Fähigkeiten erarbeitet.**

Die Vision des Internet of Things beschreibt, dass in Zukunft viel mehr Alltagsgeräte vernetzt sein werden. Damit diese zahlreichen und kompakt gebauten Geräte trotz eingeschränkter Ressourcen (Speicher, Energie, Netzwerkkapazität) mit dem Internet verbunden werden können, sind neue Netzwerkprotokolle mit einfachem und leichtgewichtigem Aufbau nötig. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport Protocol) ist ein Protokoll, welches für diesen Anwendungszweck entwickelt wurde.

MQTT funktioniert nach dem Publish/Subscribe Prinzip. Der Nachrichtenaustausch erfolgt über einen zentralen MQTT Broker, welcher die Nachrichten des Senders entgegennimmt und an die registrierten Empfänger weiterleitet.

Die Spezifikation des Protokolls macht keine Vorgaben zur Codierung oder Struktur der Nutzdaten einer MQTT Nachricht. Dies und die Entkopplung von Sender und Empfänger durch den Broker führen dazu, dass es für den Empfänger schwer ist, an die gewünschten Nachrichten zu kommen und diese richtig zu interpretieren. Anwendungen, welche bereits auf dem Markt sind, haben jeweils ihre eigenen Datenstrukturen für die Nachrichten definiert, was die verschiedenen Systeme inkompatibel zueinander macht.

Das Ziel der Thesis bestand darin, ein allgemeines Konzept für die Beschreibung von vernetzten Geräten mit MQTT zu entwickeln. Pro Gerät sollte ersichtlich sein, wie man damit interagieren kann und welche Nachrichten es erzeugen und versenden wird. Die Beschreibungssprache sollte für den Menschen gut lesbar sein und gleichzeitig von einem Programm interpretiert werden können. Ausserdem musste das System mit den vorhandenen Funktionen des MQTT Protokolls umgesetzt werden.

Umgesetzt wurde ein System mit einem dafür entworfenen Schema zur Beschreibung von beliebigen vernetzten Sensoren und Aktoren. Dabei werden für jedes Gerät Statusinformationen, zu erwartende Events und die Möglichkeiten zur Steuerung (Commands) ausgewiesen. Anhand eines Prototyps wurden verschiedene Geräte in das System integriert.

Zudem wurde eine Webapplikation entwickelt, welche die Beschreibungen interpretiert und dadurch eine leicht zugängliche Interaktion mit den Geräten ermöglicht.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Management Summary</b>	<b>i</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Projektmanagement</b>	<b>3</b>
2.1. Organisation . . . . .	3
2.2. Ziele . . . . .	3
2.3. Meilensteine . . . . .	3
2.4. Ressourcen . . . . .	4
2.5. Aufwände . . . . .	4
2.6. Termine / Abgabefristen . . . . .	5
2.7. Ablage . . . . .	5
2.8. Reflektion . . . . .	5
<b>3. Technologie</b>	<b>7</b>
3.1. MQTT . . . . .	7
3.2. Bestehende Systeme . . . . .	10
3.3. Datenformate . . . . .	12
3.4. Bestehende Beschreibungssprachen . . . . .	15
<b>4. Konzept</b>	<b>19</b>
4.1. Allgemein . . . . .	19
4.2. Datenformate . . . . .	21
4.3. Hierarchie Topics . . . . .	22
4.4. Abgrenzung . . . . .	23
<b>5. Anforderungen</b>	<b>25</b>
5.1. Use Cases . . . . .	25
5.2. Nicht-funktionale Anforderungen . . . . .	29
<b>6. Spezifikation Device Description</b>	<b>31</b>
6.1. Format . . . . .	31
6.2. Primitive Datentypen . . . . .	31
6.3. Schema . . . . .	31
<b>7. Umsetzung</b>	<b>35</b>
7.1. MQTT Device Description Library . . . . .	35
7.2. Device Browser . . . . .	39
7.3. Anwendung Tinkerforge . . . . .	43

<b>8. Verifikation</b>	<b>47</b>
8.1. Funktionale Anforderungen . . . . .	47
8.2. Nicht-funktionale Anforderungen . . . . .	48
8.3. Verbesserungsmöglichkeiten . . . . .	48
<b>9. Fazit</b>	<b>49</b>
<b>Selbständigkeitserklärung</b>	<b>51</b>
<b>Glossar</b>	<b>53</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>59</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>61</b>
<b>A. Device Descriptions Tinkerforge</b>	<b>61</b>
A.1. Humidity Bricklet . . . . .	61
A.2. Temperatur IR Bricklet . . . . .	62
A.3. Dualbutton Bricklet . . . . .	64

# 1. Einleitung

Bei Systemen im Internet of Things (IoT) Umfeld sind sehr viele und auch unterschiedliche Geräte in einen Netzwerk miteinander verbunden. Für diese Machine-To-Machine Kommunikation werden andere Netzwerkprotokolle eingesetzt als für traditionelle, beispielsweise auf HTTP basierende Internetanwendungen. Dies ist nötig, weil die Geräte stark eingeschränkte Ressourcen haben und die Netzwerke geringe Bandbreiten aufweisen.

MQTT ist ein Protokoll, welches die Anforderungen für IoT Systeme erfüllen soll. Beim Entwurf des Protokolls wurde auf Einfachheit und Leichtgewichtigkeit grossen Wert gelegt. Mit MQTT ist es möglich, fast beliebige Daten in beliebiger Codierung zu versenden. Dies bietet den Entwicklern der Systeme grosse Freiheiten.

Es ist aber ersichtlich, dass die fehlende Struktur und Beschreibung der Daten gewisse Schwierigkeiten mit sich bringt.

Eine Anwendung, welche Nachrichten per MQTT erhalten möchte, muss wissen an welchen Bereich (bei MQTT Topic genannt) die gewünschten Daten vom Absender geschickt werden.

Ist dies einmal bekannt, erhält der Empfänger zwar die gewünschte Nachricht, kann deren Inhalt aber nicht interpretieren.

Beispielsweise wird eine Messung eines Temperatursensors via MQTT versendet. Der Sensor liefert den Wert 22° Celsius. Der ganzzahlige Wert 22 wird als binärer Wert 10110 versendet.

Der Empfänger erhält nun die MQTT Nachricht 10110. Er weiss aber nicht, was mit diesem Wert anzufangen ist. Wird dieser Wert nicht nach dem gleichen Schema interpretiert wie er codiert wurde, so werden Daten erzeugt welche nicht der Ursprungsinformation entsprechen. Der Empfänger müsste wissen, dass es sich um einen Integer Wert (hier 32 bit signed) handelt, damit die Daten in das richtige Format gebracht werden können.

Ausserdem muss der Empfänger jetzt noch wissen, was die Information für eine Bedeutung hat (Semantik). In diesem Beispiel also, dass es sich um einen Temperaturwert in °Celsius handelt.

Die Erzeuger der Daten stellen diese Information den Entwicklern von Anwendungen zurzeit typischerweise in einem Dokument zur Verfügung. Diese sogenannte out-of-band Dokumentation ist aber aufwändig in der Nachführung von Änderungen. Auch ist es schwierig die Struktur der Daten einheitlich und klar zu erklären.





## 2. Projektmanagement

### 2.1. Organisation

Name	Rolle	Aufgaben
<b>Prof. Dr. Ing. Reto E. König</b> <i>Berner Fachhochschule</i>	Betreuer	für Studierenden, verantwortlich für den Ablauf der Thesis. Beurteilung aufgrund von Aufgabenstellung und abgegebenen Artefakten.
<b>Dr. Federico Flueckiger</b> <i>Eidg. Finanzdepartement</i>	Experte	Beurteilung aufgrund der Aufgabenstellung und abgelieferten Artefakten sowie mindestens ein bis zwei Sitzungen mit dem Studierenden.
<b>Adrian Bärtschi</b>	Studierender	Selbständiges Projektmanagement während der Thesis. Setzt die Aufgaben gemäss Aufgabenstellung und Vorgaben des Betreuers um. Organisiert Kommunikation mit dem Betreuer und Experten.

Tabelle 2.1.: Involvierte Personen und deren Aufgaben

### 2.2. Ziele

Die Arbeit umfasst gemäss Aufgabenstellung folgende Ziele:

- Definition einer Beschreibungssprache für vernetzte Geräte.
- Die Beschreibung muss von Menschen und Computern interpretiert werden können.
- Die Beschreibung muss die Eingabe- und Ausgabeparameter der Geräte beinhalten.
- Die Beschreibung soll möglichst die aktuelle MQTT Spezifikation (3.1.1) nicht verletzen.

### 2.3. Meilensteine

Die Aufgabenstellung wurde in Meilensteine aufgeteilt, um eine grobe Planung zu erhalten.

Datum	Meilenstein
25.09.2015	Initialisierung, Vorgehen geklärt
01.10.2015	Ziele definiert
15.10.2015	Einfacher Prototyp erstellt, Konzept der Lösung skizziert
30.11.2015	Spezifikation Device Description festgelegt
15.12.2015	Implementation Demo Applikation abgeschlossen
18.01.2016	Dokumentation inhaltlich abgeschlossen
21.01.2016	Dokumentation fertiggestellt, Präsentation vorbereitet

Tabelle 2.2.: Meilensteine der Thesis

## 2.4. Ressourcen

Die gesamte Thesis umfasst gemäss Modulplan der BFH einen Arbeitsaufwand von 360 Stunden. Dies beinhaltet die Konzeption und Umsetzung der Lösung, Absprachen mit Betreuer und Experte, das Erstellen der Dokumentation und die Vorbereitung der Präsentationen für den Finaltag und die Verteidigung.

Es sind keine Kosten für Softwarelizenzen oder andere Ressourcen angefallen.

## 2.5. Aufwände

Nachfolgend sind die einzelnen einzelnen Tasks der Thesis aufgeführt. Ausserdem werden bei grösseren Differenzen zwischen geplanten und geleisteten Stunden die Gründe dafür angegeben.

Task	Geplant [h]	Ist [h]	Bemerkungen
<b>Projektmanagement</b>			
Kickoff, Initialisierung	8	8	
Ziele definieren	6	8	
Planung Tasks	8	10	
Meetings Betreuer	10	12	
Meetings Experte	4	2	Nur ein Meeting nötig
<b>Umsetzung</b>			
MQTT Device Description Library	32	28	
Tinkerforge Prototyp Java	50	52	
Webapplikation Device Browser	40	42	
<b>Dokumentation</b>			
Setup	4	8	Probleme mit Online Latex Umgebung
Projektmanagement	16	20	
Einleitung, bestehende Umsetzungen	32	30	
Konzept und Anforderungen	16	18	
Spezifikation Device Description	16	12	
Umsetzung	32	36	
Fazit	8	8	
Finalisierung	24	22	
<b>Präsentation</b>			
Poster	8	8	
Book Seite	8	11	Mehrere Reviews, Korrekturen nötig
Präsentation Finaltag	24	18	
Präsentation Verteidigung	14	10	
<b>Total</b>	<b>360</b>	<b>363</b>	

Tabelle 2.3.: Planung der Tasks und Auswertung der geleisteten Stunden

## 2.6. Termine / Abgabefristen

Datum	Beschreibung
04.01.2016	Abgabe elektronische Form des Posters
11.01.2016	Erfassung und Freigabe der Book Seite
21.01.2016	Abgabe Dokumentation an Betreuer, Experte und BFH
22.01.2016	Finaltag Bern, Präsentation und Ausstellung Abgabe Dokumentation gedruckt und Source Code an Sekretariat BFH
01.02.2016	Verteidigung

Tabelle 2.4.: Termine und Fristen

## 2.7. Ablage

Sämtliche Ergebnisse der Thesis sind auf dem Github Repository unter <https://github.com/barta3/ch.bfh.bti7321thesis.mqttSemantics> verfügbar.

## 2.8. Reflektion

Dieser Abschnitt blickt auf das Vorgehen während der Thesis zurück und beschreibt kurz die wichtigsten Eindrücke.

Da die Aufgabenstellung relativ offen formuliert ist, war es zu Beginn der Arbeit schwierig sich vorzustellen wie die Lösung aussehen soll und was sie alles beinhaltet. In dieser Phase haben vor allem die regelmässigen Besprechungen mit Reto König geholfen, um Ideen zu diskutieren und jeweils die nächsten Schritte zu planen.

Aufgrund der geringen Verbreitung und Bekanntheit des MQTT Protokolls sind keine etablierten Lösungen vorhanden, von deren Erfahrungen man profitieren konnte. Dies bot jedoch auch eine grosse Freiheit bei der Gestaltung und Umsetzung der eigenen Lösung.

Beim Entwurf der Device Description und der Umsetzung hat sich gezeigt, dass sich ein iteratives Vorgehen gut eignet. Mit der frühen Entwicklung von Prototypen und ständiger Verbesserung und Anpassung konnte die Aufgabenstellung gut in kleinere Pakete aufgeteilt werden.

Da die eingesetzten Devices von Tinkerforge viele verschiedene Interaktionsmöglichkeiten bieten, konnten nicht alle Funktionen mit der Device Description abgebildet werden. Bei Devices, welche einen spezifischeren Einsatzzweck haben, sollten dann die Device Descriptions auch entsprechend kompakter werden.

Für die Erarbeitung der Dokumentation wurde LaTeX verwendet, basierend auf der Vorlage der BFH. Dies hat sich nach anfänglichen Schwierigkeiten bei der Installation als gute Entscheidung erwiesen. Dank der vordefinierten Formatierung konnte ich mich auf die das Erstellen der Inhalte konzentrieren. Ausserden eignete sich diese Dokumentationsform gut für das eingesetzte Versionskontrollsystem (Git).

Je technischer die Dokumentation wurde, desto umständlicher wurde es, die Inhalte verständlich in Deutscher Sprache zu formulieren. Rückblickend wäre es ev. besser gewesen, das Dokument in Englisch zu verfassen, vor allem um die technischen Begriffe einheitlicher verwenden zu können.



## 3. Technologie

### 3.1. MQTT

*Die folgende Einführung des MQTT Protokolls wurde aus dem Ergebnis des BFH Modul BTI7302 (Projekt 2) von Adrian Bärtschi übernommen.*

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ist ein Netzwerkprotokoll, das sich dank einfachem und leichtgewichtigem Design sehr gut für Geräte mit stark eingeschränkten Ressourcen und Netzwerke mit geringer Bandbreite eignet.

Die erste Version von MQTT wurde 1999 von Dr. Andy Stanford-Clark (IBM) und Arlen Nipper (Arcom) beschrieben und entwickelt. Inzwischen ist MQTT in der Version 3.1.1 verfügbar [7] und wird von OASIS Konsortium (<https://www.oasis-open.org>) standardisiert.

Im OSI Modell ist MQTT auf dem Application Layer eingeordnet, basierend auf dem TCP Stack.

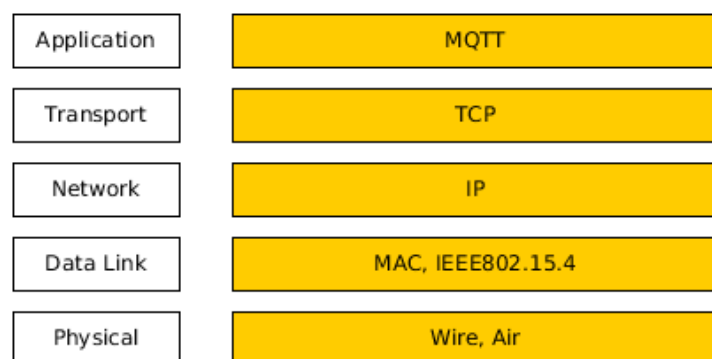


Abbildung 3.1.: MQTT im (vereinfachten) OSI Stack

#### 3.1.1. Publish/Subscribe

MQTT funktioniert nach dem Publish/Subscribe Pattern. Im Gegensatz zum klassischen Client/Server Prinzip registrieren sich die Clients (Subscriber) bei einem Broker für bestimmte Bereiche (Topics), zu denen sie Nachrichten erhalten möchten.

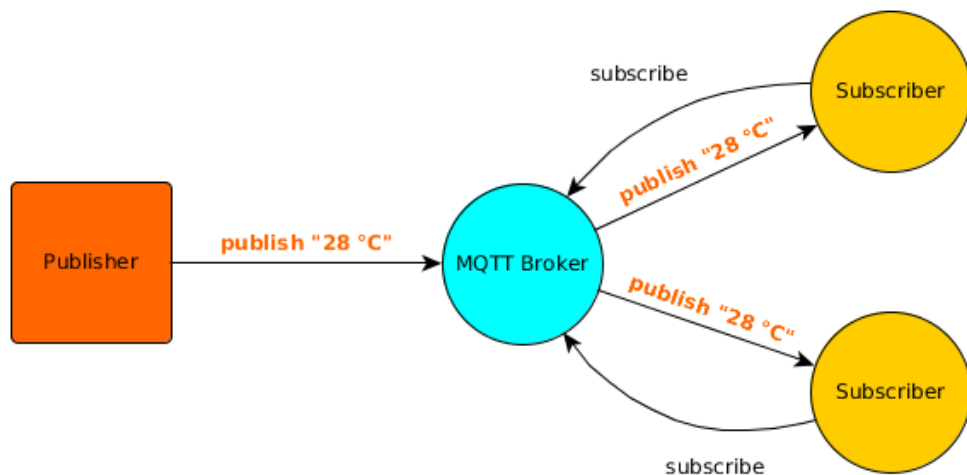


Abbildung 3.2.: Publish/Subscribe Prinzip

Ein Publisher, (z. Bsp. ein Sensor) sendet seine Nachrichten an den Broker. Alle Subscriber, die sich für das entsprechende Topic eingeschrieben haben, erhalten die Nachricht vom Broker.

Diese Entkopplung der Teilnehmer bringt diverse Vorteile mit sich:

- Publisher und Subscriber müssen sich gegenseitig nicht kennen
- Clients können sich beliebig an- und abmelden
- Beim Ausfall eines Teilnehmers sind die anderen nicht blockiert

### 3.1.2. Topics

Jede Nachricht wird an ein bestimmtes Topic gesendet. Grundsätzlich kann jeder Client zu jedem Topic des Brokers Nachrichten veröffentlichen. Die Topics sind hierarchisch aufgebaut, die Ebenen werden durch einen Slash (/) getrennt.

Zum Beispiel könnte ein Thermometer seine Temperatur im Topic `house/livingroom/temperature` veröffentlichen.

Um die Nachrichten zu erhalten, muss sich nun ein anderer Client für dieses Topic einschreiben. Dabei können die Wildcards `+` und `#` verwendet werden.

Das `+` Symbol steht für eine Ebene in der Topic Hierarchie.

Beispiel: `house+/temperature` steht für die Temperaturmeldungen aller Räume des Hauses.

- `house/livingroom/temperature`
- `house/kitchen/temperature`
- `house/bedroom/temperature`
- ...

Mit # werden alle Topics des Unterbaums abonniert. Beispiel: Wenn ein Client das Topic house/# abonniert, erhält dieser alle Meldungen des Hauses.

- house/bedroom/temperature
- house/door/status
- ...

### 3.1.3. Messages

Daten werden als Messages an ein bestimmtes Topic versendet. Eine Message hat folgende Attribute:

Attribut	Beschreibung
Payload	Beliebige Daten im Binärformat. Maximal 256 MB
QoS	Quality of Service 0, 1 oder 2. Details in Kapitel 3.1.4
Retained	Flag, true oder false, Details in Kapitel 3.1.5

Tabelle 3.1.: Aufbau einer MQTT Message

### 3.1.4. Quality of Service

MQTT bietet drei verschiedene QoS Einstellungen für das versenden von Messages.

- 0: Die Message wird einmal versendet, es gibt keine Bestätigung des Empfängers.
- 1: (Standard) Die Message wird mindestens einmal beim Empfänger ankommen. Es wird so lange versucht zu senden, bis eine Bestätigung erhalten wurde.
- 2: Mit einem Handshake Mechanismus wird sichergestellt, dass die Message genau einmal beim Empfänger angekommen ist.

Je höher die QoS Einstellung, desto mehr Ressourcen werden beim versenden benötigt und es desto mehr Daten werden über das Netzwerk gesendet.

### 3.1.5. Retained Messages

Bei einer MQTT Message kann das Retained Flag gesetzt werden. Damit wird pro Topic die letzte Message auf dem Broker gespeichert. Verbindet sich ein neuer Client und abonniert das Topic, erhält er die retained Message sofort. Dies kann nützlich sein bei Anwendungen mit Topics, die sehr lange Pausen zwischen den Messages haben.

### 3.1.6. Last Will

Jeder Client, der sich zum Broker verbindet, kann eine "Last Will" Message angeben. Diese Meldung wird an das gewünschte Topic gesendet, sobald die Verbindung beendet wird.

### 3.1.7. Implementationen

Inzwischen sind zahlreiche Implementationen von sowohl MQTT Brokern, als auch Client Libraries verfügbar.

#### Broker

Name	Beschreibung	URL
Mosquitto	Leichtgewichtiger Open Source Broker geschrieben in C. Zurzeit de-facto standard MQTT Broker.	<a href="http://mosquitto.org/">http://mosquitto.org/</a>
ActiveMQ Apollo	OSS Message Broker, unterstützt neben MQTT noch andere Protokolle. Konfiguration und Administration über Web GUI.	<a href="http://activemq.apache.org/apollo/">http://activemq.apache.org/apollo/</a>
Moquette	OSS Broker Implementation in Java. Kann auch als Library in eigene Projekte eingebunden werden.	<a href="https://github.com/andresel/moquette">https://github.com/andresel/moquette</a>
HiveMQ	Proprietärer MQTT Broker, ausgerichtet für Enterprise Anwendungen.	<a href="http://www.hivemq.com/">http://www.hivemq.com/</a>
Mosca	MQTT Broker für die NodeJS Plattform. Kann als Standalone oder Embedded Broker verwendet werden.	<a href="http://www.mosca.io/">http://www.mosca.io/</a>

**Client Libraries** Das Eclipse Projekt Paho [2] stellt Client Libraries für C, Java, Android, Python, Javascript, C/C++ embedded und .Net / WinRT zur Verfügung. Die Java Library sich als stabil und gut dokumentiert erwiesen.

Eine Liste mit weiteren Client Libraries ist im MQTT Wiki [6] zu finden.

## 3.2. Bestehende Systeme

Die verschiedenen Hersteller von MQTT Anwendungen entwickeln jeweils ihre eigenen Ansätze, um die Daten zu strukturieren.

### 3.2.1. IBM Internet of Things Foundation

IBM hat unter dem Brand 'IBM IoT Foundation' [3] einen Dienst entwickelt, mit dem vernetzte Geräte verwaltet werden können. Als Kommunikationsprotokoll wird MQTT eingesetzt. Die Plattform verwendet unter Anderem folgende konzeptionelle Ideen:

- Devices: Beliebiges vernetztes Gerät. Versendet Events und reagiert auf Commands.
- Applications: Externe Anwendungen, welche mit den Daten der Devices interagieren.
- Events: Daten, welche von den Devices an die Plattform gesendet werden
- Commands: Applications können mittels Commands mit den Devices kommunizieren.



## Events

Events müssen an ein definiertes Topic nach folgendem Schema gesendet werden:

`iot-2/evt/<event_id>/fmt/<format_string>`

Beispiel: `iot-2/evt/temperature_outdoor/fmt/json`

Eine Anwendung, welche Events empfangen möchte, muss sich auf ein Topic in der Form

`iot-2/type/<device_type>/id/<device_id>/evt/<event_id>/fmt/<format_string>` registrieren. Die Teile `device_type`, `device_id`, `event_id` und `format_string` des Topics können auch mit dem Wildcard Charakter '+' ersetzt werden, um jeweils alle Events der Komponenten zu erhalten.

Beispiel: `iot-2/type/temp/id/+/evt/temperature_outdoor/fmt/+`

## Commands

Um einen Command zu erzeugen, sendet eine Anwendung eine MQTT Message mit Topic gemäss folgenden Schema: `iot-2/type/<device_type>/id/<device_id>/cmd/<command_id>/fmt/<format_string>`

Beispiel: `iot-2/type/temp/id/sensor1/cmd/setInterval/fmt/json`

Das Device `sensor1` würde damit eine Message auf Topic `iot-2/cmd/setInterval/fmt/json` erhalten.

## Payload Format

Grundsätzlich unterstützt IBM IoT Foundation ein beliebiges Payload Format. Es wird jedoch empfohlen, JSON zu verwenden. Um alle Funktionen der Plattform nutzen zu können, müssen die JSON Dokumente zusätzlich nach den Vorgaben [5] von IBM strukturiert sein.

```
{
  "d": {
    "host": "IBM700-R9E683D",
    "mem": 54.9,
    "network": {
      "up": 1.22,
      "down": 0.55
    },
    "cpu": 1.3,
  }
}
```

Listing 1: JSON Beispiel im IBM IoT Foundation Payload Format

### 3.2.2. Tinkerforge MQTT Proxy

Tinkerforge hat ein modulares System von Sensoren und Aktoren (so genannte Bricklets) entwickelt, die u. A. für Prototyping und in der Ausbildung (auch an der BFH) eingesetzt werden. Um die Module zu steuern, wird klassischerweise das bereitgestellte Software Development Kit (SDK) in der gewünschten Programmiersprache verwendet. Tinkerforge hat eine Anwendung entwickelt um die Bausteine per MQTT ansprechen zu können [1].

## Topics

Die Tinkerforge Bricklets senden ihre Daten an ein MQTT Topic nach Schema `tinkerforge/<prefix>/<uid>/<suffix>`.

Ein Temperatur Bricklet mit UID xf2 würde also den gemessenen Wert an das Topic `tinkerforge/bricklet/temperature/xf2/temperature` senden.

Die Bricklets reagieren auf Messages die an ein passendes Topic mit Suffix `/set` gesendet werden. Sollen beispielsweise die LEDs des Dualbutton Bricklets mit UID mxg eingeschaltet werden, muss eine Message an das Topic `tinkerforge/bricklet/dual_button/mxg/led_state/set` gesendet werden mit folgendem Payload:

```
{
  "led_l": 2,
  "led_r": 2
}
```

Listing 2: JSON Beispiel Tinkerforge Format

### Payload Format

Die Tinkerforge MQTT Komponente verwendet JSON als Datenformat für die Messages. Jede Message, die von einem Bricklet gesendet wird, enthält unter dem Key `_timestamp` den Zeitpunkt der Erzeugung als UNIX Timestamp.

```
{
  "_timestamp": 1440083842.785104,
  "temperature": 2343
}
```

Listing 3: JSON Beispiel Tinkerforge Format

Die Beschreibung, unter welchen Topics Daten publiziert werden und wie die Bricklets angesprochen werden können, ist in der Dokumentation von Tinkerforge [1] beschrieben.

## 3.3. Datenformate

In diesem Kapitel werden verschiedene Datenformate kurz beschrieben, welche für die Beschreibung der Devices in Frage kommen könnten.

Grundsätzlich muss zwischen textbasierten und binären Formaten unterschieden werden.

Textbasierte Formate bieten den Vorteil, dass sie von Menschen ohne weitere Hilfsmittel gelesen und meistens auch interpretiert werden können. Die textuellen Formate haben jedoch Nachteile, wenn binären Daten (Bilder, Video, Audio etc.) codiert werden sollen. Zwar ist es möglich, die binären Daten in ein textbasiertes Format zu integrieren (beispielsweise mittels Konvertierung zu Base64), dies führt aber zur Aufblähung der Datenmenge.

Binäre Formate haben den Vorteil, dass die Daten bei der Serialisierung dichter codiert werden können, somit werden die Dateien meistens kleiner als bei textbasierten Formaten. Der grosse Nachteil ist, dass man für die Interpretation von binären Daten immer auf eine Beschreibung (in Form eines Schemas) angewiesen ist.

## JSON

JSON ist ein textbasiertes Datenformat, welches verschachtelte Key-Value Paare für die Strukturierung nutzt. Dank dem einfachen Aufbau ist es sehr weit verbreitet und Libraries sind für alle populären Plattformen verfügbar.

```
{
  "firstName": "Max",
  "lastName": "Muster",
  "age": 25,
  "address": {
    "street": "Bundeshaus",
    "plz": "3000",
    "city": "Bern"
  }
}
```

Listing 4: JSON Beispiel

## YAML

YAML ist dem JSON Format sehr ähnlich, ist aber stärker auf Lesbarkeit ausgerichtet. Für die Strukturierung der Daten kann die kompakte Schreibweise mit Leerzeichen verwendet werden. YAML ist ein Superset von JSON, das bedeutet jedes gültige JSON Dokument ist auch ein gültiges YAML Dokument.

```
---
firstName: Max
lastName: Muster
age: 25
address:
  street: Bundeshaus
  postalCode: 3000
  city: Bern
```

Listing 5: YAML Beispiel

## XML

Mit XML werden die Informationen in hierarchische Elemente (Tags) verschachtelt, welche mit Attributen versehen werden können. XML Dokumente werden dadurch rasch sehr gross und haben viel redundante Daten. Häufig werden XML Schemas eingesetzt, um die gewünschte Struktur eines Dokuments und dessen Datentypen zu beschreiben.

```

<person>
  <firstName>Max</firstName>
  <lastName>Muster</lastName>
  <age>25</age>
  <address>
    <street>Bundeshaus</streetAddress>
    <plz>3000</plz>
    <city>Bern</city>
  </address>
</person>

```

Listing 6: XML Beispiel

## Protocol Buffers

Protocol Buffers ist ein Mechanismus zur binären Serialisierung von Daten. Der Entwickler muss ein Schema seiner Datenstrukturen erstellen (.proto Datei).

```

message Person {
  required string firstName = 1;
  required string lastName = 2;
  required int32 age = 3;

  message Address {
    required string street = 1;
    required string plz = 2;
    required string city = 3;
  }

  required Address address = 4;
}

```

Listing 7: Protocol Buffer (v2) Schema Beispiel

```

00000000  0a 03 4d 61 78 12 06 4d 75 73 74 65 72 18 19 22 |..Max..Muster.."|
00000010  18 0a 0a 42 75 6e 64 65 73 68 61 75 73 12 04 33 |...Bundeshaus..3|
00000020  30 30 30 1a 04 42 65 72 6e                                |000..Bern|
00000029

```

Listing 8: Beispiel Protocol Buffer Daten (Output hexdump)

Anschliessend werden mit den bereitgestellten Tools (Protocol Buffer Compiler) Klassen für den Datenzugriff in der gewünschten Sprache generiert. Mit diesen Klassen können nun Daten in ein sehr kompaktes binäres Format codiert und wieder decodiert werden.

### 3.3.1. Vergleich

Bei der Wahl eines geeigneten Datenformats gibt es viele Faktoren, die eine Rolle spielen.

Falls die Dateigrösse der encodierten Daten möglichst gering sein soll, empfiehlt sich ein binäres Format. Bei den oben gezeigten Beispielen beinhalten alle Dateien die gleichen Informationen, bei der Dateigrösse gibt es aber gewichtige Unterschiede:

Protocol Buffer:	41 Byte
YAML:	107 Byte
JSON:	148 Byte
XML:	200 Byte

Für Dateien, welche für Menschen gut lesbar sein sollen, eignet sich aufgrund der Formatierung YAML am besten.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist, dass auf den eingesetzten Plattformen Libraries für das Format zur Verfügung stehen. Da JSON und XML am weitesten verbreitet sind, ist für diese beiden Formaten auch die grösste Auswahl an Libraries zu finden. Für alle vier der hier behandelten Formaten sind inzwischen Libraries für alle gängigen Plattformen verfügbar.

## 3.4. Bestehende Beschreibungssprachen

Es gibt diverse bestehende Sprachen zur Beschreibung von Schnittstellen und Daten. Vor allen bei Webservices werden diese häufig eingesetzt.

### 3.4.1. WSDL

Für die Beschreibung von SOAP Webservices wird eine WSDL Datei verwendet. WSDL ( Web Services Description Language) ist eine auf XML basierende Sprache und beschreibt die Methoden und Datentypen eines Webservice. Das WSDL Schema kann verwendet werden, um daraus Zugriffsklassen zu generieren und für die Validierung der Aufrufe.

```

<definitions name="Demo"
  targetNamespace="http://example.com/demo.wsdl"
  xmlns:tns="http://example.com/demo.wsdl"
  xmlns:xsd1="http://example.com/demo.xsd"
  xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/">

  <types>
    <schema targetNamespace="http://example.com/demo.xsd"
      xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
      <element name="HelloRequest">
        <complexType>
          <all><element name="user" type="string"/></all>
        </complexType>
      </element>
      <element name="HelloResponse">
        <complexType>
          <all><element name="msg" type="String"/></all>
        </complexType>
      </element>
    </schema>
  </types>

  <message name="SayHelloInput">
    <part name="body" element="xsd1:HelloRequest"/>
  </message>

  <message name="SayHelloOutput">
    <part name="body" element="xsd1:HelloResponse"/>
  </message>

  <portType name="DemoPortType">
    <operation name="SayHello">
      <input message="tns:SayHelloInput"/>
      <output message="tns:SayHelloOutput"/>
    </operation>
  </portType>

  <binding name="DemoSoapBinding" type="tns:DemoPortType">
    <soap:binding style="document"
      transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
    <operation name="SayHello">
      <soap:operation soapAction="http://example.com/SayHello"/>
      <input><soap:body use="literal"/></input>
      <output><soap:body use="literal"/></output>
    </operation>
  </binding>

  <service name="DemoService">
    <documentation>My first service</documentation>
    <port name="DemoPort" binding="tns:DemoSoapBinding">
      <soap:address location="http://example.com/demo"/>
    </port>
  </service>

</definitions>

```

Listing 9: Beispiel WSDL eines SOAP Webservice

### 3.4.2. Swagger Spec

Webservices, welche nach dem REST Architekturstil umgesetzt sind, können u.A. mithilfe eines Schemas von Swagger [8] beschrieben werden. Ein Schema in JSON oder YAML gibt an, welche Funktionalität der Webservice zur Verfügung stellt. Mithilfe eines Code Generators können aus dem Schema Zugriffsklassen für den Webservice generiert werden.

```
swagger: "2.0"
info:
  version: "1.0"
  title: "Hello World API"
paths:
  /hello/{user}:
    get:
      description: My first service
      parameters:
        - name: user
          in: path
          type: string
          required: true
          description: The name of the user to greet.
      responses:
        200:
          description: Returns the greeting.
          schema:
            type: string
        400:
          description: Invalid characters in "user" were provided.
```

Listing 10: Beispiel Swagger Beschreibung eines Webservices





## 4. Konzept

Dieses Kapitel beschreibt die konzeptionellen Überlegungen der Lösung. Als erstes werden die grundlegenden Begriffe erklärt, welche in den darauf folgenden Kapiteln verwendet werden. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten und der Aufbau der MQTT Topic Hierarchie werden erläutert.

### 4.1. Allgemein

Um ein Internet of Things (IoT) Systeme zu realisieren, sind viele Komponenten nötig, welche miteinander interagieren müssen. In diesem wird Abschnitt beschrieben, aus welchen Teilen ein solches System besteht und welche Teile die Beschreibung eines Devices enthalten soll.

#### Device

Sensoren und Aktoren werden unter dem Begriff Device zusammengefasst.

#### IoT Gateway

Die einzelnen Devices eines IoT Systems sind an einen Gateway angeschlossen. Dies kann fix per Kabel oder über eine Drahtlosschnittstelle wie z. Bsp. Bluetooth umgesetzt sein. Typischerweise werden Kleincomputer (Single Board Computer) wie ein Raspberry Pi oder Intel Galileo eingesetzt. Diese Geräte zeichnen sich aus durch sehr kompakte Bauform (Kreditkartenformat) und bieten trotzdem genügend Ressourcen um darauf hardwareunabhängige Anwendungen (z. Bsp. Java, Python, Javascript) laufen zu lassen. Ein Gateway führt die Daten der einzelnen Devices zusammen und vereinheitlicht die Formate der Daten. Ausserdem übernimmt er die Kommunikation mit der Aussenwelt, indem er eine Verbindung zum MQTT Broker herstellt.

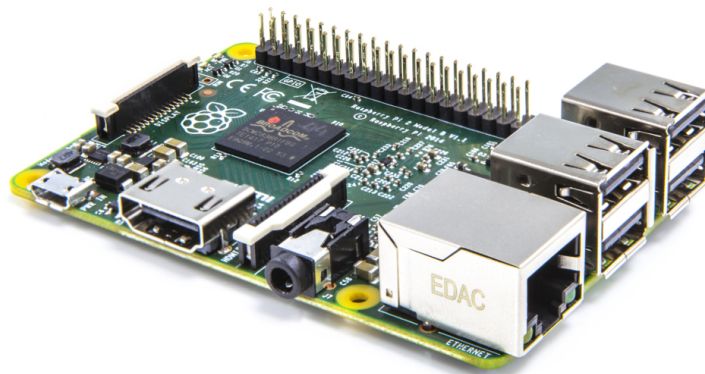


Abbildung 4.1.: Beispiel eines Gateways: Raspberry Pi 2

#### MQTT-Broker

Der Broker ist bei MQTT Anwendungen von zentraler Bedeutung, da alle Daten via Broker zwischen den Teil-

nehmern ausgetauscht werden. Pro System gibt es typischerweise einen Broker. Dieser muss für alle Teilnehmer (Gateways und Applikationen) einfach zu erreichen sein und eine hohe Verfügbarkeit aufweisen.

### **Applikation**

Es können grundsätzlich beliebige Applikationen auf allen gängigen Plattformen und Technologien mit den System kommunizieren. Die einzige Grundbedingung ist, dass die Applikation MQTT fähig ist, was sich durch das Einbinden der entsprechenden Libraries einfach realisieren lässt.

### **Device Description**

Ein Device wird als ganzes mit einem Schema beschrieben. Die Device Description wird als retained MQTT Message beim Start des Devices resp. Gateways an den Broker geschickt.

Eine Device Description enthält folgende Hauptbereiche:

#### **State**

Die Menge aller Eigenschaften des Devices und deren Werte werden als State bezeichnet. Beispielsweise Name, Firmwareversion, etc. Der State eines Devices ist beständig, d.h. solange keine Interaktion stattfindet, verändert sich der State nicht.

#### **Events**

Tritt auf dem Device ein Ereignis ein, wird dadurch ein Event erzeugt. Ein Event wird grundsätzlich vom Device selbst ausgelöst. Beispielsweise erzeugt ein Temperatursensor alle 5 Sekunden ein Event welches den Messwert enthält. Applikationen registrieren sich, um bestimmte Events von den Devices zu erhalten.

#### **Commands**

Eine Applikation interagiert mit einem Device, indem Commands an eines oder mehrere Devices gesendet werden. Die Devices empfangen die Commands und reagieren entsprechend. Ein Command ist bestimmt durch einen Namen und Parameter mit dazugehörigen Werten. Beispielsweise kann bei einem Temperatursensor über einen Command `SetInterval: 10s` der Abstand der Messungen eingestellt werden. Ein Device muss bekanntgeben, auf welche Commands mit welchen Parametern es reagiert.

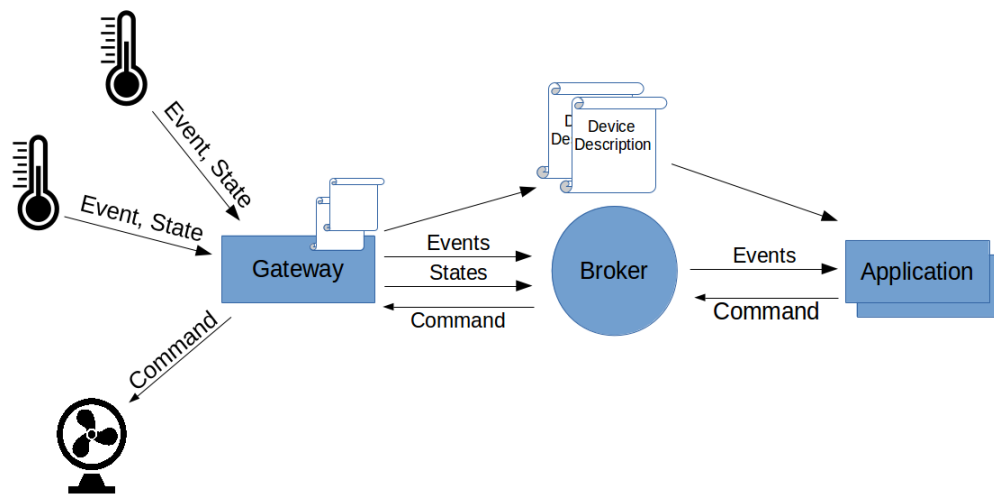


Abbildung 4.2.: Systemübersicht

## 4.2. Datenformate

Das System wird so konzipiert, dass es möglich ist, die Daten in verschiedenen Formaten zu codieren für das Versenden der Messages. Für die Umsetzung wird das Format YAML eingesetzt. Die einfache Lesbarkeit des Formats ist während der Entwicklung bei häufigen Änderungen von grossem Vorteil.

## 4.3. Hierarchie Topics

Die Topic Hierarchie wird nach folgenden Muster aufgebaut:

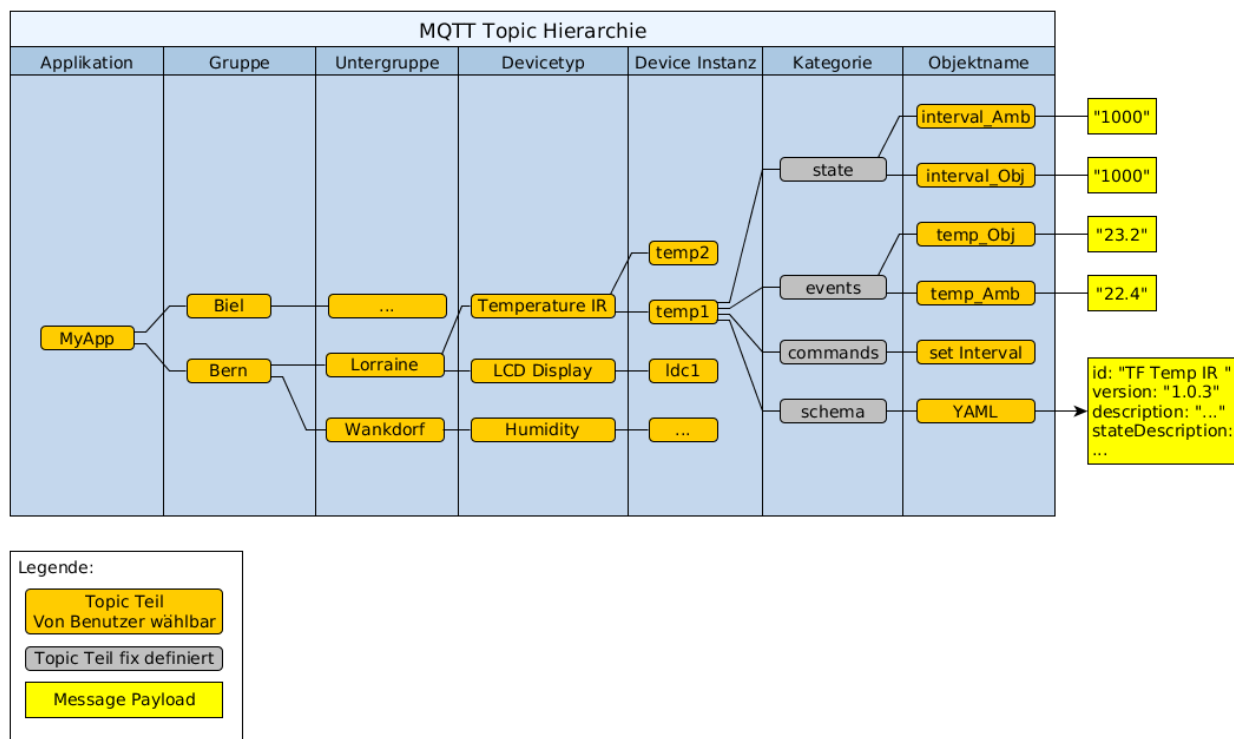


Abbildung 4.3.: Aufbau MQTT Topics mit Beispieldaten

Level	Beschreibung	Beispiel
0	<b>Applikation</b> Identifikation der Anwendung.	thesisDemo
1	<b>Gruppe</b> Gruppierung der Devices auf Stufe 1	Bern
2	<b>Untergruppe</b> Gruppierung der Devices auf Stufe 2	Lorraine
3	<b>Devicetyp</b> Bezeichnung, um was für einen Typ von Sensor oder Aktor es sich handelt.	Temperatursensor
4	<b>Device Instanz</b> Da mehrere Devices vom selben Typ im Einsatz sein können, wird auf dieser Stufe mit einer eindeutigen ID der konkrete Sensor resp. Aktor angegeben.	temp1
5	<b>Kategorisierung Devicedaten</b> Die Eigenschaften und Daten werden in die nachfolgenden Teile aufgegliedert.	state, events, commands, schema
6	<b>Objektname</b> Name es State, Events oder Commands	temp_Obj
6	<b>Schema Format</b> Als Unterobjekt von 'schema', wird hier das Format des Schemas angegeben	YAML, JSON

Tabelle 4.1.: Topic Hierarchie

## **4.4. Abgrenzung**

### **4.4.1. Security**

Betrachtungen zum Thema Security werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Es wird davon ausgegangen, dass alle Teilnehmer des Systems dazu berechtigt sind und innerhalb des Systems nur Nachrichtenaustausch nach dem beschriebenen Konzept stattfindet.

### **4.4.2. Optimierungen Datenmenge**

Bei der Strukturierung der Device Topic Hierarchie und dem Format der Payload Daten (Schema, State, etc.) ist im Rahmen dieser Arbeit Verständlichkeit und Übersichtlichkeit höher priorisiert als die Optimierung auf möglichst geringe Datenmengen.



# 5. Anforderungen

## 5.1. Use Cases

Die funktionalen Anforderungen werden in diesem Kapitel mit Use Cases beschrieben.

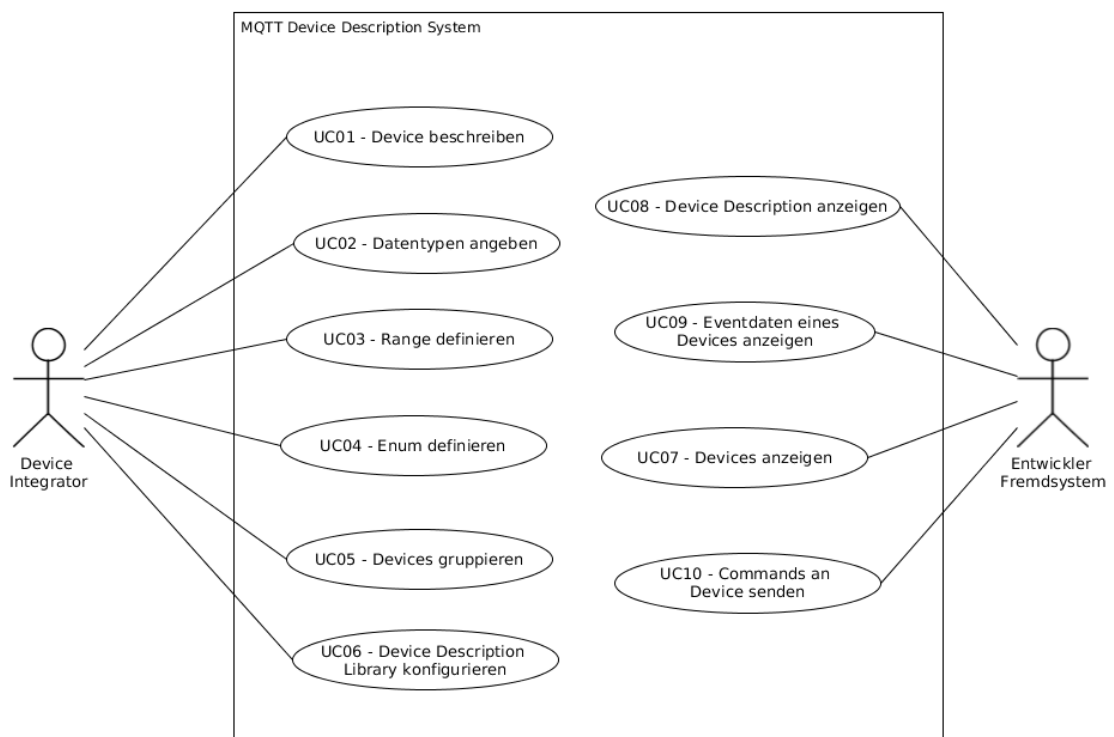


Abbildung 5.1.: Use Case Diagramm

### Aktoren

In den Use Case Beschreibungen werden die folgenden Aktoren als Benutzer des Systems verwendet:

Device Integrator: Erstellt die Descriptions für seine Devices und integriert die MQTT Device Description Library.

Entwickler Fremdsystem: Möchte eine Applikation entwickeln, welche mit den Devices interagiert.

### 5.1.1. UC01 - Device beschreiben

<b>Use Case ID</b>	UC01 - Device beschreiben
<b>Beschreibung</b>	In einem Schema müssen die Metadaten der Status- Event- und Commandinformationen aufgeführt werden können.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Device Description wird erstellt
<b>Vorbedingungen</b>	Funktionalität des Devices ist bekannt
<b>Ablauf</b>	1. Benutzer erstellt Beschreibung des Device mit der Java MQTT Device Description Library oder manuell 2. Die Anwendung published die Description des Devices als retained MQTT Message.
<b>Nachbedingungen</b>	Die Device Description ist auf dem MQTT Broker hinterlegt und kann abgefragt werden.

Tabelle 5.1.: UC01: Beschreibung Device

### 5.1.2. UC02 - Datentypen angeben

<b>Use Case ID</b>	UC02 - Datentypen angeben
<b>Beschreibung</b>	Für die State- Event- und Commandangaben muss definiert werden können, welche Datentypen die Werte aufweisen.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Device Description wird erstellt.
<b>Vorbedingungen</b>	API für das Ansprechen des Devices ist bekannt.
<b>Ablauf</b>	Benutzer definiert in der Device Description für die State-, Event- und Commandobjekte die Datentypen.
<b>Nachbedingungen</b>	Die Datentypen der Description Objekte sind im Schema integriert.

Tabelle 5.2.: UC02: Angabe Datentypen

### 5.1.3. UC03 - Range definieren

<b>Use Case ID</b>	UC03 - Range definieren
<b>Beschreibung</b>	Bei der Beschreibung eines Datentypen muss angegeben werden können, in welchem Bereich (Minimum, Maximum) der Wert sein kann.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Device Description wird erstellt.
<b>Vorbedingungen</b>	Datentyp und Range des Wertes ist bekannt.
<b>Ablauf</b>	Benutzer definiert zu einem Datentypen den Range, in dem der Wert liegen kann.
<b>Nachbedingungen</b>	Datentyp ist mit der Range Information ergänzt.

Tabelle 5.3.: UC03: Definition Range



#### 5.1.4. UC04 - Enum definieren

<b>Use Case ID</b>	UC04 - Enum definieren
<b>Beschreibung</b>	Es muss möglich sein, einen Datentypen als Auswahl aus einer fixen Liste (Enum) zu definieren.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Device Description wird erstellt.
<b>Vorbedingungen</b>	Benutzer möchte Datentyp als Auswahl einer festen Liste abbilden.
<b>Ablauf</b>	Benutzer definiert für einen Datentypen die Liste der möglichen Werte.
<b>Nachbedingungen</b>	In der Device Description sind alle möglichen Werte als Auswahl angegeben, welche der Datentyp annehmen kann.

Tabelle 5.4.: UC04: Definition Enum

#### 5.1.5. UC05 - Devices gruppieren

<b>Use Case ID</b>	UC05 - Devices gruppieren
<b>Beschreibung</b>	Die Devices müssen so in die Topic Hierarchie eingegliedert werden, dass sie benutzerdefiniert gruppiert werden können.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Descriptions der Devices werden published.
<b>Vorbedingungen</b>	Devices sind bereit und Descriptions wurden erstellt.
<b>Ablauf</b>	1. Benutzer definiert die Attribute für die Gruppierung der Devices (Gruppe, Untergruppe, Device Typ) mit der Java MQTT Device Description Library. 2. MQTT Device Description Library erzeugt aus den Gruppierungsattributen der Devices die Topics für das publishing der Daten und Descriptions.
<b>Nachbedingungen</b>	Die Devices sind nach den Anforderungen des Benutzers gruppiert.

Tabelle 5.5.: UC05: Gruppierung Devices

#### 5.1.6. UC06 - Device Description Library konfigurieren

<b>Use Case ID</b>	UC06 - Device Description Library konfigurieren
<b>Beschreibung</b>	Die Device Description Library muss so aufgebaut sein, dass Optionen wie das Format des Schemas oder die Broker URL konfigurierbar sind.
<b>Aktor</b>	Device Integrator
<b>Auslöser</b>	Library wird initialisiert.
<b>Vorbedingungen</b>	Angaben für die Konfiguration sind bekannt.
<b>Ablauf</b>	Bei der Initialisierung der Library werden die Angaben für Applikations Id, Broker URL, Schema Format, etc. gesetzt.
<b>Nachbedingungen</b>	Library ist initialisiert und bereit für die Verwendung.

Tabelle 5.6.: UC06: Konfiguration Device Description Library

### 5.1.7. UC07 - Devices anzeigen

<b>Use Case ID</b>	UC07 - Devices anzeigen
<b>Beschreibung</b>	Es muss möglich sein, in einer Weboberfläche eine Liste mit den registrierten Devices anzuzeigen.
<b>Aktor</b>	Entwickler Fremdsystem
<b>Auslöser</b>	Webapplikation zur Anzeige der Devices wird geöffnet.
<b>Vorbedingungen</b>	Device Descriptions wurden published.
<b>Ablauf</b>	1. Benutzer öffnet Webapplikation zur Anzeige der Devices. 2. Webapplikation verbindet sich auf MQTT Broker und empfängt die hinterlegten Device Descriptions. 3. Webapplikation stellt die gefundenen Devices in einer Liste dar.
<b>Nachbedingungen</b>	Der Benutzer hat eine Übersicht über die vorhandenen Devices.

Tabelle 5.7.: UC07: Anzeige Devices

### 5.1.8. UC08 - Device Description anzeigen

<b>Use Case ID</b>	UC08 - Device Description anzeigen
<b>Beschreibung</b>	Es muss möglich sein, in einer Weboberfläche zu einem Device die Description anzuzeigen.
<b>Aktor</b>	Entwickler Fremdsystem
<b>Auslöser</b>	Der Benutzer will Description eines Devices einsehen.
<b>Vorbedingungen</b>	Mindestens eine Device Description ist vorhanden und wird in der Weboberfläche angezeigt (UC07)
<b>Ablauf</b>	1. Benutzer wählt gewünschten Device aus der Liste. 2. Webapplikation zeigt die Description des Devices im Klartext an. 3. Webapplikation interpretiert die Description und erstellt eine übersichtliche Darstellung für den Benutzer
<b>Nachbedingungen</b>	Device Description wird als Klartext und in interpretierter Form angezeigt.

Tabelle 5.8.: UC08: Anzeige Device Description

### 5.1.9. UC09 - Eventdaten eines Devices anzeigen

<b>Use Case ID</b>	UC09 - Eventdaten eines Devices anzeigen
<b>Beschreibung</b>	Es muss möglich sein, in der Weboberfläche die Daten der Events anzuzeigen, welche das Device erzeugt.
<b>Aktor</b>	Entwickler Fremdsystem
<b>Auslöser</b>	Der Benutzer möchte die Daten eines Events anzeigen.
<b>Vorbedingungen</b>	Der Benutzer hat ein Device gewählt (UC08). Devicedescription hat mindestens ein Event. Device ist online und versendet Events.
<b>Ablauf</b>	1. Der Benutzer sucht im Bereich 'Events' den gewünschten Eintrag und registriert sich für den Empfang der Eventdaten. 2. Die Webapplikation stellt eine Verbindung zum Broker her und empfängt die gewünschten Events. 3. Die Webapplikation zeigt die empfangenen Daten dem Benutzer an.
<b>Nachbedingungen</b>	Der Benutzer sieht die Eventdaten des Devices.

Tabelle 5.9.: UC09: Anzeige Eventdaten eines Devices

### 5.1.10. UC10 - Commands an Device senden

<b>Use Case ID</b>	UC10 - Commands an Device senden
<b>Beschreibung</b>	Es muss möglich sein, in der Weboberfläche einen Command an ein Device zu senden.
<b>Aktor</b>	Entwickler Fremdsystem
<b>Auslöser</b>	Der Benutzer möchte einen Command ein Device senden.
<b>Vorbedingungen</b>	Der Benutzer hat ein Device gewählt (UC08). Das Device hat reagiert auf mindestens einen Command und weist dies in der Description aus. Device ist online und kann den Command empfangen.
<b>Ablauf</b>	1. Der Benutzer sucht im Bereich 'Commands' den gewünschten Eintrag und gibt den Inhalt der Command Nachricht an. 2. Der Benutzer löst das Versenden des Commands aus. 3. Die Webapplikation leitet den Command an den MQTT Broker weiter. 4. Das Device empfängt den Command und reagiert entsprechend. 5. Falls durch den Command der State des Devices geändert hat, wird der State neu published.
<b>Nachbedingungen</b>	Das Device hat den Command empfangen und darauf reagiert.

Tabelle 5.10.: UC10: Versenden eines Commands

## 5.2. Nicht-funktionale Anforderungen

### 5.2.1. Erweiterbarkeit Devices

Die Lösung soll so gestaltet sein, dass es möglich ist Devices von unterschiedlichen Herstellern einzubinden.

### 5.2.2. Erweiterbarkeit Datenformate

Die Lösung soll so gestaltet sein, dass es möglich ist, verschiedene Datenformate für die Beschreibungen und Nutzdaten der Devices zu verwenden.

### 5.2.3. Einfache Verwendung

Das System soll für den Anwender einfach zu installieren und zu konfigurieren sein.

### 5.2.4. Kompatibilität

Die Lösung soll so gestaltet sein, dass es von allen MQTT fähigen Applikationen genutzt werden kann, unabhängig davon ob die bereitgestellte Device Description Library genutzt wird.



## 6. Spezifikation Device Description

Dieses Kapitel beschreibt schematisch, wie eine einzelne Device Description aufgebaut ist und aus welchen Elementen sie besteht.

### 6.1. Format

Die Description wird als UTF-8 String im Payload der MQTT Message versendet. Als Datenformat kann JSON oder YAML verwendet werden. Gross- und Kleinschreibung der Descriptions wird berücksichtigt.

### 6.2. Primitive Datentypen

Die Device Description ist als verschachteltes Objekt aufgebaut. Die Werte der Attribute können entweder ein weiteres Objekt oder einen der folgenden primitiven Datentypen enthalten.

Die Definition der primitiven Datentypen orientiert sich an den Datentypen von Java. [4]

Datentyp	Beschreibung	Minimum	Maximum
Integer	32 Bit ganzzahlig, signed	$-2^{31}$	$2^{31}-1$
Long	64 Bit ganzzahlig, signed	$-2^{63}$	$2^{63}-1$
Float	32-bit IEEE 754 floating point, single-precision	$1.4 \times 10^{-45}$	$3.4028235 \times 10^{38}$
Double	64-bit IEEE 754 floating point, double-precision	$4.9 \times 10^{-324}$	$7976931348623157 \times 10^{308}$
String	UTF-8 String		

Tabelle 6.1.: Primitive Datentypen

### 6.3. Schema

Nachfolgend werden die Felder der Device Description aufgeführt. Bei Pflichtfeldern ist der Feldname kursiv formatiert.

### 6.3.1. DeviceDescription Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>id</i>	String	Identifikation des Devices
<i>version</i>	String	API Version des Devices
<i>description</i>	String	Allgemeine Beschreibung des Devices
<i>stateDescription</i>	StateDescription	
<i>eventDescription</i>	EventDescription	
<i>commandDescription</i>	CommandDescription	
<i>complexTypes</i>	Liste ComplexTypes	

Tabelle 6.2.: DeviceDescription Objekt Schema

### 6.3.2. StateDescription Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>states</i>	Liste State	Auflistung von State Objekten

Tabelle 6.3.: StateDescription Objekt Schema

#### State Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>name</i>	String	Bezeichnung des State Eintrages. Wird gleichzeitig als Subtopic für den eigentlichen Wert genutzt.
<i>range</i>	Range	Information zum Wert des State.
<i>options</i>	Enum	Wird verwendet, falls der State Wert eine Auswahl aus einer fixen Menge ist.
<i>complexTypeRef</i>	String	Falls der Wert des State mit einem komplexen Typen abgebildet wird, wird mit diesem Feld der Name des Typs angegeben.
<i>description</i>	String	Allgemeine Beschreibung des State.

Tabelle 6.4.: State Objekt Schema

### 6.3.3. EventDescription Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>events</i>	Liste Event	Auflistung von Event Objekten

Tabelle 6.5.: EventDescription Objekt Schema

## Event Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>name</i>	String	Name des Events. Wird als Subtopic verwendet, auf dem das Event verschickt wird.
<i>range</i>	Range	Typinformationen und ev. Einschränkungen, welche den Wert des Events beschreiben
<i>options</i>	Enum	Wird verwendet, falls der Event Wert eine Auswahl aus einer fixen Menge ist.
<i>description</i>	String	Beschreibung des Events
<i>complexTypeRef</i>	String	Falls der Wert des Events mit einem komplexen Typen abgebildet wird, wird mit diesem Feld der Name des Typs angegeben.

Tabelle 6.6.: Event Objekt Schema

### 6.3.4. CommandDescription Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>commands</i>	Liste Command	Auflistung von Command Objekten

Tabelle 6.7.: CommandDescription Objekt Schema

## Command Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>name</i>	String	Name des Commands. Subtopic, an welches der Command gesendet werden muss.
<i>linkedState</i>	String	Gibt an, welcher State durch das Senden des Commands beeinflusst werden kann.
<i>description</i>	String	Beschreibung, was mit dem Command ausgelöst werden kann.
<i>parameter</i>	Map Parameter	Map mit Parameter Objekten. Key ist der Name des Parameters, die der Value ist entweder ein Range, Enum, oder ComplexType Objekt.

Tabelle 6.8.: Command Objekt Schema

### 6.3.5. Range Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>type</i>	String	Angabe des primitiven Datentypen
<i>min</i>	gleich wie type	Minimaler Wert des Bereiches
<i>max</i>	gleich wie type	Minimaler Wert des Bereiches

Tabelle 6.9.: Range Objekt Schema

### 6.3.6. Enum Objekt

Feld	Datentyp	Beschreibung
<i>values</i>	Liste von primitiven Typen	Liste mit den möglichen Werten

Tabelle 6.10.: Enum Objekt Schema





## 7. Umsetzung

Die Umsetzung hatte drei Module als Ergebnis. Als erstes wurde eine wiederverwendbare Java Library entwickelt, welche genutzt werden kann, um Devices in das beschriebene Konzept zu integrieren. Der zweite Baustein ist eine Webapplikation, beschrieben im Abschnitt 7.2, mit der die Device Descriptions interpretiert werden. Im Abschnitt 7.3 wird die Umsetzung eines Prototypen mit Tinkerforge Sensoren und Aktoren beschrieben.

### 7.1. MQTT Device Description Library

Um die Integration von Devices und das Erstellen von Device Description zu vereinfachen, wird eine Java Library entwickelt. Damit ist es möglich, Anwendungen für IoT Gateways in Java zu entwickeln.

Die Library übernimmt folgende Aufgaben:

- Handling der MQTT Verbindung zum Broker
- Versenden von Event- und State Informationen mittels MQTT Messages
- Empfangen von Command Messages
- Einheitliche Abbildung der Devices und Topics
- Hilfsklassen zur Erstellung der Device Descriptions

Die Parameter der Library (MQTT Broker URL, Application ID, etc.) können vom Anwender der Library konfiguriert werden.

### 7.1.1. Klassendiagramm

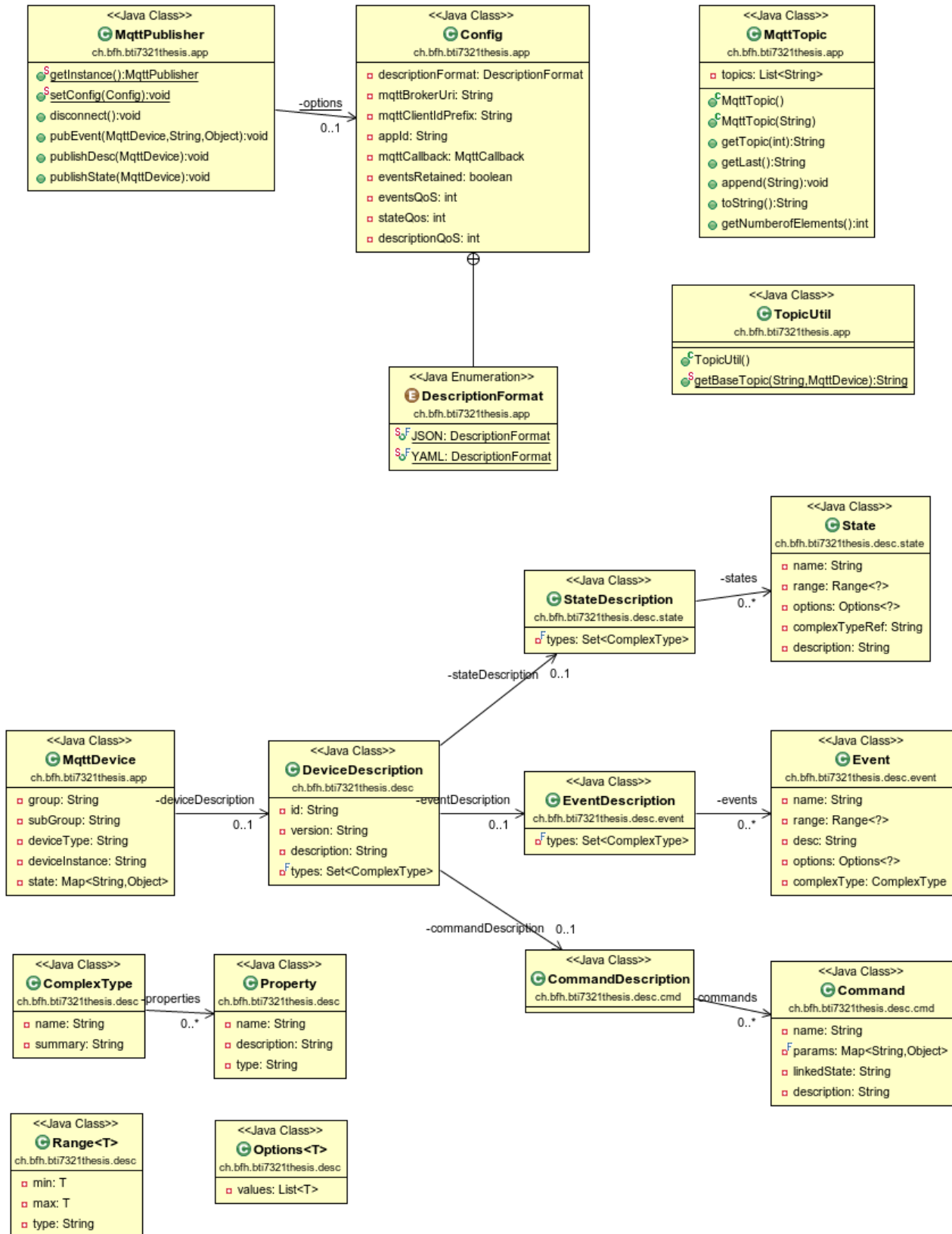


Abbildung 7.1.: Klassendiagramm MQTT Device Description Library

Klasse	Zweck
MqttPublisher	Hauptklasse der Library. wird verwendet für das versenden der MQTT Nachrichten.
Config	Wird verwendet, um bei der Initialisierung von MqttPublisher die Konfiguration abzugeben
DescriptionFormat	Enum mit der Angaben zu den möglichen Formaten der Device Description.
MqttTopic	Hilfsklasse die Abbildung von MQTT Topics.
TopicUtil	Hilfsklasse für die Erstellung von MQTT Topics.
MqttDevice	Klasse für die Abbildung von Devices.
DeviceDescription	Enthält alle Attribute der Device Description.

Tabelle 7.1.: Beschreibung der Klassen

### 7.1.2. Verwendung

Die Device Description Library muss als erstes im eigenen Java Projekt eingebunden werden. Dies kann manuell mit der generierten .jar Datei (ch.bfh.barta3.mqttdevicedescription-1.0.0.jar) oder als Dependency Deklaration eines Maven Projektes getan werden.

```
<dependency>
  <groupId>ch.bfh.barta3.mqttdevicedescription</groupId>
  <artifactId>ch.bfh.barta3.mqttdevicedescription</artifactId>
  <version>1.0.0</version>
</dependency>
```

Listing 11: Maven Dependency MQTT Device Description Library

Als erstes muss die Konfiguration erstellt und an die Klasse MqttPublisher übergeben werden. Danach muss das Device inklusive Description erstellt werden. Sobald dies erfolgt ist, ist kann die Library beginnen, Daten zu versenden und reagiert auf empfangene Commands.

```

...

// Define Config
Config options = new Config();
options.setMqttBrokerUri("tcp://iot.eclipse.org:1883");
options.setAppId("myApp");
options.setMqttCallback(new MyCallbackHandler());
MqttPublisher.setConfig(options);

// Create Device and Description
MqttDevice device = new MqttDevice("Bern", "Wankdorf", "Temp", "t1");
device.setDeviceDescription(new DeviceDescription("test", "1.0"));
...

// Start publishing
MqttPublisher.getInstance().publishDesc(device);
MqttPublisher.getInstance().pubEvent(device, "event", "22");
...

```

Listing 12: Einfaches Beispiel für die Verwendung der Library

## Konfiguration

Über das Config Objekt wird die Library konfiguriert. Für die als Pflichtfeld aufgeführten Parameter müssen Werte angegeben werden, ansonsten wird bei der ersten Verwendung eine entsprechende Exception ausgelöst. Die optionalen Parameter erhalten bei keiner Angabe des Anwenders den angegebenen Standardwert.

Parameter	Beschreibung
mqttBrokerUri	Pflichtfeld. URI des MQTT Brokers (inkl. Protokoll und Port) Beispiel: tcp://iot.eclipse.org:1883
mqttClientIdPrefix	Präfix für die ClientIds der MQTT Connections. Es werden zwei Connections aufgebaut. Für das Publishing eine mit ClientId [mqttClientIdPrefix]_pub und eine zweite Connection für das Empfangen von Messages mit ClientId [mqttClientIdPrefix]_sub Falls kein Wert angegeben wird, wird eine zufälliges Präfix generiert.
appld	Pflichtfeld. Identifikation der Applikation.
mqttCallback	Pflichtfeld. Implementation des Interfaces org.eclipse.paho.client.mqttv3.MqttCallback. Wird aufgerufen, wenn die Devices einen Command erhalten.
eventsRetained	true / false. Gibt an, ob die Event Messages mit Retained Flag versendet werden sollen. Standard: true
descriptionFormat	Format der Device Description. Mögliche Werte: YAML, JSON. Standard: YAML
eventsQoS	Gibt an, mit welcher QoS die Event Messages versendet werden sollen (0, 1, 2). Standard: 1
stateQoS	Gibt an, mit welcher QoS die State Messages versendet werden sollen (0, 1, 2). Standard: 1
descriptionQoS	Gibt an, mit welcher QoS die Description Messages versendet werden sollen (0, 1, 2). Standard: 1

Tabelle 7.2.: Konfigurationsoptionen der Library

### 7.1.3. Verwendete Komponenten

Für die Umsetzung der MQTT Device Description Library wurden folgende Fremdkomponenten integriert:

Komponente	Beschreibung
Eclipse Paho	MQTT Client Implementation <a href="http://www.eclipse.org/paho">http://www.eclipse.org/paho</a>
Jackson JSON Processor	JSON Serialisierung und Parsing <a href="http://wiki.fasterxml.com/JacksonHome">http://wiki.fasterxml.com/JacksonHome</a>
Jackson Modul YAML	Erweiterung der Jackson Library für das YAML Datenformat <a href="https://github.com/FasterXML/jackson-dataformat-yaml">https://github.com/FasterXML/jackson-dataformat-yaml</a>

Tabelle 7.3.: Externe Komponenten

## 7.2. Device Browser

Mit der entwickelten Webapplikation lassen sich die Device Descriptions übersichtlich darstellen. Die Applikation ist als reine Clientanwendung in Javascript umgesetzt. Die Anwendung zeigt die auf einem Broker publizierten Devices in einer Liste an. Zu einem Device kann der Benutzer sich die Device Description im Klartext anzeigen lassen. Die Device Description wird interpretiert und unterteilt in die verschiedenen Bereiche werden die Attribute angezeigt.

The screenshot displays the MQTT Device Browser web application. At the top, there are three tabs: "MQTT Device Description", "Device Browser" (which is active), and "Topic Tree". Below the tabs is a table listing devices:

Application	Group	Subgroup	Device Type	Device ID
thesis	X1-Carbon	tfstack2	Temperature IR Bricklet	qC1
thesis	X1-Carbon	tfstack2	Humidity Bricklet	qSG
thesis	X1-Carbon	localhost	Joystick Bricklet	hEc
thesis	X1-Carbon	localhost	Dual Button Bricklet	mxg

Below the table, the selected device "qC1" is shown in detail. The left pane displays the raw YAML description, and the right pane shows a structured view of the device information.

**Raw Description (Left Pane):**

```
---
id: "IoT - Temperature IR Bricklet"
version: "0.0.1"
description: "The Temperature IR Bricklet is equipped with a
infrared thermometer.\
  \ It can extend the features of a Brick with the
capability of contactless temperature\
  \ measurement.\nYou can read out object temperature and
ambient temperature in °\
  C. \nIt is possible to define the emissivity of the object
you want to measure (most\
  \ infrared thermometers can't do this) . \nWith
configurable events it is possible\
  \ to react on changing temperatures without polling.\n"
stateDescription:
  states:
    - name: "AmbientTemperatureInterval"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Integer"
      description: "The period in ms with which the ambient
temperature is measured.\
        \ A value of 0 means no measurement."
    - name: "ObjectTemperatureInterval"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Integer"
      description: "The period in ms with which the object
temperature is measured.\
        \ A value of 0 means no measurement."
```

**Structured View (Right Pane):**

- Info**
  - Id:** IoT - Temperature IR Bricklet
  - Version:** 0.0.1
  - Description:** The Temperature IR Bricklet is equipped with a infrared thermometer. It can extend the features of a Brick with the capability of contactless temperature measurement. You can read out object temperature and ambient temperature in °C. It is possible to define the emissivity of the object you want to measure (most infrared thermometers can't do this) . With configurable events it is possible to react on changing temperatures without polling.
- State**
  - AmbientTemperatureInterval**

The period in ms with which the ambient temperature is measured. A value of 0 means no measurement.

Value:

    - Type: Integer
    - Min: 0
    - Max: 9223372036854776000
  - ObjectTemperatureInterval**

The period in ms with which the object temperature is measured. A value of 0 means no measurement.

Value:

    - Type: Integer
    - Min: 0
    - Max: 9223372036854776000

At the bottom of the right pane, a "Topic" field shows the selected topic: `thesis/X1-Carbon/tfstack2/Temperature IR Bricklet/qC1/state/AmbientT`.

Abbildung 7.2.: Screenshot Device Browser

## Bereich State

Die State Objekte werden mit Beschreibung und den Typangaben angezeigt. Zudem wird das Topic ausgegeben, auf welchem die entsprechenden State Informationen publiziert wurden.

## Bereich Events

Events

**ObjectTemp**  
Measured with IR sensor in Celsius  
Value:

- Type: Double
- Min: -70
- Max: 380

Topicthesis/X1-Carbon/tfstack2/Temperature IR Bricklet/qC1/events/ObjectT

Unsubscribe20.7

**AmbientTemp**  
Ambient temperature in Celsius  
Value:

- Type: Double
- Min: -40
- Max: 125

Topicthesis/X1-Carbon/tfstack2/Temperature IR Bricklet/qC1/events/Ambien

Subscribe

Abbildung 7.3.: Device Browser Event Darstellung

Die Event Informationen werden mit Name, Beschreibung und Angaben zum Typ angezeigt. Pro Event wird das Topic ausgegeben. Mit dem Betätigen der Schaltfläche 'Subscribe' verbindet sich die Webapplikation auf das Topic des Events und zeigt die empfangenen Daten im Textfeld an. Mit einem erneuten Klick auf die Schaltfläche wird die Verbindung beendet.

## Bereich Commands

The screenshot shows a 'Commands' section with a dropdown arrow. It contains two command entries:

**setAmbientTemperatureCallbackPeriod**  
Linked state: AmbientTemperatureCallbackPeriod  
Parameter: CallbackPeriod  
Expects:  
• Type: Long  
• Min: 0  
• Max: 9223372036854776000

Topic: thesis/X1-Carbon/tfstack2/Temperature IR Bricklet/qC1/commands/set

[Input field] [Send]

**setObjectTemperatureCallbackPeriod**  
Linked state: ObjectTemperatureCallbackPeriod  
Parameter: CallbackPeriod  
Expects:  
• Type: Long  
• Min: 0  
• Max: 9223372036854776000

Topic: thesis/X1-Carbon/tfstack2/Temperature IR Bricklet/qC1/commands/set

[Input field] [Send]

Abbildung 7.4.: Device Browser Command Darstellung

Für die Command Objekte der Device Description werden nebst Name, Beschreibung und den erwarteten Typinformationen auch das Topic angezeigt, auf welches der Command gesendet werden muss. Es steht ein Eingabefeld zur Verfügung, in welchem der Payload der MQTT Message eingegeben werden kann. Mit dem Betätigen der Schaltfläche 'Send' wird der Command an das selektierte Device gesendet.

## Bereich Complex Types

The screenshot shows a 'Complex\_Types' section with a dropdown arrow. It contains one complex type entry:

**TemperatureCallbackThreshold**  
Properties:  
• option: String  
• min: Short  
• max: Short

Abbildung 7.5.: Device Browser Complex Type Darstellung

Falls das Schema Complex Types beinhaltet, werden diese hier aufgelistet. Für jeden Complex Type wird der Name

und eine Liste der Properties (Attribute) aufgeführt.

### Topic Tree

Als zweiter Teil der Webapplikation ist die Darstellung aller MQTT Topics des konfigurierten Brokers eingebunden. Dafür wurde die Applikation 'd3-MQTT-Topic-Tree' von Ben Hardill (<https://github.com/hardillb/d3-MQTT-Topic-Tree>) verwendet.

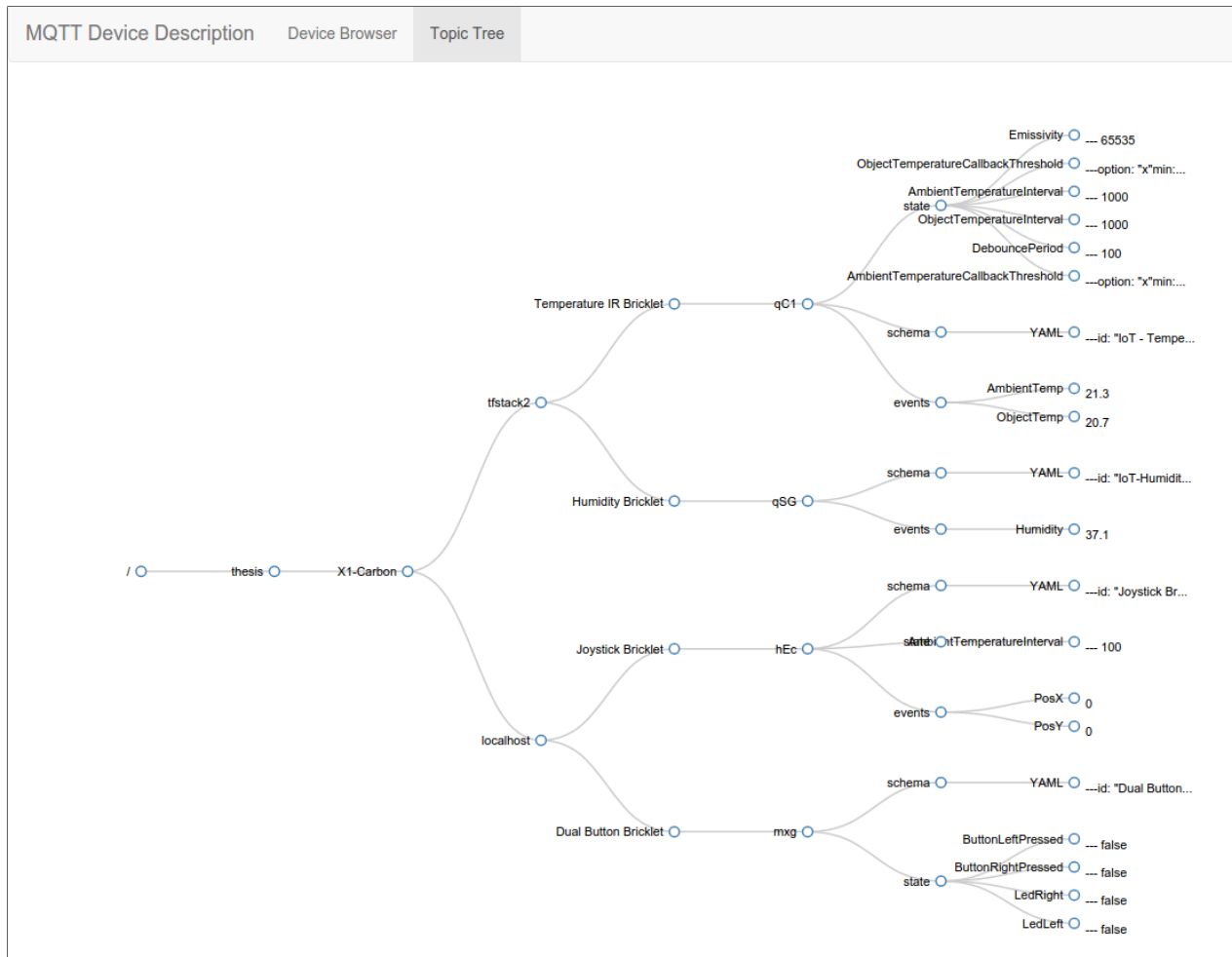


Abbildung 7.6.: MQTT Topic Tree

Vor allen während der Entwicklung und dem Einbinden von neuen Devices hat sich diese Darstellung als sehr hilfreich erwiesen.

### 7.2.1. Installation und Konfiguration

Der MQTT Broker, auf den die Webapplikation zugreift, muss per Websockets erreichbar sein. Dafür eignet sich zum Beispiel der Mosquitto Broker. Während der Entwicklung der Applikationen wurde eine Mosquitto Installation mithilfe eines vorbereiteten Docker Images (<https://hub.docker.com/r/toke/mosquitto/>) durchgeführt und für sämtliche Tests verwendet.

Um die Webapplikation verwenden zu können, muss lediglich der Inhalt des Verzeichnisses `ch.bfh.bti7321thesis.schemabrowser` des Source Codes auf einen Webserver kopiert und die Datei `js/app/config.js`



angepasst werden.

```
host = '46.101.165.125'; // hostname or IP address of broker
port = 9001;             // Websocket Port of broker
descFormat = 'YAML';     // YAML or JSON
```

Listing 13: Beispiel Konfiguration Device Browser

## 7.3. Anwendung Tinkerforge

Um die MQTT Device Description Library an einem konkreten Beispiel zu testen, wurden verschiedene Bausteine des Tinkerforge Systems verwendet. Die Tinkerforge Bausteine (auch Bricklets genannt) haben den Vorteil, dass sie einfach zu verwenden sind und es bereits Libraries für die Kommunikation mit der Hardware gibt. Das Ziel der Anwendung war es zu demonstrieren, dass es möglich ist konkrete Devices mit dem entwickelten Konzept resp. der Device Description Library zu beschreiben und eine Interaktion von ausserhalb per MQTT zu ermöglichen.

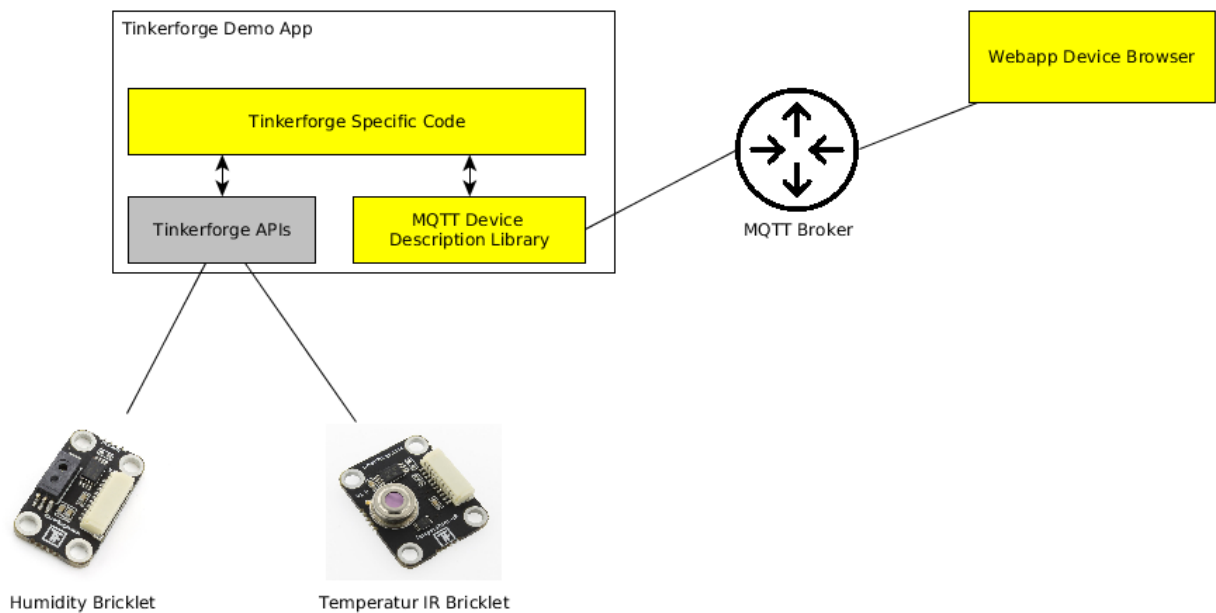


Abbildung 7.7.: Aufbau der Tinkerforge Anwendung

Folgende Sensoren resp. Aktoren wurden für die Integration ausgewählt:

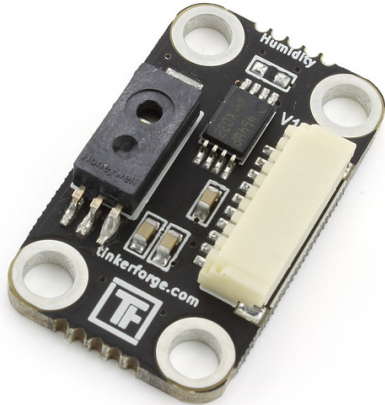
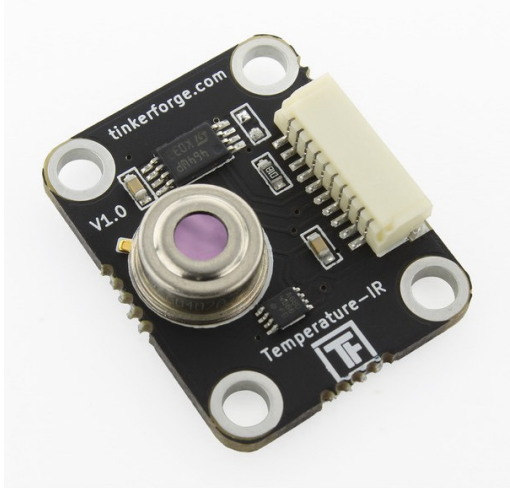
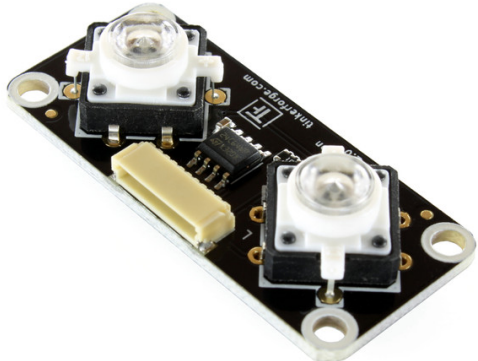
Device	Beschreibung	Bild
Sensor Luftfeuchtigkeit	<p>Misst die relative Luftfeuchtigkeit.</p> <p>Mehr Informationen:  <a href="http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Humidity.html">http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Humidity.html</a> </p>	 <p>A black rectangular Tinkerforge Humidity sensor bricklet. It features a white 5-pin header on the right side, a small black sensor component, and the Tinkerforge logo (TF) on the bottom left. The word 'Humidity' is printed in white at the top right.</p>
Sensor Temperatur Infrarot	<p>Besteht aus einem Temperatursensor für die Umgebung und einem Infrarotsensor für die Messung der Objekttemperatur.</p> <p>Mehr Informationen:  <a href="http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Temperature_IR.html">http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Temperature_IR.html</a> </p>	 <p>A black rectangular Tinkerforge Temperature-IR sensor bricklet. It features a white 5-pin header on the right side, a large circular infrared sensor lens in the center, and the Tinkerforge logo (TF) on the bottom right. The text 'Temperature-IR' and 'V1.0' are printed on the board.</p>
Dual Button	<p>Besteht aus zwei Buttons, welche je ein LED integriert haben.</p> <p>Mehr Informationen:  <a href="http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Dual_Button.html">http://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Dual_Button.html</a> </p>	 <p>A black rectangular Tinkerforge Dual Button bricklet. It features two white push buttons with integrated LEDs, one at the top and one at the bottom. A white 5-pin header is located on the left side. The Tinkerforge logo (TF) is visible on the board.</p>

Tabelle 7.4.: Verwendeten Tinkerforge Komponenten

Quelle Bilder: <http://www.tinkerforge.com/en/doc/index.html>

### 7.3.1. Klassendiagramm

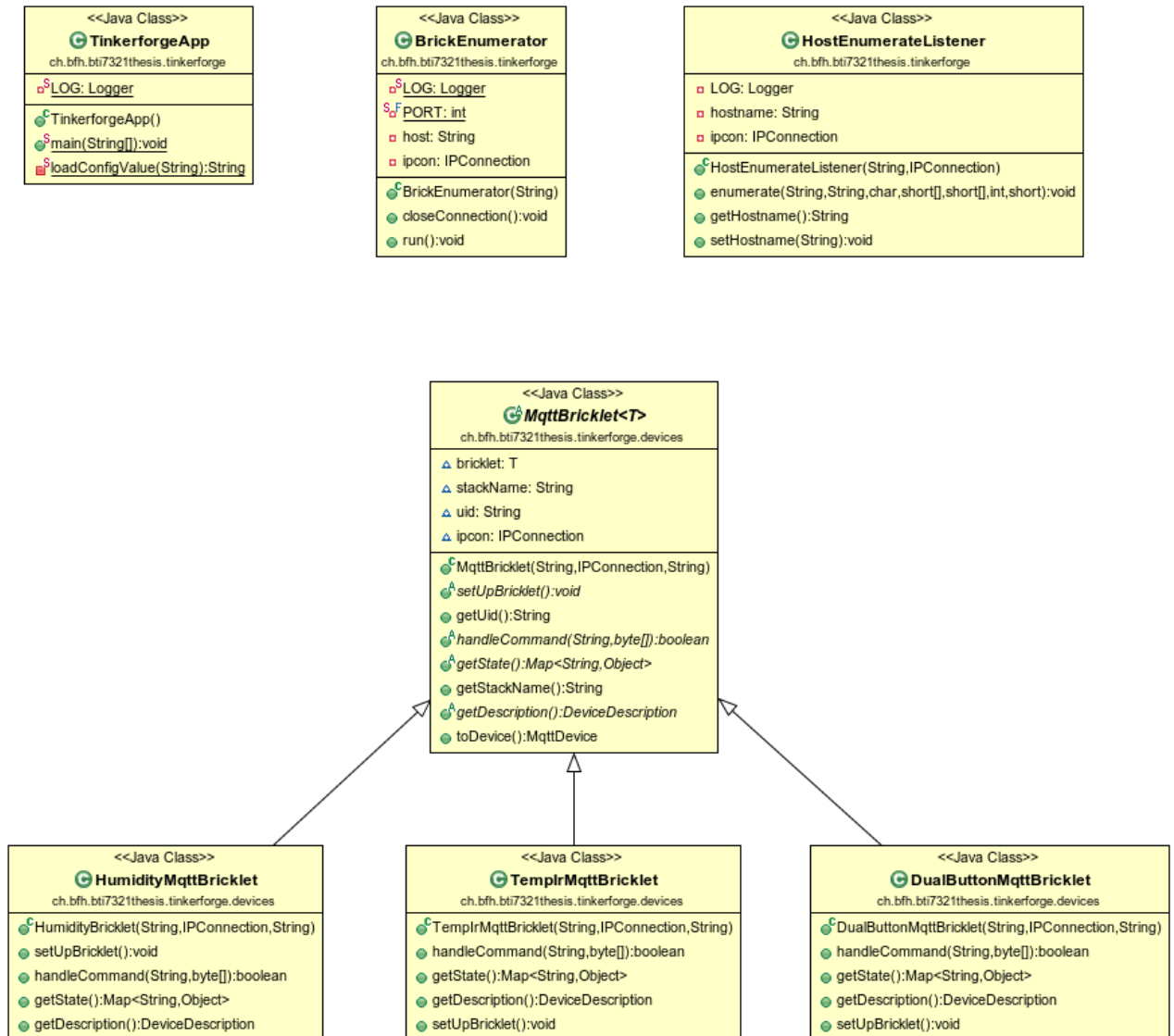


Abbildung 7.8.: Klassendiagramm Tinkerforge Anwendung

Klasse	Zweck
TinkerforgeApp	Start der Applikation, Einlesen der Konfiguration, Setup der MQTT Device Description Library.
BrickEnumerator	Thread, welcher für jeden angegebenen Tinkerforge Stack die Devices (Bricklets) sucht.
HostEnumerateListener	Empfängt die gefundenen Tinkerforge Devices und erstellt die entsprechenden Mqtt-Bricklets
MqttBricklet	Abstrakte Oberklasse für die konkreten Bricklet Implementationen. Definiert die abstrakten Methoden <code>setUpBricklet()</code> , <code>getState()</code> , <code>handleCommand(...)</code> , und <code>getDescription()</code> , welche von den Subklassen implementiert werden. Mit der Methode <code>toDevice()</code> wird eine Instant der Klasse <code>MqttDevice</code> erzeugt, welche die Subklassen verwenden um z. Bsp. Events zu versenden.
HumidityMqttBricklet	Implementation für das Humidity Bricklet.
TemplrMqttBricklet	Implementation für das Temperatur IR Bricklet.
DualButtonMqttBricklet	Implementation für das Dual Button Bricklet.

Tabelle 7.5.: Beschreibung der wichtigsten Klassen

### 7.3.2. Device Descriptions

Die Device Descriptions der drei behandelten Devices sind im Anhang A zu finden.

## 8. Verifikation

### 8.1. Funktionale Anforderungen

Anhand der definierten Use Cases wird getestet, ob die funktionalen Anforderungen erfüllt sind.

Use Case	Bewertung	Ergebnis
UC01 - Device beschreiben	Entwickeltes Schema enthält die geforderten Angaben.	OK
UC02 - Datentypen angeben	Die Beschreibungsobjekte können mit Datentypen versehen werden.	OK
UC03 - Range definieren	Die Datentypen können mit Ranges eingeschränkt werden.	OK
UC04 - Enum definieren	Die Beschreibung unterstützt Datentypen mit fixen Auswahllisten	OK
UC05 - Devices gruppieren	Die Devices können auf verschiedenen Stufen gruppiert werden.	OK
UC06 - Device Description Library konfigurieren	Die Library ist so aufgebaut, dass Konfigurationsparameter gesetzt werden können.	OK
UC07 - Devices anzeigen	Devices werden in der Webapplikation angezeigt.	OK
UC08 - Device Description anzeigen	Description eines Devices wird in Klartext und in interpretierter Form in der Webapplikation angezeigt.	OK
UC09 - Eventdaten eines Devices anzeigen	Der Benutzer kann sich über die Webapplikation Eventdaten anzeigen lassen.	OK
UC10 - Commands an Device senden	Der Benutzer kann über die Webapplikation Commands erfassen und an die Devices senden.	OK

Tabelle 8.1.: Verifikation funktionale Anforderungen

## 8.2. Nicht-funktionale Anforderungen

Anforderung	Bewertung	Ergebnis
Erweiterbarkeit Devices	Mit der Modularisierung der Device Description Library ist die Abgrenzung zu den konkreten Umsetzungen sichergestellt.	OK
Erweiterbarkeit Datenformate	Durch den gewählten Aufbau der Topic Hierarchie ist es möglich, verschiedene Formate für die Device Description zu verwenden.	OK
Einfache Installation	Die Device Description Library kann als Maven Modul in bestehenden Anwendungen integriert werden. Die Webapplikation kann ohne Abhängigkeiten installiert werden, die Konfiguration ist zentral definiert.	OK
Kompatibilität	Die entwickelte Lösung basiert auf dem bestehenden MQTT Protokoll und ist somit kompatibel für die Anbindung an beliebigen Applikationen auf Basis von MQTT.	OK

Tabelle 8.2.: Verifikation nicht-funktionale Anforderungen

## 8.3. Verbesserungsmöglichkeiten

Während der Umsetzung und dem Test des Systems wurden die folgenden drei Hauptpunkte identifiziert, bei denen das grösste Verbesserungspotenzial vorliegt.

### 8.3.1. Device Description: Darstellung Typen

Bei der Darstellung der Device Description war die grösste Schwierigkeit die Abbildung von Typinformationen. Die aktuelle Lösung mit drei verschiedenen Möglichkeiten zur Beschreibung von Typen (Range, Enum und Complex-Type) sollte vereinfacht werden.

### 8.3.2. Description Library: Integration Deserialisierung

In der aktuellen Implementation der MQTT Device Description Library werden die Payload Daten der empfangenen Commands als Byte Array an den Aufrufer der Library geliefert. Da die Library das Schema des empfangenen Commands kennt, würde es Sinn machen, die Deserialisierung der Daten in die Library zu integrieren und somit dem Aufrufer das erstellte Objekte zu übergeben.

### 8.3.3. Device Description an Devicetyp anhängen

In der Hierarchie der MQTT Topics ist die Device Description momentan einer Device Instanz untergeordnet. Bei vielen Devices in der selben Gruppierung vom gleichen Typ würde dies zu Redundanz und unnötig grossen Datenmengen führen, da die gleiche Device Description für jede Instanz versendet würde. Um dies zu optimieren, müsste die Device Description unterhalb des Devicetyps in die Schema Hierarchie eingegliedert werden. Mit diesem Ansatz wäre pro Devicetyp nur noch das Versenden von einer Device Description nötig.

## 9. Fazit

Es hat sich gezeigt, dass allgemein bei MQTT Anwendungen zwei Hauptschwierigkeiten auftreten. Zum einen gibt es keinen Mechanismus für die Angabe resp. das Finden (Discovery) der Topics auf dem Broker. Der zweite Punkt ist die fehlende Struktur der Message Payloads.

Diese Grundprobleme treten auch beim Einsatz von MQTT für vernetzte Geräte in Erscheinung. Als Ergebnis der Arbeit ist ein Konzept entstanden, welches mithilfe einer definierten Topic Struktur und einem Schema für die Device Description einen möglichen Lösungsweg aufzeigt. Die Umsetzung eines Prototyps hat gezeigt, dass das Konzept grundsätzlich funktionstüchtig ist, jedoch noch Potenzial für Verbesserungen aufweist.

Als nächster Schritt wäre es interessant zu sehen, wie gut sich die entwickelten Ideen für einen konkreten Anwendungsfall aus der Praxis eignen und welche Anpassungen dafür ev. noch gemacht werden müssten.

Es gilt zu beachten, dass das Thema Internet of Things noch neu und stark in Bewegung ist. Ob sich ein einheitliches Konzept für die Beschreibung von Devices per MQTT einmal durchsetzen wird, ist momentan schwer abzuschätzen. Obwohl der Wunsch nach einheitlichen Schnittstellen vorhanden ist, gibt es zurzeit wenig Anzeichen, dass sich ein Standard etablieren wird.





# Selbständigkeitserklärung

Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich meine vorliegende Bachelor-Thesis selbständig durchgeführt habe. Alle Informationsquellen (Fachliteratur, Besprechungen mit Fachleuten, usw.) und anderen Hilfsmittel, die wesentlich zu meiner Arbeit beigetragen haben, sind in meinem Arbeitsbericht im Anhang vollständig aufgeführt. Sämtliche Inhalte, die nicht von mir stammen, sind mit dem genauen Hinweis auf ihre Quelle gekennzeichnet.

Ort, Datum:                      Bern, 21.01.2016

Namen Vornamen:              Bärtschi Adrian

Unterschrift:                      .....



# Glossar

**API** Application Program Interface.

**Base64** Verfahren zur Codierung von Binärdaten in eine Zeichenfolge <https://tools.ietf.org/html/rfc3548>.

**IEEE 754** IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4610933>.

**IoT** Internet of Things.

**JSON** JavaScript Object Notation; Kompaktes, textbasiertes Datenformat <https://tools.ietf.org/html/rfc7159>.

**MQTT** Message Queue Telemetry Transport.

**QoS** Quality of Service.

**REST** Representational state transfer. Architekturstil für Webservices.

**SDK** Software Development Kit.

**Serialisierung** Strukturierte Daten (Objekte) in sequenzielle Form bringen zur Persistierung oder Netzwerkübertragung.

**SOAP** Simple Object Access Protocol <https://www.w3.org/TR/soap12/>.

**UID** Unique Identifier.

**UTF-8** Character Encoding für Unicode <https://tools.ietf.org/html/rfc3629>.

**WSDL** Web Services Description Language <https://www.w3.org/TR/wsdl20/>.

**XML** Extensible Markup Language <https://www.w3.org/TR/2006/REC-xml11-20060816/>.

**YAML** YAML Ain't Markup Language; Gut lesbares, textbasiertes Datenformat <http://www.yaml.org/spec/1.2/spec.html>.



# Literaturverzeichnis

- [1] Brick MQTT Proxy – Tinkerforge. Accessed: 2015-11-02. [Online]. Available: [http://www.tinkerforge.com/en/doc/Software/Brick\\_MQTT\\_Proxy.html](http://www.tinkerforge.com/en/doc/Software/Brick_MQTT_Proxy.html)
- [2] Eclipse Paho Projekt. Accessed: 2015-11-15. [Online]. Available: <http://www.eclipse.org/paho/>
- [3] IBM Internet of Things Foundation. Accessed: 2015-11-02. [Online]. Available: <https://internetofthings.ibmcloud.com>
- [4] Java Language Specification, Primitive Types and Values. Accessed: 2016-01-18. [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se7/html/jls-4.html#jls-4.2>
- [5] Message Payload — IBM IOT Foundation 1.0 documentation. Accessed: 2015-11-02. [Online]. Available: <https://docs.internetofthings.ibmcloud.com/messaging/payload.html>
- [6] MQTT Client Libraries. Accessed: 2015-11-01. [Online]. Available: <https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki/libraries>
- [7] MQTT Specification Version 3.1.1. Accessed: 2015-11-02. [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
- [8] Swagger Spec. Accessed: 2016-01-17. [Online]. Available: <http://swagger.io/specification/>



# Abbildungsverzeichnis

3.1. MQTT im (vereinfachten) OSI Stack . . . . .	7
3.2. Publish/Subscribe Prinzip . . . . .	8
4.1. Beispiel eines Gateways: Raspberry Pi 2 . . . . .	19
4.2. Systemübersicht . . . . .	21
4.3. Aufbau MQTT Topics mit Beispieldaten . . . . .	22
5.1. Use Case Diagramm . . . . .	25
7.1. Klassendiagramm MQTT Device Description Library . . . . .	36
7.2. Screenshot Device Browser . . . . .	39
7.3. Device Browser Event Darstellung . . . . .	40
7.4. Device Browser Command Darstellung . . . . .	41
7.5. Device Browser Complex Type Darstellung . . . . .	41
7.6. MQTT Topic Tree . . . . .	42
7.7. Aufbau der Tinkerforge Anwendung . . . . .	43
7.8. Klassendiagramm Tinkerforge Anwendung . . . . .	45





# Tabellenverzeichnis

2.1. Involvierte Personen und deren Aufgaben . . . . .	3
2.2. Meilensteine der Thesis . . . . .	3
2.3. Planung der Tasks und Auswertung der geleisteten Stunden . . . . .	4
2.4. Termine und Fristen . . . . .	5
3.1. Aufbau einer MQTT Message . . . . .	9
4.1. Topic Hierarchie . . . . .	22
5.1. UC01: Beschreibung Device . . . . .	26
5.2. UC02: Angabe Datentypen . . . . .	26
5.3. UC03: Definition Range . . . . .	26
5.4. UC04: Definition Enum . . . . .	27
5.5. UC05: Gruppierung Devices . . . . .	27
5.6. UC06: Konfiguration Device Description Library . . . . .	27
5.7. UC07: Anzeige Devices . . . . .	28
5.8. UC08: Anzeige Device Description . . . . .	28
5.9. UC09: Anzeige Eventdaten eines Devices . . . . .	28
5.10. UC10: Versenden eines Commands . . . . .	29
6.1. Primitive Datentypen . . . . .	31
6.2. DeviceDescription Objekt Schema . . . . .	32
6.3. StateDescription Objekt Schema . . . . .	32
6.4. State Objekt Schema . . . . .	32
6.5. EventDescription Objekt Schema . . . . .	32
6.6. Event Objekt Schema . . . . .	33
6.7. CommandDescription Objekt Schema . . . . .	33
6.8. Command Objekt Schema . . . . .	33
6.9. Range Objekt Schema . . . . .	33
6.10. Enum Objekt Schema . . . . .	33
7.1. Beschreibung der Klassen . . . . .	37
7.2. Konfigurationsoptionen der Library . . . . .	38
7.3. Externe Komponenten . . . . .	39
7.4. Verwendeten Tinkerforge Komponenten . . . . .	44
7.5. Beschreibung der wichtigsten Klassen . . . . .	46
8.1. Verifikation funktionale Anforderungen . . . . .	47

8.2. Verifikation nicht-funktionale Anforderungen . . . . .	48
---	----

## A. Device Descriptions Tinkerforge

### A.1. Humidity Bricklet

```
---
id: "IoT-Humidity Bricklet"
version: "0.0.1"
description: "The Humidity Bricklet can be used to measure relative humidity.
 \ The measured humidity can be read out directly in percent, no conversions
 \ are necessary, with configurable interval"
stateDescription:
  states:
    - name: "HumidityInterval"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
      description: "Interval of the measurements in ms."
eventDescription:
  events:
    - name: "Humidity"
      range:
        min: 0.0
        max: 100.0
        type: "Double"
      description: "Relative Humidity in percent"
commandDescription:
  commands:
    - name: "SetInterval"
      linkedState: "HumidityInterval"
      description: "Set the measurement interval, 0 disables the measurements"
      parameter:
        Interval:
          min: 0
          max: 9223372036854775807
          type: "Long"
  complexTypes: []
```

Listing 14: YAML Device Description Humidity Bricklet

## A.2. Temperatur IR Bricklet

```
---
id: "IoT - Temperature IR Bricklet"
version: "0.0.1"
stateDescription:
  states:
    - name: "AmbientTemperatureInterval"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
      description: "Time in ms"
    - name: "ObjectTemperatureInterval"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
      description: "Interval of the object measurements"
    - name: "DebouncePeriod"
      range:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
      description: "Debounce Period"
    - name: "Emissivity"
      range:
        min: 6553
        max: 65535
        type: "Integer"
      description: "Emissivity"
    - name: "AmbientTemperatureCallbackThreshold"
      complexTypeRef: "TemperatureCallbackThreshold"
      description: "Theshold object for the ambient temperature"
    - name: "ObjectTemperatureCallbackThreshold"
      complexTypeRef: "TemperatureCallbackThreshold"
      description: "Theshold object for the object temperature"
  eventDescription:
    events:
      - name: "ObjectTemp"
        range:
          min: -70.0
          max: 380.0
          type: "Double"
```

```

    description: "Measured with IR sensor in Celsius"
  - name: "AmbientTemp"
    range:
      min: -40.0
      max: 125.0
      type: "Double"
    description: "Ambient temperature in Celsius"
commandDescription:
  commands:
  - name: "setAmbientTemperatureCallbackPeriod"
    linkedState: "AmbientTemperatureCallbackPeriod"
    parameter:
      CallbackPeriod:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
  - name: "setObjectTemperatureCallbackPeriod"
    linkedState: "ObjectTemperatureCallbackPeriod"
    parameter:
      CallbackPeriod:
        min: 0
        max: 9223372036854775807
        type: "Long"
  - name: "setEmissivity"
    linkedState: "Emissivity"
    parameter:
      Emissivity:
        min: 6553
        max: 65535
        type: "Integer"
  - name: "setAmbientTemperatureCallbackThreshold"
    parameter:
      Threshold: "TemperatureCallbackThreshold"
complexTypes:
  - name: "TemperatureCallbackThreshold"
    properties:
  - name: "option"
    description: "'x' :Listener is turned off
      \ 'o': Listener is triggered when the ambient temperature is outside
      \ the min and max values
      \ 'i': Listener is triggered when the ambient temperature is inside
      \ the min and max values
      \ '<': Listener is triggered when the ambient temperature is smaller
      \ than the min value (max is ignored)

```

```

    \ '>' Listener is triggered when the ambient temperature is greater
    \ than the min value (max is ignored)"
  type: "String"
- name: "min"
  description: "Minimal Value"
  type: "Short"
- name: "max"
  description: "Maximal Value"
  type: "Short"

```

Listing 15: YAML Device Description Temperatur IR Bricklet

### A.3. Dualbutton Bricklet

```

---
id: "Dual Button Bricklet"
version: "0.0.1"
stateDescription:
  states:
  - name: "ButtonLeftPressed"
    options:
      values:
      - true
      - false
      type: "Boolean"
      description: "Left Button presses (true) or releases (false)"
  - name: "ButtonRightPressed"
    options:
      values:
      - true
      - false
      type: "Boolean"
      description: "Right Button presses (true) or releases (false)"
  - name: "LedLeft"
    options:
      values:
      - true
      - false
      type: "Boolean"
      description: "Left LED on (true) or off (false)"
  - name: "LedRight"
    options:

```

```

    values:
      - true
      - false
    type: "Boolean"
    description: "Right LED on (true) or off (false)"
eventDescription:
  events:
    - name: "ButtonL"
      options:
        values:
          - "Pressed"
          - "Released"
        type: "String"
      description: "State of the left button"
    - name: "ButtonR"
      options:
        values:
          - "Pressed"
          - "Released"
        type: "String"
      description: "State of the right button"
commandDescription:
  commands:
    - name: "setLedL"
      parameter:
        state:
          values:
            - 2
            - 3
          type: "Short"
    - name: "setLedR"
      parameter:
        state:
          values:
            - 2
            - 3
          type: "Short"
  complexTypes: []

```

Listing 16: YAML Device Description Dual Button Bricklet