



---

Bachelorarbeit

**Entwicklung eines Frameworks  
zur Darstellung von  
Smartphone-Sensordaten für die  
didaktische Unterstützung von  
Programmiervorlesungen**

---

Marius Cerwenetz

Abschlussarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| Vorgelegt von | Marius Cerwenetz              |
| am            | XX. Juli 2022                 |
| Referent      | Prof. Dr. Peter Barth         |
| Korreferent   | Prof. Dr. Jens-Matthias Bohli |

## **Schriftliche Versicherung laut Studien- und Prüfungsordnung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mannheim, XX. Juli 2022

---

Marius Cerwenetz

## **Zusammenfassung**

Programmierenlernen fällt besonders am Anfang schwer. Embeddedprojekte erlauben mit vergleichsweise wenig Aufwand einen gelungen Einstieg mit effektiver Lernerfahrung. Solche Projekte benötigen allerdings viel Peripherie und Hardware. Diese benötigt wiederum eine nicht niedrigschwellige Erfahrung zum Beispiel im Umgang mit Microcontrollern. Smartphones haben diese Nachteile nicht, bieten allerdings trotzdem einen hohen Umfang an Sensoren.

In dieser Arbeit wird ein Framework erstellt, dass das Smartphone nutzt um mit dem Microcontroller kleine Softwareprojekte umzusetzen. Kleine Aufgabenstellungen mit Musterlösungen werden ausgearbeitet und mitgereicht.

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>                            | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Aufgabenstellungen</b>                    | <b>5</b>  |
| 2.1      | Aufgaben . . . . .                           | 5         |
| 2.2      | API . . . . .                                | 6         |
| 2.3      | Android Anwendung . . . . .                  | 8         |
| 2.4      | Softwareanforderungen . . . . .              | 8         |
| 2.4.1    | Sensordaten-Funktionen . . . . .             | 8         |
| 2.4.2    | Auslösende Funktionen . . . . .              | 9         |
| <b>3</b> | <b>Architektur</b>                           | <b>10</b> |
| 3.1      | Nachrichtenablauf . . . . .                  | 13        |
| 3.2      | Verwendete Technologien . . . . .            | 14        |
| 3.2.1    | JSON . . . . .                               | 14        |
| 3.2.2    | MQTT . . . . .                               | 15        |
| 3.2.3    | UDP . . . . .                                | 15        |
| 3.3      | Android Anwendung . . . . .                  | 16        |
| 3.3.1    | Kommandos und Ausgaben . . . . .             | 17        |
| 3.4      | Sensoren . . . . .                           | 17        |
| 3.4.1    | Lineare Beschleunigungssensoren . . . . .    | 17        |
| 3.4.2    | Angaben für die Nachrichtenformate . . . . . | 20        |
| 3.5      | Server-Anwendung . . . . .                   | 20        |
| 3.5.1    | Anforderungen . . . . .                      | 20        |

---

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5.2 Interner Aufbau . . . . .                | 21        |
| <b>4 Fazit</b>                                 | <b>25</b> |
| <b>5 Quellen</b>                               | <b>26</b> |
| <b>Literaturverzeichnis und Online-Quellen</b> | <b>26</b> |

# Kapitel 1

## Einführung

MINT-Berufe leiden hierzulande unter einem akuten Fachkräftemangel. Das Institut der deutschen Wirtschaft ermittelte für April 2021 ein Unterangebot von 145.100 Personen [1] in 36 MINT-Berufskategorien. Digitalisierungs-Projekte geraten dadurch ins Stocken.

Nicht zuletzt er auch ein Kräftemangel in der Softwareentwicklung. Es fehlen Programmiererinnen und Programmierer. Softwareentwicklung ist gerade in der Lernphase nicht trivial und abstrakt. Unlebendige Übungsaufgaben die beispielsweise Konsolenein- und ausgaben realisieren schrecken zukünftige Programmierinnen und Programmierer eher ab als sie zu ermutigen.

Microcontroller sind bereits eine große Hilfe, da hier spielerisch kleine Projekte realisiert werden können. So können schon früh in Schulen Kinder an die Programmierung herangeführt werden. Sie lernen spielerisch kleine Programme zu entwickeln und verstehen die ihnen beigebrachten Abläufe durch schnelle Anwendung. Microcontroller sind jedoch auch mit Anschaffungskosten verbunden und für kleine Anwendungen, welche Sensoren verwenden, wird viel zusätzliches Material wie zum Beispiel Breadboards, Verbindungskabel und Erweiterungsboards benötigt. Moderne Smartphones bieten hier Abhilfe da Sie meistens mit verschiedenen Sensoren bespickt sind, wie zum Beispiel: Kompass, GPS, Microphon oder Kamera. Viele Kinder besitzen bereits mit 10 Jahren [4] ein Smartphone.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Framework entwickelt werden, dass das Smartphone von Anwendern einbindet um Sie beim Programmierenlernen zu unterstützen. Dieses orientiert sich ganz an bereits bestehenden Schulungsprojekten wie dem Arduino oder BBC Microbit. Schüler und Studenten lösen Aufgaben, lesen Sensordaten aus oder starten Messungen oder Aktionen auf dem Smartphone.

Das Framework besteht aus einer programmiersprachenunabhängigen Library, einer Server-Anwendung und einer mobilen Anwendung für Android Smartphones.

Die Library stellt Funktionsaufrufe bereit. Diese können aufgerufen werden und

geben Sensordaten zurück oder starten Aktion

## Kapitel 2

# Aufgabenstellungen

### 2.1 Aufgaben

Dieses Kapitel enthält verschiedene Beispielaufgaben die mit dem Framework gelöst werden sollen. Die Benutzung der API dazu wird später geschildert.

#### **Disco**

Die LED muss ganz schnell blinken.

#### **Diebstahl-Alarm**

Wenn nach dem Telefon gegriffen wird soll die LED blinken. Wenn man sich davon entfernt soll sie wieder aus sein.

#### **Würfeln**

Das Smartphone wird geschüttelt. Ein random Zahlenwert wird zurückgegeben. Je nachdem welches Ergebnis zurückkommt soll ein Wert auf dem Display angezeigt werden.

#### **Klatsch-Zähler**

Der Anwender möchte wissen wie oft in einem bestimmten Zeitraum geklatscht wurde. Ein Methodenaufruf startet in der Androidanwendung eine Activity, die innerhalb des im Argument genannten Zeitraums die Anzahl der maximalen Lautstärkeamplituden des Mikrophons misst und die Anzahl zurückgibt. Diese soll im Textfeld angezeigt werden.

#### **Dreh-Zähler**

Ein Nutzer möchte in einem bestimmten Zeitraum zählen wie oft das Smartphone



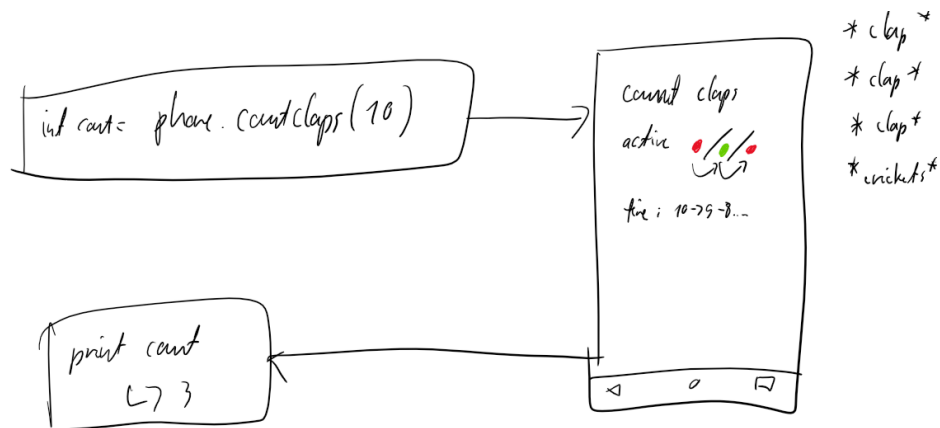


Abbildung 2.1: Klatsch-Zähler

gedreht wurde.

## 2.2 API

Gelöst werden sollen die Aufgaben durch das Aufrufen der API. Diese bietet die benötigten Funktionen an. Die Aufrufe sind frei miteinander kombinierbar, so dass Aufgaben erweitert werden können.

### Eingaben

#### Auslesen der accelerometer-Daten

Ein User will den Wert der X, Y und Z Koordinaten des Smartphones wissen. So kann er bspw. feststellen, ob das Smartphone gerade nach unten, oben oder horizontal bewegt wurde. Kippbewegungen werden nicht detektiert.

```
1 Phone p;
2 float x_val = p.get_x_accll();
```

#### Lautstärkepegelmessung

Ein User möchte den aktuellen Lautstärkepegel messen.

```
1 Phone p;
2 float volume = p.getVolume();
```

#### Annäherungssensor-Messung

Ein User möchte wissen, ob ein Objekt unmittelbar vor den Annäherungssensor steht. Der Aufruf erfolgt folgendermaßen.

```
1 Phone p;  
2 bool triggered = p.primity_triggered();
```

### Amplituden-Spike-Messung mit Zeitraum

Ein User möchte wissen, wie oft die Lautstärke innerhalb eines angegebenen Zeitraums  $t$  ein gewisses Limit überstiegen hat. Der Aufruf könnte dabei folgendermaßen laufen.

```
1 Phone p;  
2 int timeframe = 1000; //1000 ms = 1s  
3 int num = p.getNumOfSpikes(timeframe);
```

### Umdrehungsmessung mit Zeitraum

Ein User möchte wissen, wie oft das Smartphone innerhalb eines angegebenen Zeitraums  $t$  gedreht wurde. Der Aufruf sieht folgendermaßen aus.

```
1 Phone p;  
2 int timeframe = 1000; //1000 ms = 1s  
3 int num = p.getNumOfSpikes(timeframe);
```

## Ausgaben

### Text-Ausgabe

Um auf dem Smartphone einen beliebigen Text anzuzeigen. Dies kann er zum Beispiel wie im folgenden Beispielcode machen.

```
1 Phone p;  
2 p.displayText("Hallo Welt");
```

### LED leuchten lassen

Ein User möchte eine LED auf dem Display ansteuern. Dies kann er so machen.

```
1 Phone p;  
2 p.led_on();  
3 p.led_off();
```

### LED toggeln

Ein User möchte den Zustand einer LED auf dem Display auf äusßstellen wenn Sie an war und auf än" wenn Sie aus war. Dies kann er so machen.

```
1 Phone p;  
2 p.led_on();  
3 p.led_off();
```

### Vibrationsauslöser

Ein Nutzer möchte das Smartphone für eine gewisse Zeitspanne vibrieren lassen.

```
1 Phone p;  
2 p.vibrate(500);
```

## 2.3 Android Anwendung

Für Ausgaben existiert eine Android Anwendung die verschiedene Interaktionsmöglichkeiten bereitstellt. Das Userinterface wird in Grafik ?? gezeigt.

Bereit stehen eine LED bzw. ein Button, eine Textausgabezeile und eine Checkbox. Der Button ist nicht drückbar. Eine Eingabe ist nicht vorgesehen. Er fungiert als Signal-LED die getoggelt werden kann.

In der Textausgabe können beliebige Texte ausgegeben werden.

Bei der checkbox kann der Haken gesetzt und wieder entfernt werden. Nachdem der Zustand geändert wurde wird eine Antwort über den aktuellen Zustand der Checkbox zurückgegeben.

## 2.4 Softwareanforderungen

Aus den unter 2.2 genannten Funktionen ergeben sich die Anforderungen an das Framework.

Es wird unterschieden in Funktionen die Sensordaten auslesen und Funktionen die Aktionen auf dem auslösen.

### 2.4.1 Sensordaten-Funktionen

Um das optimale Lernergebnis zu erhalten müssen Sensordaten responsiv vorliegen. Je schneller Richtungs-, Helligkeits oder Lautstärkedaten vorliegen desto schneller kann im Programm drauf reagiert werden. So können Experimente eher begriffen werden, da Auswirkungen in der Realität instantan Auswirkungen auf den vom Schüler geschriebenen Programmablauf haben. Eine maximale Responszeit von ca. 20 ms ist hierfür zielführend.

Beim Aufruf der Funktion wird kein Aufruf gestartet der das Smartphone anweist eine einzelne Sensormessung zu starten und den aktuell vorliegenden Sensorwert zurückzusenden. Die Latenzen zwischen Smartphone und Bibliothek könnten je nach Verbindungsart, Bandbreite und Geräteanzahl im WLAN stark variieren. Das Smartphone muss in periodischen Abständen Sensordaten messen und senden. Die

Sensorwerte werden dann zentral auf dem gleichen Rechner, auf dem auch die Bibliothek läuft zwischengespeichert. So wird die mögliche Distanz zwischen Sender und Empfänger beschränkt auf den gleichen Rechner. Sensordaten liegen immer zwischengespeichert vor. Neue Daten werden beim Eintreffen der periodischen Aktualisierungen eingetragen. Ein Funktionsaufruf der Sensordaten abfragt muss dann auf die zentral zwischengespeicherten Sensordaten zurückgreifen. So wird der Responszeit erhöht und es liegt immer das aktuellste Sensor-Ergebnis im Zwischenspeicher vor. Der Tätigkeitsbereich vom Smartphone umfasst jedoch nicht nur die Messung und Übermittlung der gemessenen Daten.

### **2.4.2 Auslösende Funktionen**

Die Anwendung auf dem Smartphone bietet ebenfalls verschiedene UI-Elemente welche aus der Ferne per Funktionsaufruf bedient werden. Außerdem werden zeitlich beschränkte Messungen umgesetzt die auf Anfrage gestartet werden sollen. Diese Art der Aufrufe benötigt keinen kontinuierlichen Strom aus Werten, sondern wird einzeln aufgerufen und geben gegebenenfalls einzeln Werte zurück. Der Fokus liegt bei diesen Anfragen nicht auf Responsivität, sondern auf Sicherheit des Aufrufs. Bei dieser Art Aufruf werden Daten erst auf Anfrage generiert und dann, sofern vorgesehen, zurückgesendet.

## Kapitel 3

# Architektur

Der Aufbau des Frameworks besteht aus einer mobilen Anwendung für Android-Smartphones, Bibliothek in der Programmiersprache C und einer Middleware die den Austausch Koordiniert. Der Aufbau ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Clientseitig

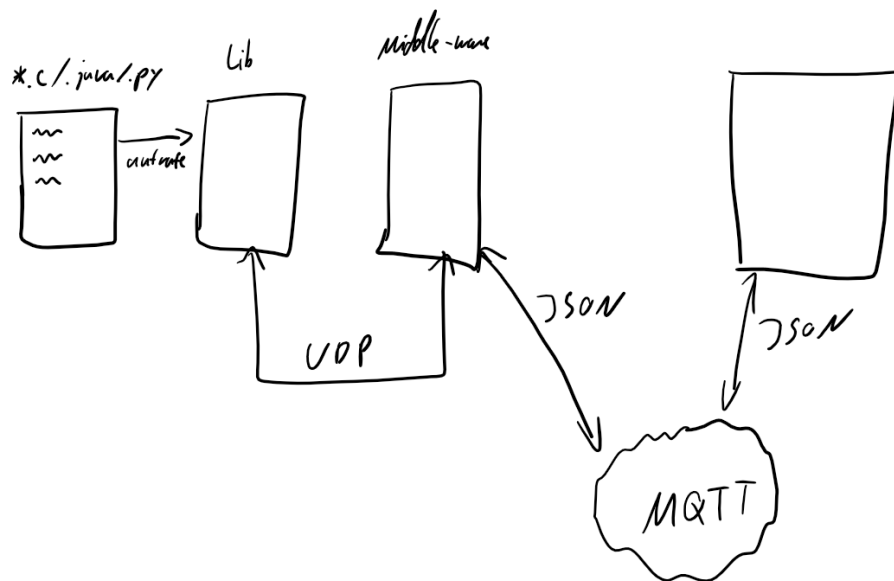


Abbildung 3.1: System-Aufbau

erfolgen sämtliche Aufrufe die Sensordaten abgreifen oder Steueranfragen senden immer erst per UDP über die Middleware.

Die Middleware sammelt, sobald sich eine Android-Anwendung bei ihr anmeldet, gewisse Sensordaten und speichert Sie intern zwischen, damit Sie schnell vorrätig vorliegen. Die Speicherung erfolgt in einem separaten Thread, der die letzten Zustände der Sensordaten hält. Werden Sensordaten abgerufen werden Sie aus der Liste entfernt. Sind noch keine Daten vorhanden, oder wird ein Sensor angefragt

der im Smartphone nicht existent ist, wird ein Fehlercode zwischengespeichert. Die Verfügbarkeit der jeweiligen Sensoren wird beim Start der Anwendung ermittelt. Steueraufrufe werden beim Aufruf über ein separates Topic versandt. Der Austausch erfolgt auf mehreren Topics, da manche Nachrichten, wie Steuerbefehle wie in 2.2 erwähnt, mit einem höheren QOS-Level versendet werden müssen als im Moment existente Sensordaten die nur eine kurzzeitige Relevanz besitzen und deren Zustellung nicht obligatorisch ist. Auf diesem Topic werden Nachrichten mit der QOS von 2 versandt auf dem für reguläre Sensordaten mit einer QOS von 0.

## Nachrichtenformate

Damit der gesamte Funktionsablauf des Frameworks korrekt funktioniert müssen Nachrichten zwischen den einzelnen Komponenten ausgetauscht werden. Hierfür wird ein Format definiert dass die in Kapitel 2.4 erwähnten Anforderungen sowohl auf Library-, Middleware-, und Smartphone-Seite umsetzt.

Die Nachrichten werden im JSON-Format übertragen. Jede Nachricht beinhaltet mindestens die Angabe eines Nachrichtenformat-Typs. Für die Aufrufe wurden folgende Nachrichtenformate definiert:

1. `sensor_request`
2. `sensor_update_request`
3. `rpc_request`
4. `rpc_response`

Die Nachrichtenformate werden als Vorlagen in einer zentralen Datei abgelegt. Diese werden in der Library, Middleware und auf dem Smartphone eingelesen, damit Sie nur einer Stelle definiert werden müssen, wie in 3.2 dargestellt. Neben den Nachrichtenformaten werden hier auch weitere Konfigurations-Konstanten wie Commands für `rpc_requests`, Namen der Sensordaten und Namen der MQTT Topics spezifiziert spezifiziert.

**sensor\_requests** werden vom Endanwender-PC per UDP an die Middleware gesendet. Sie beinhalten neben dem Typ das Feld `sensor_type`. Dieses definiert den Sensortyp für den eine Anfrage generiert wurde. Eine Übersicht ist in Listing zu finden.

Im Listing wurde der Platzhalter `TYPE` für alle möglichen Sensortypen angegeben. Eine vollständige Aufschlüsselung ist in Tabelle 3.2 zu finden.

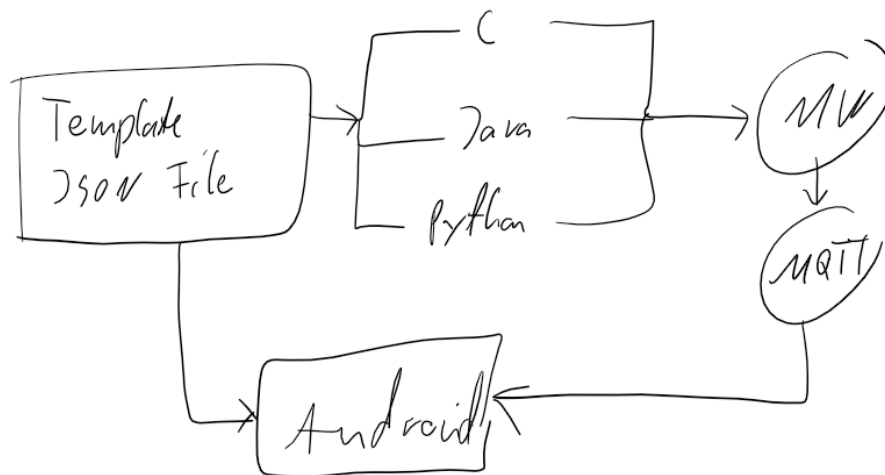


Abbildung 3.2: Zentrale Konfigurationsdatei

```

1 {
2   "type": "sensor_request",
3   "sensor_type": "TYPE"
4 }

```

Listing 3.1: sensor\_request

**sensor\_update\_requests** werden von Smartphone über MQTT an die Middleware versandt. Sie umfassen ebenfalls wie **sensor\_requests** das Feld **sensor\_type**, jedoch zusätzlich auch das Feld **value** in dem der gemessene Sensorwert gespeichert wird. Dieser wird von der Middleware in eine interne Datenstruktur eingetragen.

**rpc\_requests** werden vom Endanwender-PC per UDP an die Middleware gesendet. Sie lösen Aktionen auf dem Smartphone aus wie zum Beispiel das anschalten der LED, oder das Starten von Messungen. Sie werden von der Middleware per MQTT an das Smartphone weitergereicht. Die Übermittlung erfolgt jedoch über ein separates Topic mit einem Quality of Service Wert von 2 um eine garantierte Übertragung zu gewährleisten. Das Smartphone hat dieses TOPIC ebenfalls mit einer QOS von 2 abonniert. eine Liste der Tabelle 3.1 zu entnehmen.

**rpc\_requests** und **response** beinhalten außerdem mindestens ein **command**-Feld und ein **value**-Feld.

Nachfolgendes Listing zeigt beispielsweise den Aufruf die LED einzuschalten.

```

1 {
2   "type" : "rpc_request",
3   "command" : "set_button",

```

```

4     "value" : "true"
5 }

```

Folgende Nachricht beschreibt beispielsweise den übermittelten Sensorwert des accelerometers.

```

1 {
2     "type" : "sensor_response",
3     "sensor_type" : "accl_x",
4     "value" : "-0.151342"
5 }

```

### 3.1 Nachrichtenablauf

Der Nachrichtenablauf ist in Grafik 3.3 dargestellt.

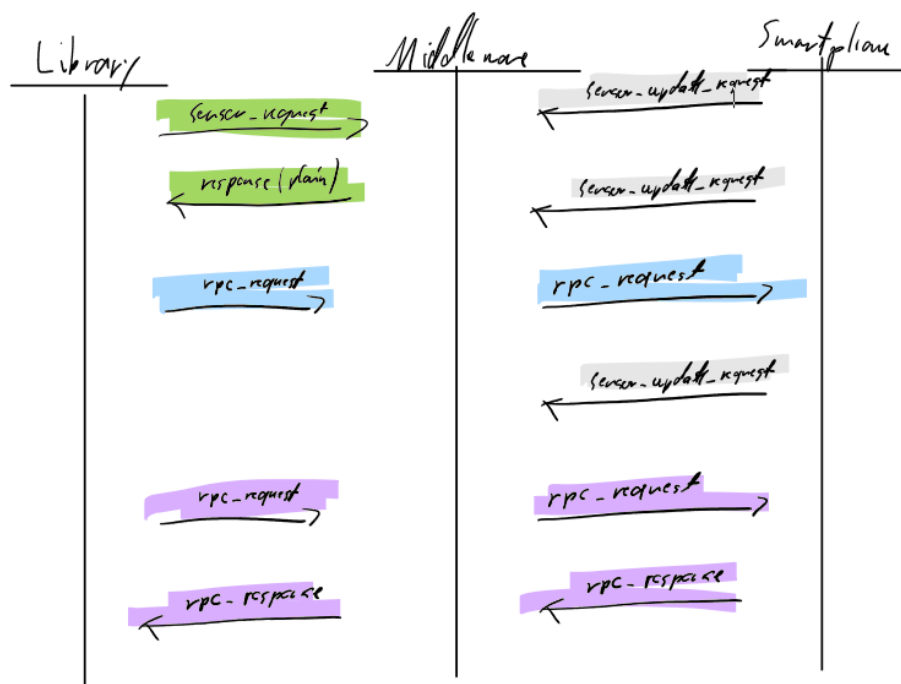


Abbildung 3.3: Nachrichtenablauf

Grau dargestellt ist hier die periodische aktualisierung der Sensordaten durch `sensor_update_requests`. Diese werden mit einer auf dem Smartphone definierten Takung an die Middleware übertragen. Die Middleware trägt die neuen Daten dann in



der internen Datenbank ein.

Grün dargestellt ist der Ablauf eines `sensor_requests`. Aus der Library heraus werden `sensor_requests` gesendet. Die Middleware, die die aktuellen Sensorwerte vorhält sendet dann als Antwort den Sensorwert als einzelnen Wert, also nicht im JSON-Format zurück.

Blau dargestellt ist ein `rpc_request`, dass ein Command auf dem Smartphone ausführt, dass keinen Rückgabewert zurückliefert. Ähnlich wie bei `sensor_update_requests` handelt es sich hier um `fire-and-forget-requests`.

Lila dargestellt sind `rpc_requests` die ein Command ausführen dass einen Rückgabewert erwartet, wie es beispielsweise bei zeitlich getakteten Messungen der Fall ist. In diesem Fall wird eine `rpc_response`-Nachricht mit versendet.

## 3.2 Verwendete Technologien

In diesem Kapitel werden die Technologien und Protokolle beschrieben die beim Nachrichtenaustausch zwischen Library, Middleware und Smartphone zum Einsatz kommen.

Der Fokus liegt auf Serialisierung und Transport. Da im gesamten Prozess zwischen den drei Einheiten unterschiedliche Programmiersprachen auf verschiedenen Plattformen zum Einsatz kommen müssen sämtliche Protokolle und Notationen von möglichst vielen Programmiersprachen unterstützt werden.

Beim Transport liegt die Anforderung vor allem auf einer schnellen Ausführung, da sich Sensordaten schnell ändern und ein Lerneffekt am Besten eintritt wenn keine hohen Latenzen bei der Übertragung auftreten.

### 3.2.1 JSON

JSON ist eine Abkürzung für JavaScript Object Notation. Es handelt sich um ein Nachrichten-Austausch-Format [3]

Der Aufbau ist minimalistisch. Objekte können mit Schlüssel-Wert-Paaren serialisiert werden. Auch Arrays können eingesetzt werden. Durch den einfachen Aufbau werden für eine Nachricht auch nicht viele Ressourcen benötigt. Gerade bei der Übertragung von Sensordaten ist ein schneller Datenaustausch sehr positiv.

JSON wird außerdem von vielen Programmiersprachen wie Python und Java nativ unterstützt. Da die Bibliotheken programmiersprachenunabhängig bereitgestellt werden sollen bietet sich JSON als gemeinsame Notation hervorragend an. Da es in C keinen eingebauten JSON Parser gibt wird hier auf den cJSON [?] zurückgegriffen.

### 3.2.2 MQTT

MQTT steht für Message Queuing Telemetry Transport und ist ein Client-Server Protokoll das auf TCP basiert. Es kommt häufig bei Machine-to-Machine Interaktionen zum Einsatz. Dies umfasst Lösungen im IoT-, Smarthome und Automatisierungstechnik-Bereich. Durch den platzsparenden Header von 2 Bytes und einer maximalen Nachrichtengröße von ca. 260 MB ist es gleichzeitig ein leichtgewichtiges jedoch auch flexibles Protokoll zum Nachrichtenaustausch.

Für den Nachrichtenaustausch registrieren sich Clients an einem Broker, dem MQTT-Server, an ein oder mehrere Topics. Auf diesen Topics können dann Nachrichten gesendet und empfangen werden. Topics können hierarchisch geschichtet werden. Subtopics können dann pro Ebene oder rekursiv für alle Subtopics abonniert werden. Dieses Feature ist jedoch für die Entwicklung nicht weiter von Belang. Nachrichten werden von Clients an den Broker gesendet. Dieser hält den Nachrichteninhalt intern für das jeweilige Topic.

Alle Clients besitzen einen Identifier, so dass empfangene Nachrichten zurückgeführt werden können. Somit sind auch Topic-interne Filter möglich nur Nachrichten von bestimmten Clients zu empfangen.

Nachrichten können mit einer Quality of Service (QoS), einer Übertragungsgüte, übertragen werden. Insgesamt gibt es drei Stufen: 0, 1 und 2. Je höher die QoS-Stufe desto höher die Latenz der Übertragung.

Bei einer QoS von 0 werden Daten einfach übertragen ohne sicherzugehen, dass die Nachricht auch wirklich beim Broker ankommt. Bei QoS 1 wird eine Nachricht so lange auf einem Topic gesendet bis der Broker den Empfang einmal bestätigt. Es kann jedoch auch passieren, dass der Broker die Nachricht mehrmals empfängt und nur einmal bestätigt. Bei QoS 2 wird die Nachricht einmal an den Broker gesendet. Dieser muss dann den Empfang der Nachricht einmal bestätigen. Erst dann gilt die Nachricht als empfangen.

Damit die verlangte Güte sichergestellt wird müssen Sender und Empfänger mit der gleichen Güte senden bzw. ein Topic mit der gleichen Güte-Stufe abonnieren. Wird ein Topic mit einer geringeren Güte abonniert als die Güte der publizierten Nachricht wird die Nachricht mit der Güte des Abonnenten übertragen. Wenn eine Nachricht mit geringerer Güte auf einem Topic publiziert wurde als dieses Topic abonniert wurde wird die Übertragung mit der Güte-Stufe des publizierenden Clients übertragen.

### 3.2.3 UDP

UDP ist ein verbindungsloses Netzwerkprotokoll, dass auf der Transportschicht des TCP/IP-Stack zum Einsatz kommt.

### 3.3 Android Anwendung

Die Android-Anwendung läuft auf dem Smartphone des Anwenders. Sie besteht aus einer Haupt-Activity deren äußerlicher Aufbau in Kapitel 2.3 beschrieben ist.

In der Haupt-Activity wird ein Service gestartet und gebunden. Der Service baut eine Verbindung zu einem MQTT Server auf. Dort verbindet er sich den beiden Topics. Die Activity bindet beim Start den MQTT-Service ein. Stellt ein Client über die Bibliothek auf einem Computer eine Anfrage wird dieser Aufruf, wie z.B. eine Ausgabe auf einem Textfeld an das Smartphones, zuerst zur Middleware geleitet. Diese leitet die Anfrage weiter an das Smartphone, dass dann den jeweiligen Befehl ausführt. Dies beinhaltet vor allem Ausgaben, sowie Eingaben die eine Nutzerinteraktion mit reduziertem Ergebnis. Zum Beispiel alle Eingaben die etwas in einem angegebenen Zeitraum messen. Falls ein Sensor angefragt wird der auf dem Smartphone nicht existiert wird eine Nachricht mit einer Fehlermeldung zurückgegeben.

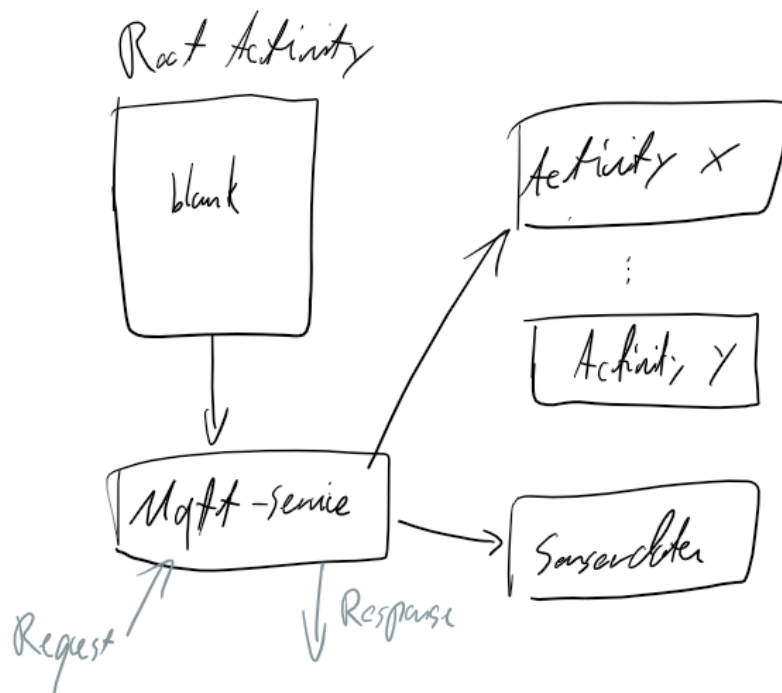


Abbildung 3.4: Android-App-Aufbau

### 3.3.1 Kommandos und Ausgaben

Für die Ausgabe auf dem Smartphone sind verschiedene Kommandos definiert. Diese sind der Tabelle 3.1 zu entnehmen. `CMD-Kürzel` beschreibt die Notation des Kürzels mit dem eine Aktion ausgeführt werden kann. Diese wird unter `Beschreibung` kurz zusammengefasst. `return` gibt an, ob der Aufruf des Requests eine Antwort rücksendet und somit auch, ob ein Aufruf der Funktion in der Library blockiert oder nur sendet.

| CMD-Kürzel   | Beschreibung   |
|--|--|
| textview<br>button<br>• false : setzt die Farbe auf Rot<br>• toggle : Kehrt die Farbe um | Setzt value als Text im Textvie<br>Setzt Button auf value. Dies kann sein • true : setzt die Farbe auf Gr<br><br>False |

Tabelle 3.1: Kommando-Kürzel mit Beschreibung

## 3.4 Sensoren

Smartphones beinhalten verschiedene Sensoren die Daten über die Umgebung erfassen können. In der Android Anwendung werden folgende Sensortypen verwendet:

- Lineare Beschleunigungssensoren
- Microfon
- Annäherungssensor
- Gyroskop

### 3.4.1 Lineare Beschleunigungssensoren

Beschleunigungssensoren messen die Beschleunigung in  $m/s^2$  für die drei Bewegungsrichtungen: X-, Y- und Z-Achse in einem festgelegten Zeitraum. Eine Übersicht über die Anordnungen der drei Axen ist in Grafik 3.5 zu sehen. Die X-Achse verläuft horizontal durch das Display des Smartphones hindurch, die Y-Achse vertikal und die Z-Achse durchschneidet das Smartphone in die Tiefe.

Die Beschleunigungsdaten werden dabei in einem festen Zeitraum gemessen. Hierfür stehen vier Schnelligkeitsstufen in absteigender Frequenz bereit:

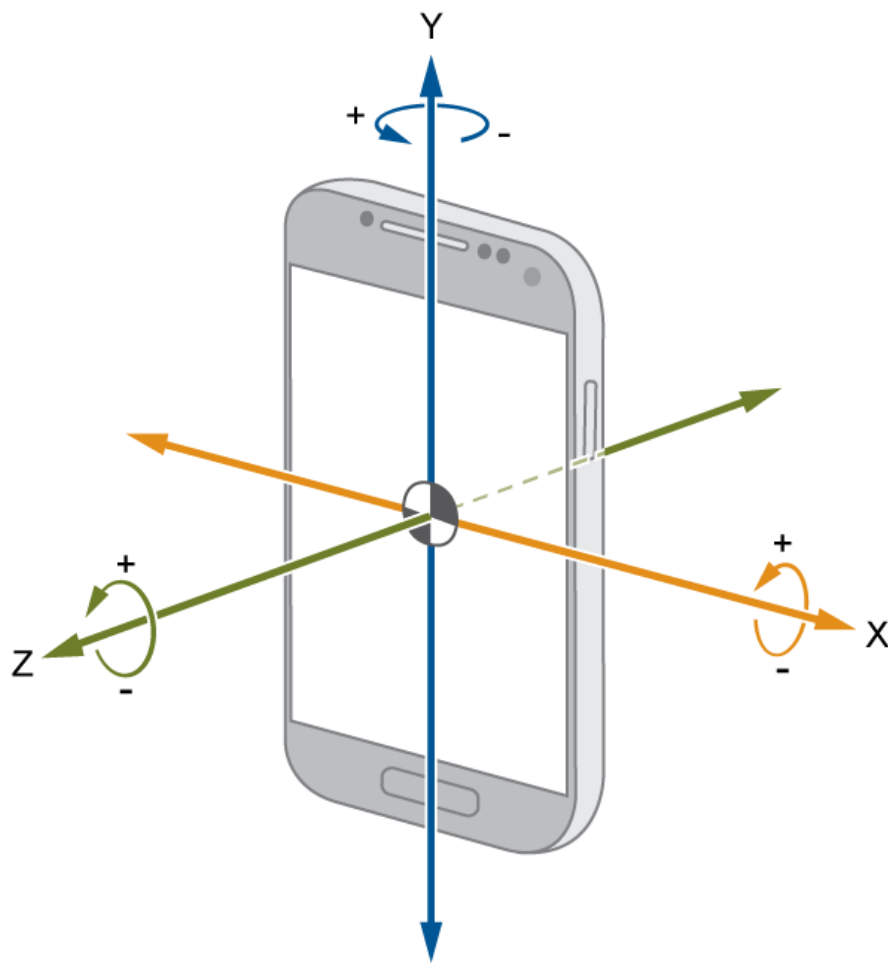


Abbildung 3.5: Android-Koordinatensystem

- SENSOR\_DELAY\_FASTEST : Kein Verzögerung. Verwendet die Frequenz des Sensors.
- SENSOR\_DELAY\_GAME : Verzögerung um 1ms
- SENSOR\_DELAY\_UI : Verzögerung um 2ms
- SENSOR\_DELAY\_NORMAL : Verzögerung um 3ms

Die mit der jeweiligen Taktrate aufgenommenen Beschleunigungssensordaten umfassen jedoch auch die Erdbeschleunigung  $g$  in Höhe von  $9.81m/s^2$ . Diese muss für die bereinigten, realen Werte zuerst noch von den aufgenommenen Werten subtrahiert werden.

Hierfür muss zuerst der Gleichanteil der Gravitation mittels eines Tiefpassfilters von den gemessenen Werten isoliert werden.

Der Algorithmus dafür ist folgendermaßen definiert:

Für eine unendliche Folge an isolierten Gravitationswerten  $g$  und Beschleunigungssensor-Messwerten  $e$  mit index  $n \in \mathbb{N}$  gilt:

$$g_n = g_{n-1} \cdot \alpha + (1 - \alpha) \cdot e_n \quad (3.1)$$

Die Konstante  $\alpha$  wird dabei folgendermaßen berechnet:

$$\alpha = t / (t + \Delta_t) \quad (3.2)$$

$t$  ist dabei die Zeitkonstante des Tiefpass-Filters und  $\Delta_t$  die Anpassungsrate.

Die Berechnung des bereinigten Beschleunigungssensorwerts ist durch einen Hochpass definiert:

Für eine unendliche Folge an ereinigten Beschleunigungssensor-Messwerte  $l$ , isolierten Gravitationswerten  $g$  und Beschleunigungssensor-Messwerten  $e$  mit index  $n \in \mathbb{N}$  gilt:

$$l_n = e_n - g_n \quad (3.3)$$

Die Gravitation könnte auch unter Zuhilfenahme des Gyroskops isoliert werden. Die wirkenden Kräfte auf die drei Achsen könnten je nach Neigung einzeln bemessen werden. Hierfür müsste die Masse des Smartphones jedoch bekannt und gleich verteilt sein. Deshalb wird hierfür auf die Pragmatische Hochpass-Tiefpass-Lösung zurückgegriffen.

### 3.4.2 Angaben für die Nachrichtenformate

Alle Sensordaten besitzen ein festgelegtes Kürzel zur Standardisierung des Nachrichtenverkehrs. Sie dienen vor allem der Adressierung der jeweiligen Daten in der Middleware und in der Library.

Die Sensortyp Kürzel sind in Tabelle 3.2 zu finden.

| TYPE-Kürzel | Beschreibung                             |
|-------------|--|
| accel_x     | Beschleunigungssensor für die X-Richtung |
| accel_y     | Beschleunigungssensor für die Y-Richtung |
| accel_z     | Beschleunigungssensor für die Z-Richtung |

Tabelle 3.2: Sensor-Kürzel mit Beschreibung

## 3.5 Server-Anwendung

Für Vermittlung zwischen den Komponenten fungiert eine Server-Anwendung. Sie ist in Python geschrieben und vermittelt zwischen UDP-Anfragen auf der einen Seite vom Client aus und MQTT-Anfragen vom Smartphone auf der anderen Seite. User können über die Library RPC-Anfragen oder Sensor-Anfragen an den Server stellen. Dies geschieht in form von JSON-Anfragen die per UDP übermittelt werden. Der Server ist unter der localhost-Adresse 127.0.0.1 auf dem Port 5006 erreichbar.

Für die MQTT-Verbindung kommt dabei die unter OpenSource-Liznennz stehende MQTT-Library Paho der Eclipse-Foundation zum Einsatz. [2]

### 3.5.1 Anforderungen

Aus den Anforderungen ergeben sich folgende Aufgaben die der Server umsetzen muss:

- Sensoranfragen schnell beantworten
- Anfragen die Funktionen auf dem Smartphone starte, müssen schnell an das Smartphone weitergereicht und gegebenenfalls wieder beantwortet werden.

Damit Sensoranfragen schnell beantwortet werden können, werden die aktuellen Sensorwerte fortlaufend vom Smartphone an den Server übermittelt. Dieser speichert Sie dann, sobald ein Sensorwert gemessen und übermittelt wurde in eine interne, threadsichere Datenstruktur. Hierdurch wird insbesondere der Latenzunterschied zwischen Smartphone und Localhost berücksichtigt. UDP Anfragen per Localhost

haben eine wesentlich geringe Latenz als MQTT-Anfragen, auf die das Smartphone reagieren muss. Durch das Cachen auf dem Server liegen bei Anfragen per UDP, also von der Library aus, immer Sensordaten vor.

Um Funktionsanfragen zeitnah auszuführen müssen unterschiedliche Netzwerklatenzen berücksichtigt werden. Die Übermittlung erfolgt asynchron zwischen Library und Smartphone, wobei zu erwarten ist dass Übermittlungen an das Smartphone mit einer höheren Latenz übertragen werden, als Anfragen zwischen Library und Server, da sich beide auf dem gleichen Host befinden. Die Verbindung zwischen Library und Server erfolgt darüber hinaus über localhost und somit über ein Loopback-Device. Loopback-Devices reichen Netzwerkpakete nicht herkömmlich über ein physisches Netzwerkinterface weiter sondern stellen ein virtuelles Gerät dar, dessen Übertragungsrate an die CPU gekoppelt ist. Die Bandbreiten sind dadurch sehr hoch und die Latenzen gering.

Um die Latenzen und die damit verbundenen unterschiedlichen Auftrittszeitpunkte von Anfragen zu berücksichtigen, sowie eine möglichst effiziente Abarbeitung der selbiger zu ermöglichen wird eine parallele Algorithmusstruktur verwendet.

### 3.5.2 Interner Aufbau

Die Serveranwendung mit dem Namen server.py ist aufgeteilt in einen Datenverwaltungsteil, DataHandler, und eine MQTT Anbindung, MQTTHandlerThread. Da die Sensorwerte des Smartphones vorrätig gehalten werden, wird außerdem eine Datenklasse für diese, SensorDB, intern gehalten. Eine Übersicht über die Komponenten ist Abbildung 3.6 zu entnehmen.

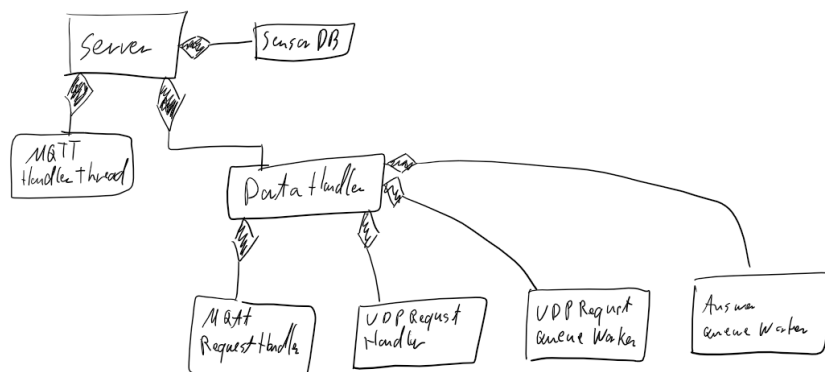


Abbildung 3.6: UML Diagramm Server

DataHandler wiederum teilt sich nochmal auf in vier separate Funktionen, die als Threads nebenläufig laufen: MqttRequestHandler, UDPRequestHandler, UDPRequestQueueWorker und AnswerQueueWorker.



Die Funktionsweise und Zwecke dieser Threads wird im Folgenden an zwei Beispielen erläutert. Für das erste Beispiel wird Abbildung 3.7 betrachtet. Zu sehen ist ein MQTT-Request, also eine Anfragen des Smartphones, dass über MQTT an den Server gesendet wird. Schnittstellen zu MQTT sind in der Grafik grün, Schnittstellen zur Library per UDP, sind blau markiert.

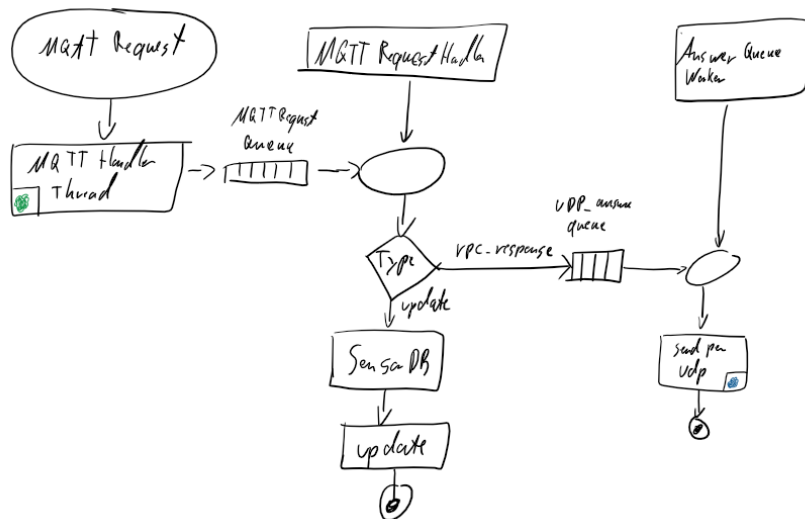


Abbildung 3.7: Ablaufdiagramm MQTT Request

Erreicht ein MQTT Request den Server wird es im MQTTHandlerThread entgegengenommen. Dieser setzt die Nachricht in eine MQTTRequestQueue ein. Der MQTTRequestHandler des DataHandlers wartet bis ein Eintrag in der Queue vorhanden ist und nimmt gegebenenfalls eine Nachricht. Daraufhin wird der Typ des Requests bestimmt. Handelt sich um ein Sensorupdate muss nur der Sensorwert in der Datenbank aktualisiert werden. Handelt es sich um eine rpc\_response, also um eine Antwort auf eine vorausgegangenes rpc\_request, dass einen Rückgabewert fordert, wird das request in eine udp\_answer\_queue eingefügt. Der AnswerQueue Worker wartet, ähnlich wie der MQTT Request Handler, bis eine neue Nachricht vorhanden ist die per UDP an den Client gesendet werden soll und sendet diese dann gegebenenfalls ab.

Das zweite Beispiel befasst sich mit dem Ablauf eines UDP-Requests, also einer Anfrage die mithilfe der Library gesendet wurde. Der Ablauf ist in Abbildung 3.8 dargestellt. Wie auch schon in der letzten Grafik sind alle Schnittstellen zum Smartphone grün und alle Schnittstellen zur Library blau markiert. Erreicht ein UDP Request den Server wird es vom UDPRequestQueue-Worker in eine UDP Request Queue gelegt. Der UDPRequestHandler-Thread entnimmt die Nachricht und bestimmt den An-

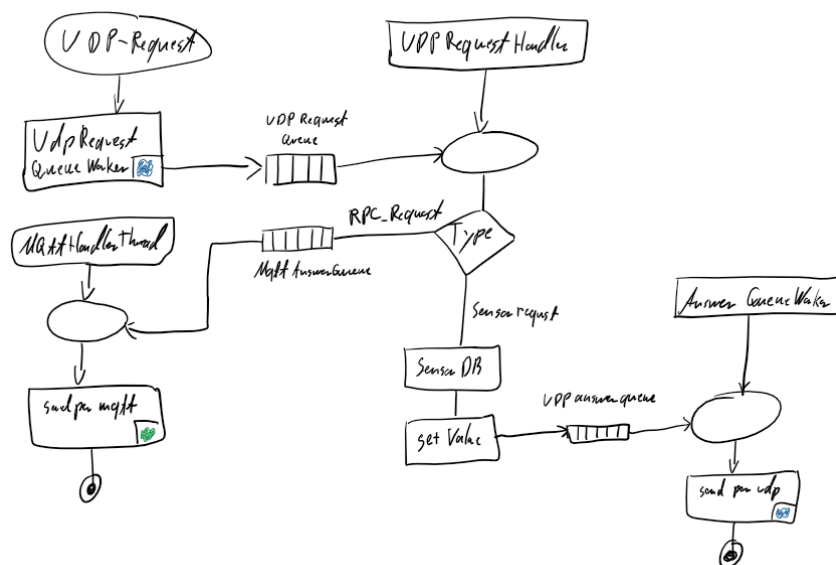


Abbildung 3.8: Ablaufdiagramm UDP Request

fragentyp. Handelt es sich um eine Anfrage des Types `RPC_Request` soll sie Aktionen auf dem Smartphone auslösen. Sie muss an das Smartphone gesendet werden, was über MQTT möglich ist. Dafür wird Sie in eine `MqttAnswerQueue` eingesetzt. Der `MQTTHandlerThread` entnimmt Sie und sendet Sie per MQTT ab.

Ist Request hingegen ein `SensorRequest`, also eine Anfrage auf die ein Sensorwert geantwortet werden soll wird der nachgefragte Sensorwert über die Klasse `SensorDB` entnommen und in die `Udp_answer_queue` eingetragen. Der `AnswerQueueWorker` entnimmt die Anfrage und sendet Sie per udp an die Library zurück.

Zusammenfassend erfüllen die Komponenten folgende Aufgaben. Der `MQTTHandlerThread` nimmt Nachrichten direkt per MQTT an und gibt die Anfrage weiter. Außerdem sendet er Nachrichten per MQTT, falls welche anfallen.

Der `MQTTRequestHandler` kümmert sich um das Verfahren von MQTT Requests. Der `UDPRequestQueue Worker` nimmt wie der `MQTTHandlerThread` Anfragen die per UDP übermittelt wurden an und gibt Sie zur Behandlung entsprechend weiter. Er sendet jedoch im Gegensatz keine Responses zurück.

Hierfür gibt es den `AnswerQueueWorker`, dessen einzige Aufgabe es ist Antworten per UDP zurück zu übermitteln.

Die Kommunikation zwischen den Threads funktioniert über synchronisierte Queues des queue-Moduls[5] der cpython Implementierung. Es handelt sich um eine threadsichere Monitorklasse, die einen gleichzeitigen Zugriff zweier unterschiedli-

cher Threads durch Locks verhindert.

## **Kapitel 4**

## **Fazit**

# Kapitel 5

## Quellen

### Literaturverzeichnis

- [1] Koppel Oliver Anger Christina, Kohlisch Enno. Mint-frühjahrsreport 2021. mint-engpässe und corona-pandemie: von den konjunkturellen zu den strukturellen herausforderungen, gutachten für bda, bdi, mint zukunft schaffen und gesamtmetall, köln. <https://www.iwkoeln.de/studien/christina-anger-enno-kohlisch-oliver-koppel-axel-pluennecke-mint-engpaesse-und-corona-pandemie-von-den-konjunkturellen-zu-den-strukturellen-herausforderungen.html>, 2021.

### Online-Quellen

- [2] Paho. <https://www.eclipse.org/paho/>. [letzter Zugriff: 03. Juni. 2022].
- [3] JSON Foundation. Json. <https://www.json.org/json-de.html>. [letzter Zugriff: 18. Mai. 2022].
- [4] bitkom. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mit-10-Jahren-haben-die-meisten-Kinder-ein-eigenes-Smartphone>. [letzter Zugriff: 07. April. 2022].
- [5] python. queue. <https://docs.python.org/3/library/queue.html>. [letzter Zugriff: 03. Juni. 2022].