



Bachelorarbeit

Smartphonesensoren- und Ausgabemöglichkeiten zum Programmierenlernen

Marius Cerwenetz

Abschlussarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

Vorgelegt von	Marius Cerwenetz
am	08. 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, 08. Juli 2022

Marius Cerwenetz

Zusammenfassung

Um Programmieraufgaben möglichst interaktiv zu gestalten eignen sich Projekte mit Microcontrollern besonders gut. Smartphones bieten einen vergleichbaren Funktionsumfang und müssen meist nicht zusätzlich beschafft werden. In dieser Arbeit wurde eine Softwarelösung erstellt, um Smartphonesensoren über eine Programmierumgebung auszulesen und Ausgaben auf dem Smartphone auszuführen. Hierfür wurde eine Android-Anwendung, eine Kontrollanwendung und drei Softwarebibliotheken in den Sprachen C, Java und Python implementiert. Als Verbindungstechnologien kommen UDP und MQTT zum Einsatz. Für die Nutzung werden Beispiel-Programmiertasken dazugereicht. Programmierer schreiben Programme auf dem PC, welche auf Änderungen von Smartphonesensordaten wie beispielsweise Beschleunigungssensoren reagieren und die Ausgabemöglichkeiten des Smartphones nutzen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Sensorauslesung und Informationsdarstellung auf Smartphones	6
2.1	Beispielprogrammieraufgaben	7
2.2	Anforderungen	8
3	Architektur	11
4	Nachrichtenformate	13
5	Android Anwendung	17
5.1	Funktionsablauf	17
5.2	Sensoren	20
5.3	Angaben für die Nachrichtenformate	22
5.4	Kommandos und Ausgaben	22
6	Kontrollanwendung	23
6.1	Anforderungen	23
6.2	Interner Aufbau	24
7	Programmierungsumgebung	27
8	Evaluation	28
8.1	Beispielverwendung	28
8.2	Messergebnisse	31

9 Fazit	34
Literaturverzeichnis und Online-Quellen	35

Kapitel 1

Einführung

Viele Programmiererinnen und Programmiererinnen, die das Programmieren gerade erst entdecken, mühen sich zu Anfang mit Semantik und grundlegenden algorithmischen Konzepten. Akademische Übungsaufgaben senken die Lernmotivation, abstrahieren gelerntes und lassen Softwareentwicklung fade und dumpf erscheinen. Projekte mit Microcontrollern dagegen bieten eine praktische, fordernde und spielerische Einstiegsmöglichkeit. Es werden kleine Projekte realisiert, die durch die Inbezugnahme von Sensoren Programmierer einladen sich an Programmieraufgaben auszuprobieren. Diese Eigenschaften sind insbesondere bei Projekten mit wenig Vorwissen für Lernwillige wie Schüler oder Erstsemester-Studierende sinnvoll. Gelerntes kann direkt angewandt werden und Änderungen an Algorithmen sind schnell in der Verhaltensweise der Hardware erkennbar. Praktische Programmieraufgaben bieten für Programmieranfänger den höchsten Lerneffekt bei höchster Motivation.[1] Die in Microcontroller integrierten Sensoren sind zentraler Bestandteil um physische Eigenschaften in der realen Welt zu messen. Auf diese Eigenschaften und ihre Änderung kann reagiert werden. Dann erscheint ein Gerät für Nutzer bedienbar. Im Programm beschriebene Abläufe definieren das Verhalten auf Änderungen dieses Sensorwerte. Während der Entwicklung können Messergebnisse jedoch nicht perfekt abgeschätzt werden was zu einem Fehlverhalten führen kann. Dann muss das Programm gegebenenfalls angepasst werden, bis das gewünschte Verhalten vorliegt. Die ständige Berührung und Weiterentwicklung mindert Ängste vor Änderungen, schafft Routine und damit ein tieferes Verständnis, Kontext und Hintergrundwissen für die Problemstellung.

Microcontroller-Projekte benötigen allerdings teure Einstiegs-Kits. Ein Arduino-Development-Board kostet im internen Arduino-Shop über 80,00 € [2]. Ein Großteil der Kosten entfällt zwar auf den eigentlichen Microcontroller, ein nicht unmittelbarer Teil jedoch auch auf Peripherie wie wie Breadboards, Verbindungskabel und Erweite-

rungsboards. Neben zusätzlich verursachten Kosten setzen Sie außerdem gewisses Hintergrundwissen voraus. Für die erstmalige Verwendung von Breadboards muss beispielsweise bekannt sein welche Ports wie verbunden sind, welche Konventionen es für Plus- und Minuspole gibt und welche Bauteile für die Benutzung geeignet sind. Dies stellt ebenfalls eine Einstiegshürde dar, die die eigentliche interaktive Lernerfahrung herauszögert und Ziele entfernt und die Motivation senkt.

Smartphones dienen hier als Alternative. Aktuelle Smartphones sind mit zahlreichen Sensoren wie Lagesensoren, Gyroskop oder Näherungssensoren ausgestattet. Sie bieten einen ähnlichen Funktionsumfang wie vergleichbare Microcontroller und sind gleichzeitig noch sicherer. Elektrische Bauteile konventioneller Microcontroller-Sets erlaubt einen Fehlgebrauch der im schlimmsten Fall in der Zerstörung von Komponenten enden kann und zusätzliche Kosten verursacht. Projekte mit Smartphones reduzieren dieses Risiko dadurch, dass Schaltkreise bereits intern verknüpft und somit von äußerlicher Fehlverwendung geschützt sind.

Ein weiterer Vorteil Smartphones anstatt Microcontroller zu verwenden liegt in der Verfügbarkeit. Weltweit besaßen 2022 5,2 Mrd. Menschen ein Smartphone. [4] Viele Kinder besitzen bereits mit 10 Jahren [6] eins. Da ein Smartphone üblicherweise nicht nur für Programmieraufgaben, sondern auch für den Alltag verwendet wird, sind Smartphones bereits in Besitz.

Smartphones sind eine Alternative zu herkömmlichen Microcontroller-Sets. Sie verursachen weniger Kosten und sind meistens bereits in Gebrauch. Durch Ihre eingesetzten Sensoren können Sie zuverlässig Umgebungseigenschaften messen. Neben Übertragungsschnittstellen wie USB sind ist auch W-LAN eine Verbindungsmöglichkeit. Da vereinfacht die Ansteuerung. Kabel werden nicht benötigt und die Geräte sind Batteriebetrieben, was autonome Lösungen ermöglicht.

Eine Einbindung von Smartphones ist in den meisten Programmierumgebungen jedoch nicht möglich. Auch gibt es Seitens der Smartphone-Betriebssystemhersteller keine standardisierten Ausgabemöglichkeiten. Moderne Smartphone-Betriebssysteme bauen sich modular aus mobilen Anwendungen auf, so dass das Betriebssystem keine direkten Ausgabemöglichkeiten besitzt. Visuelle und haptische Ausgaben sind nur über mobile Anwendungen möglich.

Ziel der Arbeit ist es eine Smartphone-Anwendung für visuelle Ausgaben und Sensorwerte zu entwickeln und Schnittstellen in Programmierumgebungen zu schaffen, die die Nutzungsmöglichkeiten des Smartphones in Programmierprozesse einbinden. Möglich wird dies durch Softwarebibliotheken die Funktionsaufrufe bereitstellen, welche Aktionen auf dem Smartphone auslösen. Das Smartphone reagiert auf die empfangen Anfragen und führt die entsprechenden Kommandos aus. Das Framework besteht aus einer programmiersprachenunabhängigen Programmierumgebung,

einer Kontroll-Anwendung und einer mobilen Anwendung für Android Smartphones.

Für die Verwendung werden angehenden Programmierern Beispielaufgaben gereicht. Sie stellen Anforderungen an die Umsetzung der Lösung. Diese Rahmenbedingungen sowie die Aufgaben sind in Kapitel 2 zu finden. Die drei Komponenten Smartphone-App, Kontrollanwendung und Programmierumgebung werden in Kapitel 3 vorgestellt und das Zusammenspiel der Komponenten erläutert. Die dafür benötigten Nachrichtenformate werden in Kapitel 4 gezeigt. Zweck und Ablauf der Nachrichten-Typen wird erklärt und der Nachrichtenaustausch exemplarisch veranschaulicht. Kapitel 5 behandelt die Funktionsweise und den Aufbau der Android App im Detail. Die App tauscht Nachrichten mit der Programmierumgebung aus. Als zwischenvermittlung fungiert dabei das zentrale Kontrollprogramm was in 6 erklärt wird. Das Kontrollprogramm tauscht wiederum Nachrichten mit der Programmierumgebung aus. Angehende Programmierer benötigen Sie um das Smartphone anzusteuern. Einbindung, Nutzung, sowie interne Kommunikation zu den anderen zwei Komponenten werden in Kapitel 7 erklärt. Zum Schluss wird in Kapitel 8 untersucht ob die vorgegebenen Anforderungen erfüllt wurden. Desweiteren wird die Verwendung der Lösung anhand einer Beispielaufgabe vorgestellt. Die bei der Entwicklung festgestellten Probleme werden in Kapitel 9 diskutiert. Erweiterungsmöglichkeiten und Verbesserungen werden diskutiert.

Kapitel 2

Sensorauslesung und Informationsdarstellung auf Smartphones

Smartphones sind in sich geschlossene technische Geräte, die neben vordefinierten Verbindungsschnittstellen wie einem USB-Port, WLAN und Bluetooth keine weiteren Schnittstellen bieten um externe Hardware und Schaltungen anzuschließen und fernzusteuern. Microcontroller-Schaltungen zum Programmierenlernen bieten meistens mehrere Ausgabemöglichkeiten wie LEDs, Lautsprecher oder Piepser. Smartphones bieten jedoch den Vorteil der virtuellen Darstellung auf dem Display. Gewohnte Ausgabelemente können dadurch virtualisiert werden. Die Funktionen sind hier außerdem nicht nur von Mehrzweck-Ausgaben wie LED-Grids begrenzt die zum Beispiel für die Text- oder Bildanzeige verwendet werden können. Spezifische zweckgebundene Elemente wie Textfelder, Textausgaben oder Bildausgaben in der App können beliebig kombiniert werden. Darüber hinaus ist die Anordnung der jeweiligen Elemente frei wählbar, so dass das Layout anders als bei Microcontrollern auch im Nachhinein noch geändert werden kann.

In diesem Kapitel werden Beispielaufgaben für Programmiererinnen und Programmierer vorgestellt die Sie mit der entwickelten Lösung absolvieren können. Durchführbar sind diese durch verschiedene Ansteuerungen aus der Programmierumgebung. Die darin angebotene Funktionalität stellt Anforderungen und Rahmenbedingungen an das Projekt welche ebenfalls behandelt werden.

2.1 Beispielprogrammieraufgaben

Praxisnahe Programmieraufgaben mit interessanten Aufgabestellungen führen angehende Softwareentwickler an die Entwicklung heran. Um die Möglichkeiten der entwickelten Lösung zu nutzen wurden fünf Beispiele ausgearbeitet. Die Aufgaben sind interaktiv getaltet. Auf gemessene physikalische Eigenschaften wird reagiert. Auf dem Smartphone werden gegebenenfalls Ausgaben getätigt. Eine zusätzliche Angabe des Schwierigkeitsgrads unterstützt Anfänger bei der Auswahl. Die Liste der Aufgaben ist in Tabelle 2.1 zu finden.

Name der Aufgabe	Benötigte Sensoren	Verwendete Ausgaben	Schwierigkeitsgrad
Disco	-	Led	+
Würfeln	Lagesensor	Textfeld	+
Diebstahl-Alarm	Näherungssensor	Textfeld, Led, Vibration	++
Klatsch-Zähler	Mikrofon	Textfeld	++
Dreh-Zähler	lagesensor	Textfeld	+++

Tabelle 2.1: Beispielprogrammieraufgaben

Beschrieben wird der Name der Aufgabe und die darin benötigten Sensoren auf deren Messergebnisse reagiert wird. Das Smartphone bietet verschiedene Ausgabemöglichkeiten. Nicht alle sind für die Lösung aller Aufgaben passend. Daher wird in der dritten Spalte definiert welche Ausgaben verwendet werden soll. Zum Schluss wird der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe beschrieben. Er ist in drei großen gegliedert: Einfach (+), Mittel(++) und Schwer (+++).

In der Aufgabe *Disco* soll eine virtuelle LED alle 500 ms die von der Farbe grün auf die Farbe rot wechseln. Die Aufgabe benötigt keine Sensoren, da die LED nicht auf eine Eingabe seitens des Programmierers oder sonstigen Messwert-Änderungen warten soll. Der Schwierigkeitsgrad ist als einfach eingestuft, da hier weder Sensoren benötigt werden, noch sonstige Abhängigkeiten die auf Sensormesswerte beruhen innerhalb des Codes zu berücksichtigen sind.

In der Aufgabe *Würfeln* soll erkannt werden, ob ein Smartphone geschüttelt wurde. Verwendet wird dabei der Lagesensor, der Beschleunigungen in drei Achsenrichtungen misst. Wird ein Schütteln erkannt soll auf dem PC eine Zufallszahl generiert werden, welche dann auf dem Smartphone im Textfeld ausgegeben wird. Die Schwierigkeit wird hier ebenfalls auf einfach eingeschätzt, da lediglich ein Sensor und eine Ausgabe verwendet wird. Zudem muss das Programm nicht auf viele Sensorwerte reagieren.

In der Aufgabe *Diebstahl-Alarm* soll überprüft werden, ob sich jemand dem Smartphone genähert hat um es zu greifen. Es wird gemessen ob der Näherungssensor eine Annäherung gemessen hat. Ist dies der Fall, soll ein alarmierender Text im Textfeld auf dem Smartphone ausgegeben werden. Ebenfalls benötigt wird die Vibrationsfunktion als haptische Feedback. Bei einer Näherungs-Detektion soll es fünf mal für die Zeit von 1000ms vibrieren. Außerdem soll zur Ausgabe die LED alle 500 ms die Farbe wechseln, so wie in der Aufgabe *Disco*. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe ist als *Mittel* eingestuft, weil die Alarm-Ausgaben unterschiedlich lange gesteuert werden müssen. Zudem muss der Alarm-Zustand auch verlassen werden können. Berücksichtigt werden muss dann, dass alle Ausgaben wieder ihre ursprünglichen Zustände einnehmen.

Bei der Aufgabenstellung *Klatsch-Zähler* muss für einen definierten Zeitraum die Anzahl der Händeklatscher gemessen werden. Programmierer klatschen vor dem Smartphone in die Hände. Die Anzahl der Klatscher wird gemessen und auf dem Display des Smartphones ausgegeben. Verwendet wird dafür lediglich das Mikrofon zur Eingabe und das Textfeld zur Ausgabe. Die Schwierigkeit ist ebenfalls auf *Mittel* angesetzt, da die Klatscher auf den Sensor nicht immer die gleiche Intensität haben. Programmierer müssen also ausprobieren, wann es sich wirklich um ein Händeklatschen handelt und wann einfach nur Hintergrundgeräusche zu hören sind.

Bei der letzten Aufgabe *Drehzähler* soll der Programmierer das Device innerhalb eines eigenen definierten Zeitraums drehen und anhand der zurückgegeben Werte die Anzahl der Drehungen ermitteln. Diese soll anschließend im Textfeld auf dem Smartphone ausgegeben werden. Zur Verwertung kommen hier ebenfalls der Lagesensor als Sensoreingabe und das Textfeld als Ausgabe. Die Aufgabe ist als *Schwer* bewertet, da hier Wiederholungen in einer Werteabfolge erkannt werden müssen. Diese sind jedoch nicht immer exakt gleich. So muss auch ausprobiert werden, wie sich eine Umdrehung in den Messwerten äußert und wie Drehungen optimal erkannt werden können.

2.2 Anforderungen

Damit die im vorherigen Abschnitt erläuterten Beispielprogrammieraufgaben umgesetzt werden können müssen verschiedene Anforderungen an die Lösung erfüllt werden. Geringe Latenzen sind der Sensordatenübermittlung nötig um eine schnelle Reaktion der Programme auf Messergebnisse realisieren. Die Aufgabenbereiche der Lösung müssen separiert werden. Die Komponenten, die diese bearbeiten müssen über Datensparsame Protokolle miteinander kommunizieren um die Latenzen verringern.

Funktionen die aufgerufen werden um Sensormessdaten zu erhalten müssen ihre Rückgabewerte simpel gestalten. Serialisierte Formate erfordern zusätzliches Hintergrundwissen. Um auf die Ergebnisse zurückgreifen zu können müssten weitere Bibliotheken zum Parsen eingesetzt werden. Das erschwert die Umsetzung der Aufgaben. Zwar muss die Smartphone-App nicht nur Sensordaten übermitteln, sondern auch Ausgaben ermöglichen, jedoch sind diese wiederum abhängig von den Sensormessergebnissen. Ein ungehindertes Übermitteln dieser Sensormessdaten hat daher Vorrang.

Sensordaten müssen jederzeit angefragt werden können. Idealerweise liegen Sie zum Zeitpunkt der Anfrage bereits vor. Sensor-Mess-Prozesse dürfen nicht auf eine Anfrage hin gestartet, sondern vorher begonnen werden. Je rascher die Werte vorliegen desto schneller kann im Programm drauf reagiert werden. So können Experimente eher begriffen werden, da Auswirkungen in der Realität unmittelbar Auswirkungen auf das entwickelte Programm haben.

Neben der Entscheidung, wann Messprozesse auf dem Smartphone gestartet werden muss natürlich auch berücksichtigt werden, dass die Sensorwerte einen Transportweg durchlaufen. Der Transportweg beschreibt die Strecke zwischen Smartphone und Programmierungsumgebung. Diese können je nach Mobilfunk- bzw WLAN Standard, Umwelteinflüssen und Geräteanzahl variieren. Auch Round-Trip-Time (RTT) spielt eine Rolle. Während die Sie bei Standards wie WLAN 802.11b ca. 10 ms beträgt kann Sie bei UMTS auf 300 ms bis 400 ms ansteigen.[?] Um diesen Effekt zu mitigieren müssen Sensorwerte zwischengespeichert werden um einen Puffer aufzubauen auf den in Latenzfällen zugegriffen werden kann. Dies bedeutet jedoch auch, dass das Smartphone kontinuierlich in periodischen Abständen Sensorwerte senden muss, damit der Puffer gefüllt ist. Liegen die Daten vor, kann der vom Programmierer entwickelte Algorithmus Ausgaben auf dem Smartphone auslösen.

Ausgabe-Kommandos sind zwar ebenfalls von Latenzen betroffen, haben allerdings keine direkte Auswirkung auf die Entscheidungsstruktur eines Programms. Sollten Rückgabewerte trotzdem nötig sein und anfallen, ändern Sie sich nicht sehr häufig. Auf Sie muss seltener reagiert werden. Ihr Zweck besteht in einer Ausführungsmeldung, anstatt einer Meldung von Messergebnissen von denen der weitere Programmlauf abhängt. Es kann zum Beispiel überprüft werden, ob die Änderungen an den Ausgabemöglichkeiten tatsächlich stattgefunden haben.

Neben den kommunikativen Anforderungen und der Sensormessung muss die Smartphone-App auch Ausgaben bereitstellen.

Es muss eine LED geben welche die Farbe wechseln kann. Die LED muss zwischen zwei Farben wechseln können um Änderungen zu signalisieren.

Ein Textfeld muss alphanumerische Zeichen ausgeben können um sowohl Zahlen-

werte, als auch kurze Texte ausgeben zu können. Die Länge muss jedoch beschränkt sein und nur der Ausgabe von einzelnen Werten oder Wörtern dienen, nicht der Ausgabe von ganzen Textabsätzen.

Die Vibrationsausgabe ist eine haptische Ausgabe, keine Optische. Für diese muss eine Zeitdauer konfigurierbar sein um Vibrationsmuster konfigurieren zu können.

Kapitel 3

Architektur

Insgesamt besteht das Framework aus einer mobilen Anwendung für Android-Smartphones, einer programmiersprachenunabhängigen Bibliothek für Sensoranfragen und Ausgabe-Kommandos und einem Kontrollprogramm das den Nachrichtenaustausch koordiniert. Der Aufbau ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Die Lösung lässt

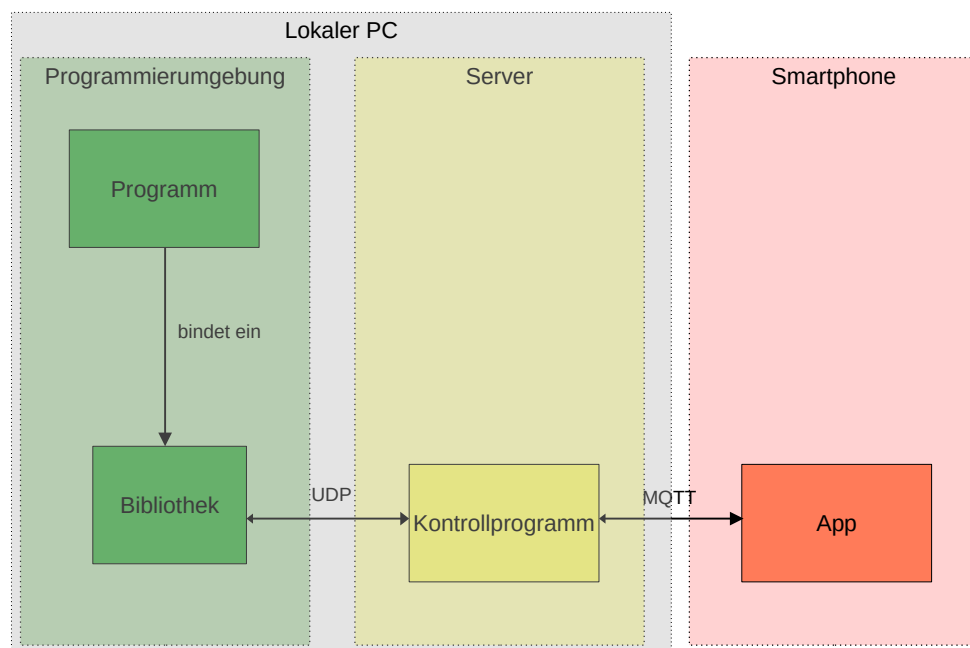


Abbildung 3.1: System-Aufbau

sich in drei Komponenten aufteilen: Einer Programmierungsumgebung, einem Kontrollprogramm und einer Smartphone-App. Die Programmierungsumgebung bildet sich aus

einer Bibliothek von der aus der Entwickler die volle Funktionalität des Frameworks nutzen kann und dem vom Entwickler geschriebenen Programm. Auf dem lokalen PC platziert sind sowohl das Kontrollprogramm und die Programmierungsumgebung. Diese bildet ein standardisiertes Interface für Funktionsaufrufe. Startet ein Entwickler einen Aufruf der Bibliothek, kommuniziert diese ihn per UDP dem Kontrollprogramm. Das Kontrollprogramm kommuniziert dann weiter über MQTT mit dem Smartphone.

MQTT ist ein Client-Server-Protokoll, das auf TCP basiert. Durch seinen platzsparenden Header von 2 Bytes und maximalen Nachrichtengröße von 260 MB ist es leichtgewichtig und gleichzeitig flexibel. Nachrichten werden an einen MQTT Broker gesendet, der die Nachrichten dann an alle Clients weiterreicht die das Topic auf dem die Nachricht gesendet wurde abonniert haben. Die UDP-Kommunikation zwischen Bibliothek und Kontrollprogramm verläuft auf dem lokalen PC über das Loopback-Interface.

Das Kontrollprogramm erfüllt drei Aufgaben: Die Beantwortung von Sensoranfragen der Bibliothek, dem Zwischenspeichern von Sensorwerten in einem Pufferspeicher und dem Weiterleiten von Ausgabe-Kommandos auf das Smartphone.

Bei Sensoranfragen werden von der Bibliothek aus an die Kontrollanwendung gesendet. Dieses beantwortet Sie mit dem aktuell vorliegenden Sensorwert. Die Sensorwerte werden fortlaufend durch das Smartphone aktualisiert. Es sendet fortwährend aktuelle Sensordaten an das Kontrollprogramm. Dieses nimmt Sie entgegen und sichert Sie in einem internen Puffer. Ausgabe-Anfragen für das Smartphone werden ebenfalls über das Kontrollprogramm an das Smartphone per MQTT gesendet.

Die Smartphone-Anwendung beginnt sobald Sie startet mit der Erhebung der Sensordaten, welche sie anschließend an die Kontrollanwendung sendet. Daneben reagiert Sie auf Ausgabeanfragen von der Bibliothek, welche bei Eingang ausführt werden.

Kapitel 4

Nachrichtenformate

Ein einheitliches Kommunikationsformat ist für den Nachrichtenaustausch unabdingbar. Der ausgearbeitete Standard definiert Nachrichten in einem Klartextformat. Als Darstellungsform wird JSON verwendet.

Die Nachrichtenformate werden als Vorlagen in einer zentralen Datei abgelegt. Diese werden in der Bibliothek, dem Kontrollprogramm und in der Smartphone-App abgespeichert und eingelesen. So ist zentral definiert welche Nachrichten es gibt, welche Felder und Datenformate Sie beeinhaltten. Neben diesen Daten sind zusätzlich noch Bezeichnungen über die nutzbaren Sensoren, sowie den ausführbaren Ausgabe-Kommandos enthalten.

Jede Nachricht weist mindestens die Angabe eines Nachrichtenformat-Typs auf. Diese sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Die Spalte *Nachrichtentyp* beschreibt die

Nachrichtentyp	Quelle	Ziel	Netzwerkprotokoll
sensor_request	Bibliothek	Kontrollprogramm	UDP
sensor_response	Kontrollprogramm	Bibliothek	UDP
update_request	Smartphone	Kontrollprogramm	MQTT
rpc_request	Bibliothek, Kontrollprogramm	Smartphone	UDP/MQTT
rpc_response	Smartphone, Kontrollprogramm	Bibliothek	UDP/MQTT

Tabelle 4.1: Nachrichten-Typen

Bezeichnung des Nachrichtentypes. Zu Übersicht sind noch *Quelle* und *Ziel* der Nachrichten beschrieben. Außerdem aufgeführt ist das verwendete Netzwerkprotokoll zur Übermittlung.

Sensor_requests werden von der Bibliothek an das Kontrollprogramm gesendet. Ihr Verwendungszweck besteht darin, einen zwischengespeicherten Sensorwert ab-

zufragen. Daher beinhaltet Sie neben dem Typ-Bezeichner auch noch das Feld `sensor_type`. Nach Eingang ermittelt das Kontrollprogramm den gewünschten Sensorwert und gibt das Ergebnis zurück.

Eine solche Antwort erfolgt im Nachrichtenformat `sensor_response`. Diese beinhaltet den vom Kontrollprogramm erschlossenen Sensordaten-Wert, `sensor_value`, als String. Sie wird von der Bibliothek entgegengenommen und als float an das aufrufende Programm des Entwicklers zurückgegeben. Da Aufrufe von der Bibliothek immer blockierend im Call-Response-Schema aufgerufen werden kann es nicht passieren, dass sich responses überholen und die Sensorwerte eines anderen Sensors für den angefragten Sensorwert eingetragen werden. Deshalb ist die Angabe des gültigen Sensor-Typs für `sensor_responses` nicht nötig.

Damit Sensorwerte vorhanden sind muss die Smartphone-App der Kontrollanwendung kontinuierlich gemessene Sensorwerte übermitteln, damit diese in den internen Puffer eingespeichert werden können um bei erhöhten Latenzen Zwischenwerte liefern zu können. Dies geschieht durch den Nachrichtentyp `update_request`. Geltungsgegenstand ist diese Nachricht für alle Art von Sensoren. Übermittelt wird daher sowohl der Sensor-Typ, als auch der gemessene Sensor-Wert um ihn für die Kontrollanwendung schnell zuordenbar zu machen und Sie in den internen Datenpuffer eintragen zu können.

Der gesamte Ablauf für Sensoranfragen ist in Abbildung 4.1 zusammengefasst dargestellt. Zu sehen sind die drei Komponenten Bibliothek, Kontrollprogramm und

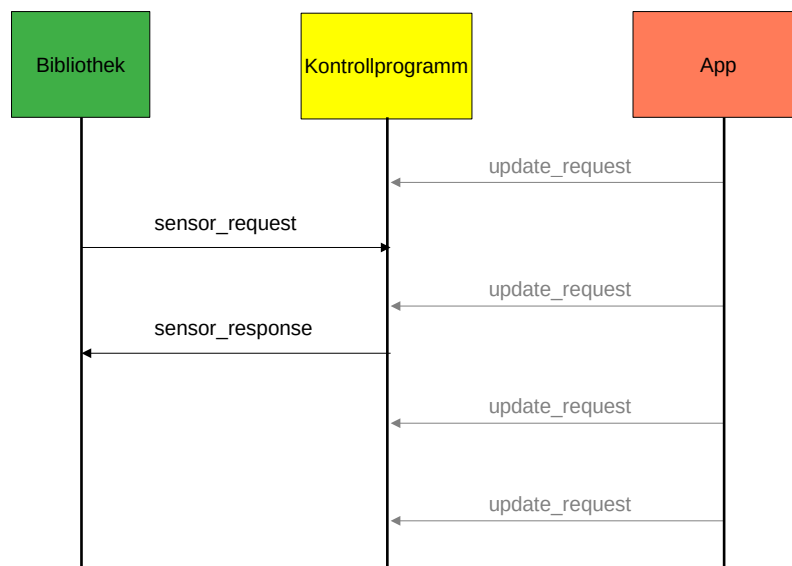


Abbildung 4.1: Nachrichtenablauf der Sensordatenübermittlung

App auf dem Smartphone. Die Bibliothek sendet `sensor_requests` per UDP an das Kontrollprogramm. Dieses antwortet über UDP mit einer `sensor_response`. Währenddessen sendet die App auf dem Smartphone kontinuierlich `update_requests` um neue Messergebnisse der Sensorwerte einzuspeichern.

Neben den Sensordaten betreffenden Nachrichten existieren auch Ausgabe-Kommandos um Ausgaben in der Smartphone-App umzusetzen. Unterscheidbar sind solche Anfragen die lediglich ausgeführt werden sollen und solche, die einen Rückgabewert erwarten. Für erstere gibt es den Nachrichtentyp `rpc_request`. RPC steht für Remote Procedure Call und bezeichnet Funktionsaufrufe die auf einem Client aufgerufen, jedoch auf einem Server ausgeführt werden. Die Bezeichnung entspricht so nicht dem Konzept, da die Smartphone-App in diesem Fall die Rolle des Servers einnimmt. Die Voraussetzung einer Client-Server-Anwendung ist nicht gegeben. Vielmehr tauschen hier gleichwertige Kommunikationspartner Daten aus. Die Bezeichnung wurde eher unter dem Fokus auf die entfernte Ausführung gewählt.

Der Nachrichtentyp enthält die Felder `command` und `value`. Ersteres beinhaltet eines der spezifizierten Ausgabe-Kommandos. Das Zweite beschreibt die Größe des Parameters für das Ausgabekommando. Es ist fast immer befüllt. Vereinzelt gibt es jedoch auch Kommandos die keinen Parameter benötigen. Dann bleibt dieses Feld leer. Die Nachricht wird von der Bibliothek, aufgrund eines Aufrufs des Programmes des Entwicklers erst per UDP an die Kontrollanwendung und von dort aus per MQTT an das Smartphone gesendet. Die Smartphone-App überprüft bei Eingang den Aufruf und setzt die gewünschte Ausgabe entsprechend um.

Manche Kommandos führen nicht nur Ausgaben aus, sondern erheben zusätzlich noch einen Rückgabewert. Damit dieser vom Smartphone zurück an die Bibliothek gesendet werden kann gibt es das Nachrichtenformat `rpc_response`. Dieses wird erst per MQTT an das Kontrollprogramm und von dort aus per UDP an die Bibliothek gesendet. Wie bei `sensor_responses` können sich die Antworten nicht gegenseitig überholen, was die Übertragung des zugrundeliegenden Ausgabe-Kommandos überflüssig macht. Nur der ermittelte Wert des Kommandos ist relevant und wird in der Nachricht übermittelt.

Der Nachrichtenablauf wird in Abbildung 4.2 nochmal übersichtlich zusammengefasst. Zu sehen sind die drei Komponenten Bibliothek, Kontrollprogramm und App auf dem Smartphone. Die Bibliothek sendet `rpc_requests` per UDP an das Kontrollprogramm. Dieses leitet die Nachricht per MQTT direkt weiter an die App. Dort wird das gewünschte Kommando ausgeführt. Fällt ein Rückgabewert an, wird eine `rpc_response` generiert und per MQTT zurück gesendet. Die Kontrollanwendung leitet die Nachricht dann per UDP weiter an die Bibliothek.

Die erstellten Nachrichtenformate decken alle Nutzungsszenarien vollständig ab.

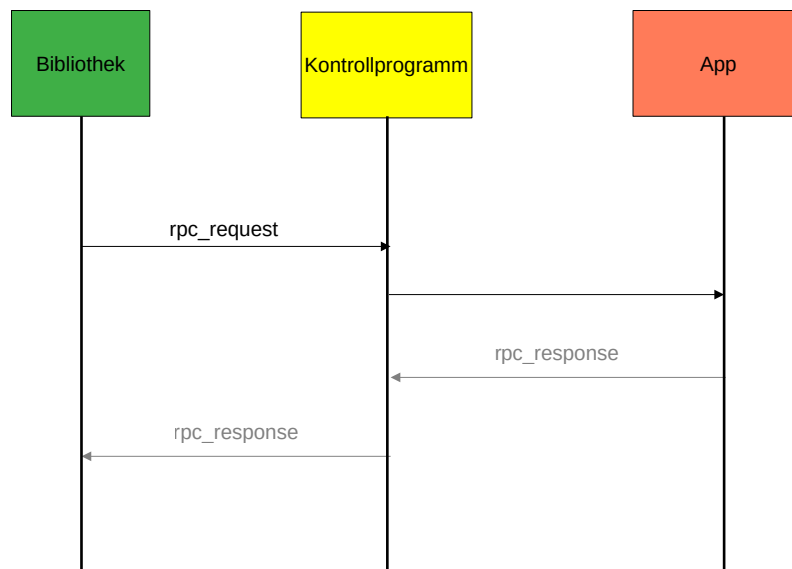


Abbildung 4.2: Nachrichtenablauf der RPC-Anfragen

Sie bilden ein solides, effizientes Grundgerüst mit Möglichkeit zur Erweiterung. Diese werden auch vom Serialisierungsformat JSON unterstützt. Neue Kommandos mit größeren Parameterwerten sind simpel umzusetzen. Neben Text könnten beispielsweise auch Binärdaten wie Bilder oder Sound-Dateien übertragen werden. Limitiert werden Sie nur von den darunterliegenden Protokollen UDP und MQTT.

Kapitel 5

Android Anwendung

Die Android-Anwendung ist eine der drei zentralen Bestandteile des Frameworks. Sie dient dazu Sensormessprozesse zu starten, Sensordaten zu übermitteln und Ausgabe-Kommandos auszuführen. Für diese bietet Sie unterschiedliche UI-Elemente in einer Activity, der RootActivity ein. Sie ist zentrale UI Schnittstelle für sämtliche Formen der Ausgaben. Diese sind: eine Signal-Led und ein Textfeld. Neben UI Elementen gibt es zusätzlich noch die haptische Ausgabe der Vibration.

Für die Grundfunktionalität benötigt die Kontrollanwendung des Frameworks Sensordaten welche Anschließend versendet werden müssen. Versandt werden die Nachrichten über einen Service, der im Hintergrund ausgeführt wird, dem MQTT-Service. Die Sensordatenerhebung funktioniert über sogenannte SensorEventListener. Sie starten Sensormessprozesse und überwachen diese auf neue Werte. In einem solchen Fall senden Sie über den MQTT-Service `update_requests` an das Kontrollprogramm. Die Anwendung versendet neben dieser Nachrichtenart auch noch `rpc_response`-Nachrichten. Erstellt werden diese von der Klasse `JsonMessageWrapper`.

5.1 Funktionsablauf

Die Erhebung der Messwerte erfolgt zum Start der Anwendung. Ein Ablaufplan ist in Abbildung 5.1 zu sehen. Asynchrone Schritte sind mit einem *A* markiert.

In der Root-Activity werden zuerst alle UI-Elemente eingebunden um Sie über Kommandos zu manipulieren. Anschließend werden Konfigurationsdaten eingelesen. Insgesamt gibt es zwei Konfigurationsdateien: `config.json` und `protocol.json`. In Ersterem ist zum Beispiel der Hostname des MQTT-Brokers, der Port oder das Topic definiert. Diese Daten sind für die Übermittlung der Nachrichten per MQTT wichtig. In `protocol.json` wird die Form der für das Smartphone relevanten Nachrichtenforma-

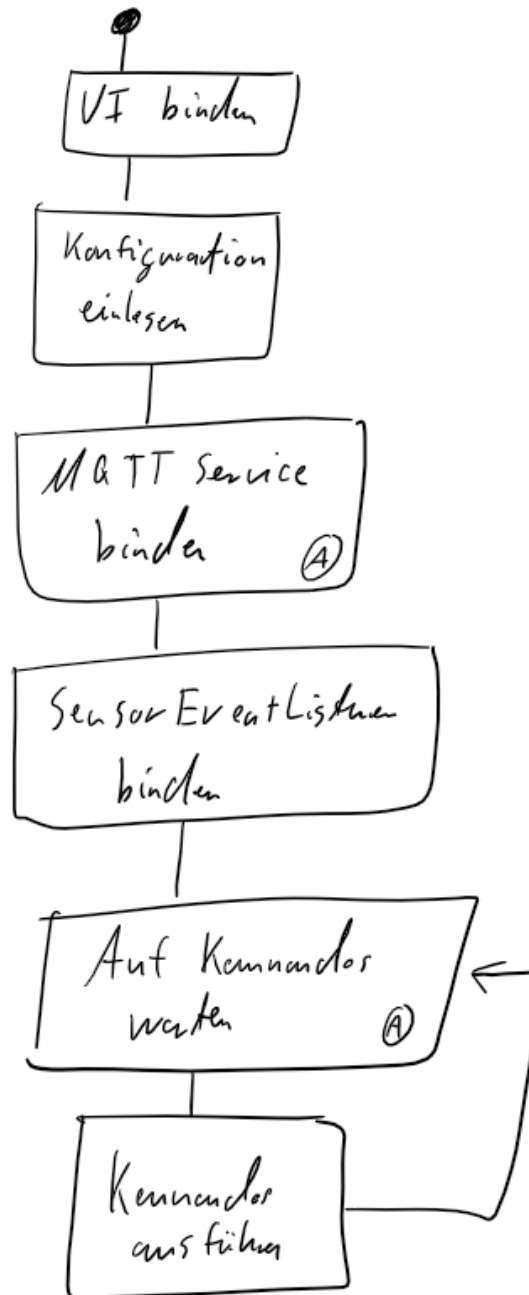


Abbildung 5.1: Ablaufdiagramm Android Anwendung

te `update_request` und `rpc_response` definiert. Außerdem sind dort die unterstützten Sensoren und Ausgabekommandos beschrieben. Relevant werden diese bei der Entscheidungsfindung bei Eingang eines `rpc_requests`, wenn determiniert werden muss welche Aktion die Nachricht beinhaltet.

Nach dem Einlesen der Konfigurationen wird der zur Kommunikation verwendete MQTT Service eingebunden. Dies geschieht asynchron. Über eine `ServiceConnection` wird beim erfolgreichen einbinden über eine Callback-Methode der weitere Verlauf definiert. Die Root-Activity speichert dann die Referenz auf den Service und der Service die Referenz auf die Root-Activity. Grund für dieses gegenseitige Einbinden ist, dass Nachrichten im MQTT Service in einem separaten Thread behandelt werden. Bei RPC-Requests müssen jedoch UI-Elemente verändert werden können. Dies ist ohne weiteres nicht aus dem Service heraus möglich. Mit einer Referenz auf die Activity kann der Service UI-Ändernde Funktionen auf der Activity ausrufen. Android unterbindet jedoch UI-Manipulationen durch Threads die nicht der UI-Thread sind. Dieses Problem wird durch die Methode `runOnUiThread` umgangen, welche die Änderung in der Ausführungswarteschlange des UIThreads einreicht. Der Service baut eine Verbindung zu einem MQTT Server auf.

Beim Einbinden des MQTT Servers stellt dieser eine Verbindung zu einem in `config.json` definierten MQTT-Broker und Topic her.

Ist der Service final eingebunden können die Sensormessprozesse gestartet werden, da Messdaten nun zuverlässig gesendet werden können. Verschiedene `SensorEventListener` werden nun gestartet und zentral in einem `SensorEventListenerContainer` gesammelt gespeichert und die Messprozesse jeweils angestoßen. Somit ist die Start-routine der Mobilen Anwendung abgeschlossen. Auf Nachrichten wird nun nur noch im MQTT-Service in einem `MessageListener` mit entsprechendem Callback reagiert.

Die Funktionsweise der Sensordatenübertragung wird in Abbildung 5.2 noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die Klasse `SmartBitEventListenerContainer` beinhaltet `SensorEventListener` für alle Arten von unterstützten Sensoren. Der Container dient lediglich der Datenhaltung. Aufgabe der `SensorEventListener` ist es auf Sensorwert-Änderungen zu reagieren und eine entsprechende Callback-Funktion aufzurufen. In dieser werden dann über statische Methoden der Klasse `JSONMessageWrapper` `update_requests` generiert und der gemessene Wert eingesetzt. Die so generierte Nachricht wird anschließend über den gebundenen MQTT-Service an das vorher definierte Topic versendet.

Die Anwendung ist nun betriebsbereit und beginnt bereits erste Nachrichten an die Kontrollanwendung zu senden. Übermittelt werden die Sensordaten an den Broker mit einer QOS-Stufe von 0. Verluste von `update_requests` sind unproblematisch, da es je nach Taktung sehr schnell neue Sensorwerte gibt die übertragen werden

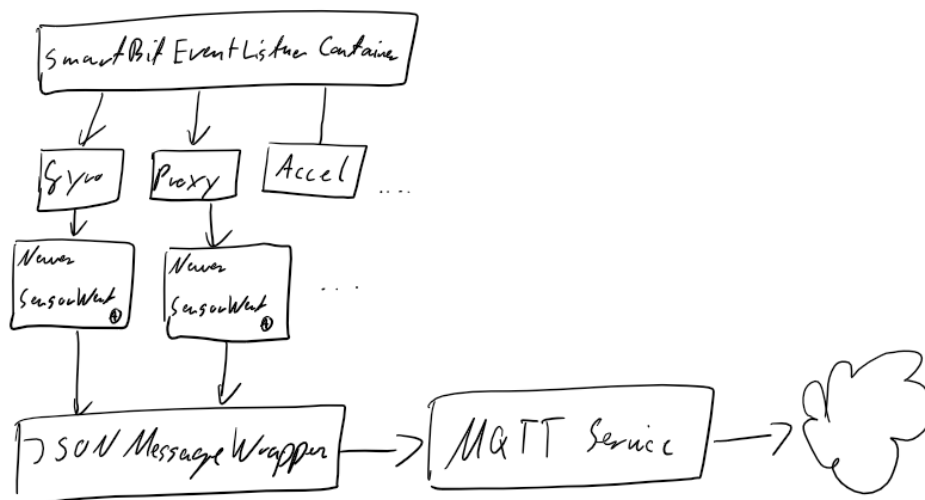


Abbildung 5.2: Ablaufdiagramm SensorEventListener

können. Eine exakte Zustellung ist hier nicht notwendig und verlangsamt eher den Übertragungsprozess.

5.2 Sensoren

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

- Lineare Beschleunigungssensoren
- Mikrophon
- Annäherungssensor
- Gyroskop

Beschleunigungs- bzw. Lagesensoren 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 [Abbildung 5.3](#) 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 Frequenz mit der Messwerte erstellt werden kann manuell angegeben werden. Hierfür stehen vier Schnelligkeitsstufen bereit. Die mit der jeweiligen Frequenz

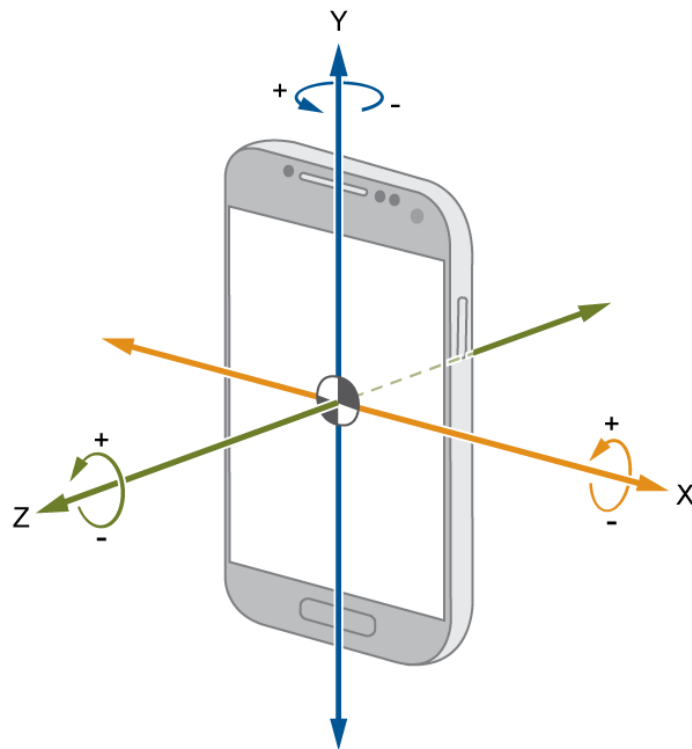


Abbildung 5.3: Android-Koordinatensystem

Bezeichnung	Verzögerung
SENSOR_DELAY_FASTEST	Keine. Verwendet die Frequenz des Sensors.
SENSOR_DELAY_GAME	20 ms
SENSOR_DELAY_UI	60 ms
SENSOR_DELAY_NORMAL	200 ms

Tabelle 5.1: Sensor-Taktgeschwindigkeiten

aufgenommenen Beschleunigungssensordaten beinhalten jedoch auch die Ergebnisschleunigung. Diese muss für die bereinigten, realen Werte zuerst noch von den aufgenommenen Werten subtrahiert werden[5].

5.3 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 5.2 zu finden.

TYPE-Kürzel	Beschreibung
accel_xyz	Lagesensor für die X, Y oder Z-Richtung
gyro_xyz	Gyroskopsensor für die X, Y oder Z-Richtung
prox	Näherungssensor

Tabelle 5.2: Sensor-Kürzel mit Beschreibung

5.4 Kommandos und Ausgaben

Für die Ausgabe auf dem Smartphone sind verschiedene Kommandos definiert. Diese sind der Tabelle ?? 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.

Kapitel 6

Kontrollanwendung

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-Liznenz stehende MQTT-Library Paho der Eclipse-Foundation zum Einsatz. [3]

6.1 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.

6.2 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 6.1 zu entnehmen.

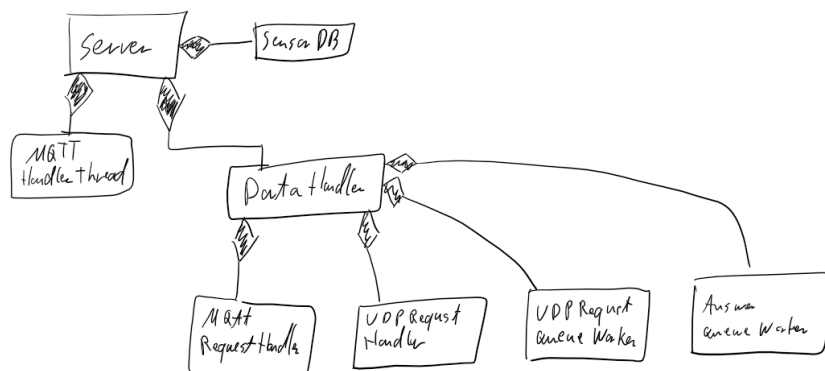


Abbildung 6.1: UML Diagramm Server

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 6.2 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 Abbildung grün, Schnittstellen zur Library per UDP, sind blau markiert.

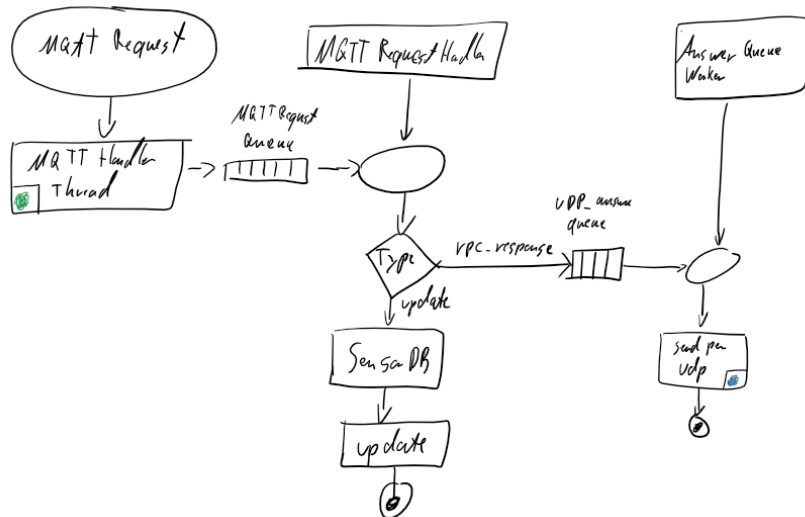


Abbildung 6.2: Ablaufdiagramm MQTT Request

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 6.3 dargestellt. Wie auch schon in der letzten Abbildung 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 Anfragentyp. Handelt es sich um eine Anfrage des Types RPC_Request soll sie Aktionen auf dem Smartphone auslösen. Sie muss an das Smartphone gesen-

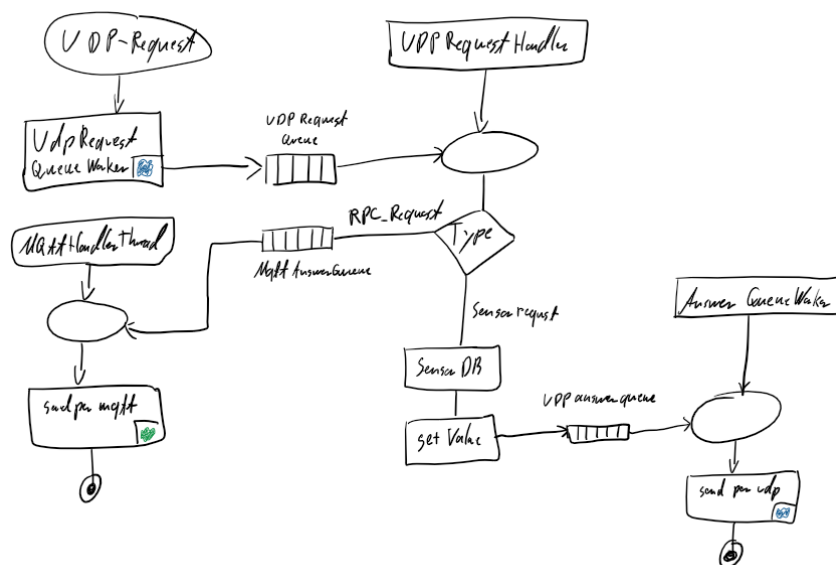


Abbildung 6.3: Ablaufdiagramm UDP Request

det 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[7] der cpython Implementierung. Es handelt sich um eine threadsichere Monitorklasse, die einen gleichzeitigen Zugriff zweier unterschiedlicher Threads durch Locks verhindert.

Kapitel 7

Programmierungumgebung

Die Bibliotheken bilden die Einstiegsstelle für Nutzer um die Anwendung fernzusteuern oder Sensorwerte abzufragen. Funktionsaufrufe liegen jeweils in den Sprachen C, Java und Python vor. Daten werden wie in Kapitel 3 in Abbildung 3.1 gezeigt per UDP an eine Serveranwendung gesendet. Diese sendet die Daten dann nach gegebenenfalls per MQTT an das Smartphone weiter, oder wieder per UDP zurück. Die Bibliotheken senden und empfangen alle jeweils Daten per UDP. Hierfür werden Sockets benötigt. Für's Empfangen muss der Socket bindet sein. Die Serveranwendung ist auf dem Port 5006 erreichbar. Antworten erwarten die Bibliotheken auf dem Port 5005.

Kapitel 8

Evaluation

In diesem Kapitel wird die Verwendung des Frameworks anhand dem Beispiel *Alarmanlage* vorgestellt. Gezeigt wird, wie die Aufgabe in der Programmierumgebung gelöst wurde und wie sich die Aufgabe auf dem Smartphone äußert. Dadurch wird überprüft, ob die Anforderungen an die Smartphone-Anwendung erfüllt wurden. Neben Anforderungen Benutzung betreffen gibt es auch welche, die die Latenzen betreffen. Transportwege müssen berücksichtigt werden. Die Zeiten werden in drei verschiedenen Umgebungen überprüft: In nächster Nähe zum MQTT-Server, in mittlerer Nähe und in einer virtuellen Umgebung über ein simuliertes NAT-Netzwerk.

8.1 Beispielverwendung

Die Verwendung der Lösung wird anhand des *Alarmanlage*-Beispiel vorgestellt. In der Programmierumgebung wird dabei die Bibliothek in Python verwendet.

Damit Nachrichten ausgetauscht werden können muss zuerst das Kontrollprogramm gestartet werden. Es wird mit dem Befehl `python ./server.py` in einer lokalen Shell gestartet. Der Vorgang wird in Abbildung 8.1 dargestellt. Es handelt sich um das Python-Skript *server.py*. Die Anwendung meldet, dass Sie sich erfolgreich

```
swt@pb22:~/thesis01/software$ python3 ./server.py
INFO:MqttHandlerThread:trying to connect to mqtt server
INFO:MqttHandlerThread:connected to server pma.inftech.hs-mannheim.de
INFO:MqttHandlerThread:mqtt subscribed to topic: 22thesis01/test
```

Abbildung 8.1: Start der Kontrollanwendung

mit dem MQTT-Broker verbunden und das korrekte Topic abonniert hat. Die Kontrollanwendung loggt neben diesen Informationen auch rpc-requests und responses.

Sensor-requests und responses werden wegen ihrer hohen Anzahl nicht geloggt.

Die Implementierung der Lösung der Aufgabe ist in Listing 8.1 vorgestellt.

```
1 from time import sleep
2 import smartbit
3
4 p = smartbit.Phone()
5
6 while True:
7     prox_val = float(p.get_proxy())
8     if prox_val == 0.0:
9         p.write_text("ALARM")
10        for _ in range(5):
11            p.vibrate(1000)
12            p.toggle_led()
13            sleep(0.2)
14        sleep(0.5)
```

Listing 8.1: Alarmanlage-Beispiel

Die Bibliothek wird in Zeile 2 importiert. Dafür muss die Datei `smartbit.py` im gleichen Ordner wie das Programm gespeichert sein. In Zeile 4 wird ein `Phone`-Objekt erstellt, über das Sensor-Auslesemethoden wie `get_x_accel()` oder Smartphone-Ausgaben wie `vibrate()` angerufen werden können. Da das Programm nie abbrechen soll, außer wenn es in der shell gestoppt wird, wird in einer `While-True` Schleife der Näherungssensor immer wieder abgefragt. Anschließend wird eine halbe Sekunde gewartet um den Server nicht mit Anfragen zu überlasten. Ist der abgefragte Näherungssensorwert wie in der achten Zeile überprüft wird 0.0, dann liegt eine Näherung vor. Auf dem Smartphone wird dann mit der Methode `write_text()` der Text `ALARM` ausgegeben. Das Smartphone vibriert 5 mal hintereinander im Abstand von 200 ms für eine Sekunde und lässt die Signal-LED blinken. Insgesamt werden die RPC-Funktionen `vibrate`, `toggle_button` und `write_text` aufgerufen. Keine dieser Funktionen liefert einen Rückgabewert.

Die Bibliothek sendet die Nachrichten an das Smartphone. Nähert sich eine Person dem Smartphone wird der Code in der `If`-Bedingung ausgeführt. Die jeweiligen Nachrichten werden als `rpc_request` per UDP an die Kontrollanwendung gesendet. Dort werden Sie angenommen, geloggt und per MQTT an das Smartphone weitergereicht. Eine Übersicht der gesendeten Nachrichten ist in Abbildung 8.2 zu sehen. Die Nachrichten werden im JSON Format übertragen. `rpc_requests` haben ein Typ-Feld, ein Kommando und einen Parameterwert für das Kommando. `Write_text` ist für Textausgaben auf dem Smartphone, `vibrate` um das Smartphone vibrieren zu


```

swt@pb22:~/thesis01/software$ python3 ./server.py
INFO:MqttHandlerThread:trying to connect to mqtt server
INFO:MqttHandlerThread:connected to server pma.inftech.hs-mannheim.de
INFO:MqttHandlerThread:mqtt subscribed to topic: 22thesis01/test
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'write_text', 'value': 'ALARM'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'vibrate', 'value': '1000'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'led_toggle', 'value': ''}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'vibrate', 'value': '1000'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'led_toggle', 'value': ''}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'vibrate', 'value': '1000'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'led_toggle', 'value': ''}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'vibrate', 'value': '1000'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'led_toggle', 'value': ''}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'vibrate', 'value': '1000'}
INFO:DataHandler:rpc request: {'type': 'rpc_request', 'command': 'led_toggle', 'value': ''}

```

Abbildung 8.2: Nachrichtenversand der Kontrollanwendung

lassen und `led_toggle` um die LED anzusprechen. Für `write_text` wird der Parameter-Wert den anzuzeigenden Text an. `Vibrate` erwartet für `value` die Zeitdauer der vibrierung in ms. `led_toggle` erwartet keinen Parameterwert, da der gesamte Aufruf lediglich die Farbe der LED wechselt. Es ist nicht vorgesehen, dass die Farbe manuell gesetzt werden kann.

Auf dem Smartphone ist die App zu Anfang im Initialmodus. Dieser ist in [Abbildung 8.3](#) dargestellt. Zu sehen sind zwei Buttons, beschriftet mit A und B. Das textfeld

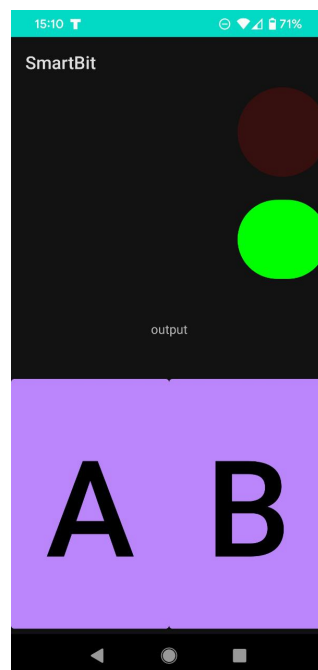


Abbildung 8.3: Initialzustand der Anwendung

liegt in der Mitte und zeigt zum Start den Text *output* an. Daneben gibt es noch eine Vorgangs-LED die ausgegraut oben rechts über der Signal-LED liegt. Sie leuchtet,

wenn gerade ein Vorgang wie das Ausführen einer Vibration auf dem Smartphone ausgeführt wird.

Nähert man sich dem Smartphone geht es über in den Alarmzustand der in Abbildung 8.4 dargestellt ist. Erkennbar ist, dass das Textfeld den Wert *ALARM* darstellt.

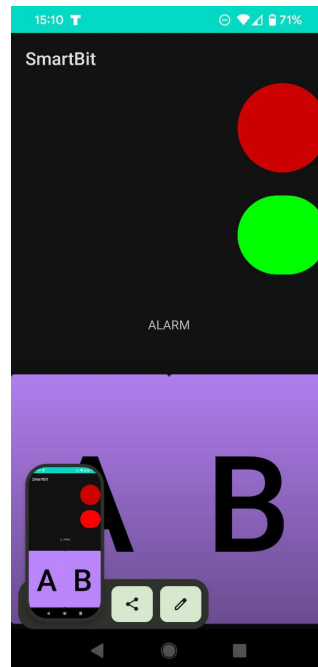


Abbildung 8.4: Initialzustand der Anwendung

Die Farbe der LED hat sich von grün auf rot und wieder auf grün geändert. Das ist erkennbar an der kleinen Screenshot-Vorschau links unten die unmittelbar vor dem in der Abbildung zu sehenden Screenshot zu sehen ist. Die Vorgangs-LED leuchtet tief rot um zu signalisieren dass gerade eine Ausgabe ausgeführt wird. Nicht sichtbar ist das haptische vibrationsfeedback. Hierfür dient jedoch die Vorgangs-LED. Sie ist auch hilfreich um bei Smartphones mit sanften Vibrationsausgaben eine Ausgabe zu erkennen.

Die Reaktionszeit liegt unter einer Sekunde. Die Ausgabe erscheint als direkter Grund der Annäherung.

8.2 Messergebnisse

Damit die Benutzbarkeit sichergestellt ist, müssen Latenzzeiten zwischen Smartphone und Programmierungsumgebung in einem akzeptablen Rahmen liegen. Um dies herauszufinden werden die Latenzzeiten gemessen. In diesem Kapitel wird die Latenzzeit

von drei Standorten aus gemessen.

Der erste Einsatzort ist im gleichen Netzbereich wie der MQTT-Broker wodurch die Transferstrecke reduziert wird. Neben der Latenzzeit zum Broker ist jedoch auch die Anzahl der angemeldeten Geräte am gleichen AccessPoint interessant. Da die Geräte in direktem Wettbewerb um Sendezeit stehen bedeuten mehr Geräte an einem AccessPoint größere Latenzen. In den Messungen werden nur WLAN-Verbindungen nach dem Standard WLAN 802.11n berücksichtigt. Es sind dabei stets beide Geräte, Lokaler PC und Smartphone per WLAN mit dem Internet verbunden. Untersucht wird lediglich die Zeitspanne zwischen `rpc_request` und `rpc_response`. Sensor_requests kommunizieren stets per loopback-interface mit der Kontrollanwendung. Daher die Latenzzeiten gering. Im Durchschnitt belaufen Sie sich auf unter 1ms. Die Messungen sind für den Fall interessant, für den Studierende an der Hochschule die Lösung nutzen möchten. Zum Beispiel in Laboren.

Der zweite Einsatzort ist ein Heimnetz, das etwa 8 Hops entfernt vom MQTT-Broker liegt. Etwa 8 Geräte sind dabei auf dem Access Point angemeldet. Die Messergebnisse sind relevant für die Heimarbeit oder das Erledigen von Hausaufgaben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8.6 dargestellt. Insgesamt wurden 100 Messungen

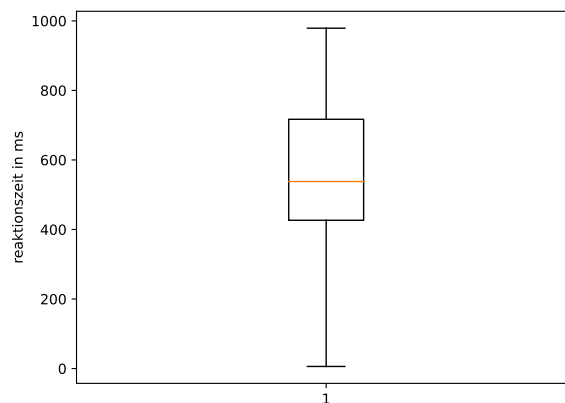


Abbildung 8.5: Zeitmessungen im Heimnetz

durchgeführt. Im Mittel beträgt die Reaktionszeit 537 ms. Die Streuung ist bei einer Standardabweichung von 238ms allerdings auch sehr breit gestreut. Alle Messungen blieben jedoch unter 1s Reaktionszeit.

Der letzte Einsatzort ist in einer virtuellen Maschine auf dem lokalen PC das über den virtuellen Netzwerkkontroller aus einem NAT-Netzbereich auf das Internet zugreift. Das Smartphone befindet sich direkt im Netzbereich des lokalen PCs. Die gemessenen Daten sind in Abbildung ?? dargestellt. Wieder wurden 100 Messungen

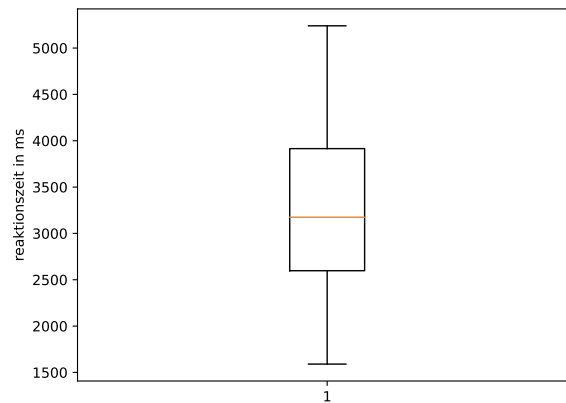


Abbildung 8.6: Zeitmessungen in der virtuellen Maschine

vorgenommen. Im Mittel beträgt die Reaktionszeit nun 3255 ms. Die Streuung ist mit einer Standardabweichung von 845 ms relativ gleichgroß. Die Reaktionszeit ist also im Durchschnitt sehr hoch, etwa sechs mal langsamer als bei einer Verwendung der Programmierumgebung auf dem Hostsystem. Eine direkte Assoziation zwischen Eingabe und Ausgabe kann nicht garantiert werden.

Kapitel 9

Fazit

Literaturverzeichnis

- [1] Martinha Piteira and Carlos Costa. Learning computer programming: Study of difficulties in learning programming. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Information Systems and Design of Communication, ISDOC '13*, page 75–80, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.

Online-Quellen

- [2] Arduino. Kits-arduino official store. <https://store.arduino.cc/collections/kits>. [letzter Zugriff: 08. Juni. 2022].
- [3] Eclipse. Paho. <https://www.eclipse.org/paho/>. [letzter Zugriff: 03. Juni. 2022].
- [4] Financesonline. Number of smartphone users worldwide 2022. <https://financesonline.com/number-of-smartphone-users-worldwide/>. [letzter Zugriff: 08. Juni. 2022].
- [5] Google. Android developers - accelerometer example. https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion#sensors-motion-accel. [letzter Zugriff: 04. Juni. 2022].
- [6] bitkom. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mit-10-Jahren-haben-die-meisten-Kinder-ein-eigenes-Smartphone>. [letzter Zugriff: 07. April. 2022].
- [7] python. queue. <https://docs.python.org/3/library/queue.html>. [letzter Zugriff: 03. Juni. 2022].