

BLE HID Hardware-Erweiterungsmodul für Drohnenfernbedienungen

Studienarbeit

des Studiengangs IT-Automotive
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

Fabian Kuffer

13. November 2022

Bearbeitungszeitraum
Matrikelnummer, Kurs
Betreuer

4. Oktober 2022 - 8. Juni 2023
2044882, TINF-20ITA
Prof. Dr. Karl Friedrich Gebhardt

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema: *BLE HID Hardware-Erweiterungsmodul für Drohnenfernbedienungen* selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Stuttgart, 13. November 2022

Fabian Kuffer

Kurzfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Quellcodeverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Motivation	2
3 Stand der Technik	3
4 Technische Grundlagen	4
4.1 Bluetooth	4
4.1.1 Allgemein	4
4.1.2 Benötigte Komponenten eines Bluetooth Low Energy (BLE)-Geräts . .	5
5 Umsetzung	9
6 Validierung und Gegenüberstellung	10
6.1 Validierung des Funktionsumfangs	10
6.2 Validierung der Leistung	10
6.3 Gegenüberstellung BLE-Modul und USB-Verbindung	10
7 Rekapitulation und Ausblick	12
Literatur	13
Anhang	14

Abkürzungsverzeichnis

BBR	Bluetooth Basic Rate
BLE	Bluetooth Low Energy
SIG	Special Interest Group
HCI	Host Controller Interface
L2CAP	Logical Link Control and Adaption Protocol
GAP	Generic Access Profile
ATT	Attribute Protocol
GATT	Generic Attribute Profile
SMP	Security Manager Protocol
PHY	Physical Layer
LL	Link Layer
SDP	Service Discovery Protocol
CID	Kanalidentifizierer
UUID	universal unique identifier

Abbildungsverzeichnis

1	Frequenzband mit Kanälen von BLE [2, S. 4]	4
---	--	---

Tabellenverzeichnis

Quellcodeverzeichnis

1 Einleitung

Enthält Problemstellung, Ziel und Vorgehensweise der Arbeit (Gegenstand und Ziele der Arbeit/Aufgabenbeschreibung, geplante Vorgehensweise, Einführung in Thema, Motivation der Aufgabenstellung/Vorausblick)

Grundlagen (z.B. Stand der Technik/Forschung)

Hauptteil (Anforderungsdefinition, Anforderungsanalyse, Lösungsgenerierung, Lösungsbewertung, Umsetzung), ggf. in mehreren sinnvollen Gliederungspunkten

Kritische Reflexion und Ausblick

Aufteilung in T2000: Einleitung, Stand zu Beginn der Arbeit, Aufgabenstellung (mit den einzelnen Bestandteilen), Stand der Technik, Technische Grundlagen, Umsetzung, Rekapitulation und Ausblick

Gliederung einmal aufstellen

Bilder bis jetzt erstellen

Alles bis technische Grundlagen einmal schreiben

2 Motivation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3 Stand der Technik

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

4 Technische Grundlagen

4.1 Bluetooth

4.1.1 Allgemein

Bluetooth ist ein Kurzstreckenkommunikationssystem, bei welchen die Hauptmerkmale auf Robustheit, einen geringen Stromverbrauch und geringe Kosten gelegt wurde. Bluetooth wird in zwei Kategorien aufgeteilt. Die erste Kategorie ist Bluetooth Basic Rate (BBR). Die zweite Kategorie ist BLE. Beide Kategorien beinhalten dabei Mechanismen, um Bluetooth-Geräte zu entdecken, einen Verbindungsaufbau durchzuführen sowie eine Verbindung herzustellen. Das Augenmerk bei BLE Produkten liegt dabei auf einen niedrigen Stromverbrauch, welche durch eine geringere Datenrate und eine geringere Einschaltdauer während den Datenaustausch als bei BBR realisiert wird. Die Übertragungsrate bei BLE in der physikalischen Schicht beträgt 2 MB/s. Zu beachten ist, dass ein Bluetooth-Controller entweder nur BLE, BBR oder beide Bluetooth-Kategorien unterstützen kann. [1, S. 187]

Die Übertragungsfrequenz von BLE ist im lizenzfreien 2.4 GHz ISM-Band von 2402 MHz bis 2480 MHz [2, S. 4], [1, S. 190]. Das Frequenzband ist in 40 physikalische Kanäle mit jeweils einer Bandbreite von 2 MHz aufgeteilt, wie in Abbildung 1 zu sehen ist [1, S. 190]. Drei dieser 40 physikalischen Kanäle sind für das sogenannte Advertising vorhanden [1, S. 190], welches für die Geräteentdeckung, den Verbindungsaufbau und für das Broadcasting von Nachrichten vorhanden ist [2, S. 4]. Die restlichen Kanäle sind für eine allgemeine Datenübertragung vorhanden [1, S. 190]. Zusätzlich zu der Aufteilung des Frequenzbandes in Kanäle werden Kanäle in Zeiteinheiten aufgeteilt, welche Events genannt werden [1, S. 190]. Daten werden in Paketen innerhalb eines Events übertragen. Zusätzlich wird bei der Übertragung von Daten Frequenzhopping betrieben, welches zu Beginn jedes Events stattfindet [1, S. 190f.].

Bild anpassen und schreiben, abgewandelt von ...

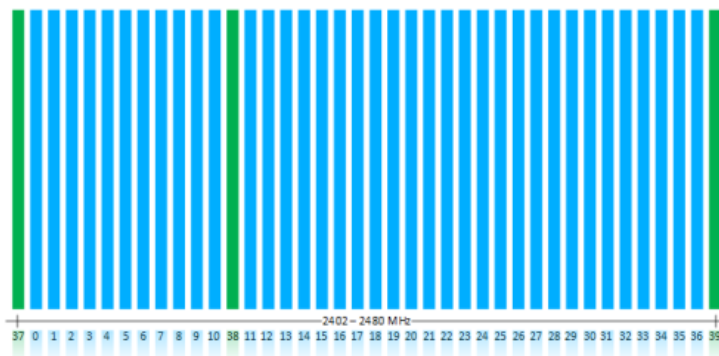


Abbildung 1: Frequenzband mit Kanälen von BLE [2, S. 4]

Die Kompatibilität zwischen Bluetooth-Geräten wird durch sogenannte Profile sichergestellt. Profile beschreiben dafür Funktionen und Eigenschaften von jeder Schicht im Bluetoothsystem [1, S. 277]. Ebenso werden die benötigten Nachrichten und Prozeduren für die verwendeten Profile durch die Bluetooth Special Interest Group (SIG) spezifiziert [1, S. 1241].

Bluetooth-Geräten werden unterschiedliche Rollen zugewiesen. Dafür gibt es die Rollen Observer, Broadcaster, Central und Peripheral. Ein Gerät in der Rolle Broadcaster verschickt Advertising-Pakete und ein Gerät welches nur Advertising-Pakete empfangen kann hat die Observer Rolle. So kann eine einseitige Kommunikation zwischen Geräten mittels Advertising-Paketen erfolgen. Eine andere Art der Kommunikation ist mittels einer Verbindung bei dem das Initiatorgerät eine Verbindungsanfrage eines Broadcastergeräts annimmt. Daraufhin bekommt das Initiatorgerät die Rolle Central und das Gerät welches ursprünglich in der Rolle Broadcaster war, die Rolle Peripheral. Anzumerken ist, dass ein Gerät zu jeder Zeit mehrere Rollen unterstützen kann, welche jedoch alle der Bluetooth-Controller unterstützen muss. [1, S. 190f., S. 278, S. 1246ff.]

4.1.2 Benötigte Komponenten eines BLE-Geräts

Ein BLE-Gerät benötigt einen Mindestumfang an Funktionen damit es laut Bluetooth SIG BLE kompatibel ist. In Abbildung sind die benötigten Funktionen und deren Zusammenspiel durch ein Schichtenmodell dargestellt. Die Funktionen können dabei in einen Hostteil und einen Controllerteil aufgeteilt werden. Im Hostteil befinden sich die Funktionen Logical Link Control and Adaption Protocol (L2CAP), Generic Access Profile (GAP), Attribute Protocol (ATT), Generic Attribute Profile (GATT), Service Discovery Protocol (SDP) und Security Manager Protocol (SMP). Im Controllerteil befinden sich die Funktionen Physical Layer (PHY) und Link Layer (LL). Die Kommunikation zwischen dem Hostteil und dem Controllerteil finden mittels des Host Controller Interface (HCI) statt [1, S. 1735]. [1, S. 193]

Referenz
hinzufügen

Bild erstellen

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Informationen jeder benötigten Funktion von BLE beschrieben.

Physical Layer (PHY)

Die physikalische Schicht in BLE ist zum Versenden und erhalten von Paketen über eines der physikalischen Funkkanäle verantwortlich. [1, S. 209]

Link Layer (LL)

Die Verbindungsschicht im BLE-System besteht aus mehreren Komponenten. Eine Komponente ist für die Erstellung, Modifizierung und das Freigeben von logischen Verbindungen zuständig. Eine weitere Komponente ist für das Kodieren und Dekodieren von Bluetooth Paketen zuständig. Auch gibt es eine Komponente welche für die Datenflusskontrolle, die Datenbestätigung und für die Wiederübertragung von Paketen zuständig ist. Die letzten Komponenten in der Verbindungsschicht ist für den Zugriff auf das Radiomedium zuständig. Dafür gibt es einen

Scheduler, welcher Zeitschlitze des physikalischen Mediums an die höherliegenden Dienste verteilt. [1, S. 207f.]

Host Controller Interface (HCI)

Das Host Controller Interface stellt die Möglichkeit bereit, dass der Hostteil die Funktionen des Controllerteil erreichen kann. Die Übertragung des HCI kann dabei wahlweise mittels USB, UART oder anderen Bussystemen stattfinden. [1, S. 1735f.]

Logical Link Control and Adaption Protocol (L2CAP)

Das Logical Link Control and Adaption Protocol ist die Schicht im BLE-Stack, welches eine kanalbasierte Abstraktion zu den Applikationen und Diensten der höheren Schichten bereitgestellt. Diese Schicht kümmert sich zusätzlich, um die Segmentierung, den Zusammenbau, das Multi- und Demultiplexing von Daten auf einer beziehungsweise mehreren logischen Verbindungen. [1, S. 195, S. 1013]

Logical Link Control and Adaption Protocol baut dabei auf dem Konzept von logischen Kanälen auf, wobei jeder Endpunkt eines logischen Kanals einen eindeutigen Kanalidentifizierer (CID) hat [1, S. 1021]. Die logischen Kanäle werden über logische Verbindungen der LL-Schicht übertragen [1, S. 1013].

Generic Access Profile (GAP)

Das Generic Access Profile beschreibt die Basisfunktionalitäten welche ein BLE-Gerät benötigt [1, S. 207]. Dabei werden auch alle, in diesem Kapitel vorgestellten Schichten als Mindestanforderung aufgelistet und die alle benötigten Fähigkeiten die eine BLE-Rolle benötigt [1, S. 277f., S. 1241].

Weitere wichtige Eigenschaften die in GAP definiert sind, ist zum einen die Bluetooth-Geräteadresse. Diese Geräteadresse wird verwendet, um ein Bluetooth-Gerät eindeutig zu identifizieren. Eine weitere Eigenschaft, welche in GAP definiert wird, ist der Geräteiname. Dieser Name ist eine benutzerfreundliche Zeichenfolge der an entfernten Geräten angezeigt wird. Der Geräteiname kann bis zu 248 Byte lang sein und sollte in UTF-8 kodiert sein. Es muss davon ausgegangen werden, dass ein Gerät nur die ersten 40 Zeichen verwenden kann. [1, S. 1251ff.]

Damit eine Verfolgung von Geräteadressen minimiert werden kann, gibt es in BLE zwei Arten von Geräteadressen. Zum einen eine sich verändernde öffentliche Adresse, welche an allen BLE-Geräte verschickt wird. Zum anderen gibt es sich nicht verändernde private Adressen, welche von Geräten ausgerechnet werden kann, welche schon einmal eine Verbindung mit dem Gerät aufgebaut haben. Damit können Geräte, welche schon einmal mit einem anderen Gerät verbunden waren, überprüfen, ob es sich um ein bereits bekanntes Gerät handelt. [2, S. 18]

Auch wird in GAP beschrieben, wie der Bluetooth-Pin für eine Authentifizierung zweier Geräte im Verbindungsmodus aufgebaut sein muss. Diese Pin ist sechs Zeichen lang und besteht aus Ziffern. [1, S. 1253]

Zu guter Letzt, beschreibt **GAP** noch die verschiedenen Sicherheitsmodi, welche durch die verschiedenen **BLE**-Rollen implementiert sein müssen [1, S. 1337].

Service Discovery Protocol (SDP)

SDP stellt die Möglichkeit bereit, die verfügbaren Dienste und die zugehörigen Merkmale eines Bluetooth-Geräts für entfernte Geräte sichtbar zu machen [1, S. 1173]. Dabei pflegt das Gerät, welches **SDP** bereitstellt, eine Liste aller Dienste und Merkmale des Geräts [1, S. 1177].

Security Manager Protocol (SMP)

SMP definiert Methoden zum Verbindungsaufbau und zum Schlüsselaustausch zwischen Bluetooth-Geräten [1, S. 1554]. Die gerätespezifischen Schlüssel, werden für die Identifizierung von Geräten und für den verschlüsselten Datenaustausch zwischen Geräten verwendet [1, S. 1556], [2, S. 18].

Der Verbindungsaufbau und der dazugehörige Schlüsselaustausch für die Identifizierung der Geräte erfolgt in 3 Phasen. Die erste Phase ist die Anfrage für einen Verbindungsaufbau. Die zweite Phase, nach einer erfolgreichen Anfrage, ist die Generierung eines Schlüssels mit einer kurzen oder langen Lebenszeit. Die letzte Phase ist die Bereitstellung der generierten Schlüssel an die Gegenstelle. [1, S. 1556]

Zu beachten ist, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt einen Verbindungsaufbau herzustellen, der abhängig von den Sicherheitsansprüchen der Anwendung definiert werden kann [2, S. 18].

Attribute Protocol (ATT)

ATT ist ein Teilnehmer-zu-Teilnehmer Protokoll zwischen zwei Geräten [1, S. 206]. **ATT** definiert dabei zwei Rollen, den Client und den Server [1, S. 1410]. **ATT** erlaubt es Geräten – Clients – kleine Werte – sogenannte Attribute [1, S. 279] – zu lesen, zu schreiben und zu entdecken, welche sich auf dem Gerät mit der Rolle Server befinden [1, S. 1409]. Ein Gerät kann simultan in der Rolle Server und Client sein [1, S. 279].

Ein Attribut besteht jeweils aus drei Eigenschaften. Die erste Eigenschaft ist der Attribut-Typ, welcher durch eine universal unique identifier (**UUID**) definiert wird und in **SDP** definiert sind. Die zweite Eigenschaft ist der Attribut-Handle. Der Attribut-Handle ist ein einzigartiger Identifikator für ein Attribut auf einem Gerät mit der Server-Rolle. Dadurch das Handle ist das Attribut eindeutig auf dem Gerät definiert. Die letzte Eigenschaft eines Attributs sind die Berechtigungen, welche durch eine höhere Schicht definiert werden muss. [1, S. 1410ff.]

Attribut-Handles haben eine Länge von 16 Bit und können durch weitere spezielle Attribute gruppiert werden [1, S. 1412f.]. Die Entdeckung aller vorhandenen Attribute eines Servers durch einen Client erfolgt durch eine höhere Schicht des **BLE**-Stacks [1, S. 1410].

Die hinterlegten Werte eines Attributs bestehen aus einem Oktett-Array mit einer fixen oder variablen Länge [1, S. 1413].

Generic Attribute Profile (GATT)

GATT baut auf ATT auf und stellt ein Framework für die Daten, welche in ATT gespeichert werden, bereit. GATT stellt wie ATT zwei Rollen – den Server und den Client – bereit. Ebenso definiert GATT das Format der Daten, welche auf dem GATT-Server gespeichert werden dürfen, in sogenannten Profilen. Attribute werden hierfür in Profile, Dienste und Merkmale untergliedert, wie in Abbildung zu sehen ist. Ein Applikationsprofil besteht aus einem oder mehreren Diensten, um bestimmte, definierte Use-Cases abzudecken und definiert darüber hinaus die benötigten Dienste, Merkmale und Attribute [1, S. 207]. Ein Dienst enthält eine Ansammlung von Merkmalen und kann andere Dienste inkludieren. Ein Merkmal enthält ein Wert, sowie eine Menge von Deskriptoren. Durch diesen Aufbau ist es einem Client möglich die Daten eines bestimmten Profils auszulesen ohne davor den Aufbau der Attribute des Servers kennen zu müssen. [1, S. 280, S. 1480]

Referenz
hinzufügen

Anzumerken ist, dass jedes Attribut, welches in ATT vorhanden ist, entweder in einer Dienstdeklaration oder in einer Dienstdefinition enthalten sein soll. [1, S. 1483]

Bild hinzufügen

Das GATT-Profil soll von anderen Profilen als Grundstruktur verwendet werden, damit eine reibungslose Kommunikation zwischen einem Client und Server sichergestellt werden kann, wie in Abbildung zu sehen ist. [1, S. 1470]

Referenz
hinzufügen

Bild hinzufügen

Ein Dienst stellt unter GATT eine Ansammlung von Daten dar, um ein bestimmtes Verhalten durch das vorhandene Gerät darzustellen. Ein Dienst kann zur Vereinfachung der Verhaltensdarstellung weitere Dienste inkludieren. Dienste können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zunächst einmal in die primären Dienste. Primäre Dienste bieten alleinstehende Funktionalitäten an. Im Gegensatz dazu gibt es sekundäre Dienste, welche optionale Funktionalitäten enthalten und von mindestens einem primären Dienst inkludiert werden müssen. [1, S. 281]

Die Definition eines Dienstes umfasst die inkludierten Dienste sowie die benötigten und optionalen Merkmale [1, S. 1481].

Der Start eines Dienstes in der Liste der ATT-Attribute wird durch ein spezielles Attribut festgelegt, mit dem Attribut-Typ *primärer Dienst* oder *sekundärer Dienst*. Das Ende eines Dienstes wird durch eine Folgedeklaration eines neuen Dienstes festgelegt. [1, S. 1483]

Merkmale sind Werte eines Dienstes, welche aus mehreren ATT-Attributen besteht. Ein Merkmal besteht aus drei Komponenten. Der Deklaration, den Eigenschaften des Merkmals und dem dazugehörigen Wert. Zusätzlich können noch Deskriptoren in einem Merkmal enthalten sein, um die Berechtigungen des Merkmals zu setzen. [1, S. 281]

Der Start eines Merkmals in der Liste der ATT-Attribute wird durch ein spezielles Attribut festgelegt, welche den Attribut-Typ *Merkmal* enthält. Das Ende eines Merkmals stellt eine neue Merkmaldeklaration oder eine neue Dienstdeklaration dar. [1, S. 1484ff.]

5 Umsetzung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum. asdf

6 Validierung und Gegenüberstellung

6.1 Validierung des Funktionsumfangs

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

6.2 Validierung der Leistung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

6.3 Gegenüberstellung BLE-Modul und USB-Verbindung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus.

Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

7 Rekapitulation und Ausblick

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Literatur

- [1] *Bluetooth Core Specification*, Revision v5.3, Bluetooth SIG, 2021.
- [2] *UG103.14: Bluetooth LE Fundamentals*, Revision 0.7, SILICON LABS.

Anhang

- A. Assignment
- B. List of CD Contents
- C. CD

B. List of CD Contents