



# EINFÜHRUNG IN BLUETOOTH LOW ENERGY

IoT-Workshop – smarte Christbaumkugel

**T-Systems on site services GmbH**

Handbuch- Bluetooth Low Energy

Version: 1.00

Gültig ab:

01.11.2019

Mit Veröffentlichung dieses Dokumentes verlieren alle bisherigen Versionen ihre Gültigkeit!

# IMPRESSUM

---

**Herausgeber**

T-Systems on site Services GmbH  
Fasanenweg 5  
70771 Leinfelden-Echterdingen

---

**Version****Letztes Review**

1.00

01.11.2019

---

**Kurzbeschreibung**

Grundlegende Informationen zu Bluetooth Low Energy sowie zum Aufbau und der Funktionsweise, als Vorbereitung für die Umsetzung der smarten Christbaumkugel.

---

---

Copyright © 01.11.2019 by T-Systems onsite Services GmbH

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Was ist Bluetooth/Low Energy.....</b>	<b>5</b>
1.1	Ein Blick zurück .....	5
1.2	Kompatibilität von Bluetooth und Bluetooth Low Energy .....	6
1.3	Einsatzgebiete .....	6
<b>2</b>	<b>BLE Protokoll Stack.....</b>	<b>7</b>
2.1	Zustandsautomat .....	7
2.2	Senden .....	8
2.3	Gerät finden .....	8
2.4	Verbinden .....	8
<b>3</b>	<b>Profile .....</b>	<b>9</b>
3.1	Service.....	9
3.2	Charakteristik.....	10

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kompatibilität zwischen Singel-, Dual-, und classic Mode.....	6
---	---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bluetooth Low Energy Protokoll Stack.....	7
Abbildung 2 Profil kapselt mehrere Services .....	9
Abbildung 3 Darstellung der Service in nRF Connect.....	10
Abbildung 4 Ein Service kapselt verschiedene Charakteristiken .....	10
Abbildung 5 Darstellung einer Charakteristik in der nRF Connect App.....	10
Abbildung 6 Aufbau einer Charakteristik .....	10

# 1 WAS IST BLUETOOTH/LOW ENERGY

Bluetooth ist ein internationaler Standard, mit dem Geräte über eine Funkverbindung kommunizieren können. Es ist bestens für die Kurzstreckenübertragung geeignet und zudem sehr günstig zu Erwerben.

Hintergrund der Entwicklung war, die seriellen Kabel beim Datenaustausch zwischen zwei oder mehreren Geräten zu ersetzen und die Vernetzung mehrerer Geräte somit flexibler und einfacher zu machen. Über die Jahre hinweg, ist der Anwendungsbereich der Bluetooth Technologie jedoch enorm gewachsen und bietet mittlerweile viele Anwendungsmöglichkeiten. Heutzutage ist Bluetooth weit verbreitet, so gut wie jedes Notebook, Handy oder Tablet besitzt Bluetooth. Außerdem wird es oft in Lautsprechern, Headsets, Kameras oder Peripheriegeräten Geräten wie Maus und Tastatur eingesetzt.

Um den Einsatz auch in mobilen Geräten, welche nur mit einem kleinen Akku betrieben werden, zu gewährleisten, wurde die Erweiterung Bluetooth Low Energy der Bluetooth Spezifikation 4.0 hinzugefügt. Wie der Name schon sagt, wurde hier das Ziel eines geringen Stromverbrauchs verfolgt. Dadurch können Geräte, die nur mit einer kleinen Knopfbatterie betrieben werden, mehrere Monate oder Jahre ohne erneutes aufladen betrieben werden.

## 1.1 Ein Blick zurück

Bluetooth entstand 1994 durch eine Machbarkeitsstudie des Unternehmens Ericsson, in der sie versuchten eine alternative zu entwickeln, um Handys mit Handy-Zubehör ohne Kabel zu verbinden. Es sollte eine Funktechnik entwickelt werden, mit der die Kommunikation von Geräten ohne direkten Sichtkontakt möglich ist. Schon früh spielte "low-power" und "low-cost" eine entscheidende Rolle. Ericsson merkte auch, dass ein offener Standard benötigt wird, damit sich die Technik erfolgreich auf dem Markt etabliert. Da die Studie erfolgreiche Ergebnisse lieferte, verbündeten sich 1998 die Unternehmen Ericsson, Intel, IBM, Nokia und Toshiba und gründeten die Bluetooth SIG, um die Entwicklung einer offenen Spezifikation voranzutreiben (Bluetooth Special Interest Group).

Die Arbeiten an der Funktechnik starteten unter dem Namen "Multi-Communicator Link". Mit der Gründung der Bluetooth SIG wurde der Name „Bluetooth“ offiziell für die Funktechnik angenommen. Das Wort Bluetooth wurde dabei in Anlehnung an den dänischen Wikinger und König Harald Blåtand (eng. Bluetooth) gewählt. Dieser lebte im zehnten Jahrhundert und vereinigte Dänemark und Norwegen. Möglicherweise war diese Tat ausschlaggebend für die Benennungen der Technologie. Genau wie Harald Blatand, will Bluetooth Sachen miteinander "vereinen" bzw. zusammenschließen, um miteinander zu kommunizieren.

Ein Jahr darauf, 1999, veröffentlichte die Bluetooth SIG die erste Version der Bluetooth Spezifikation. Daraufhin folgten weitere Versionen, die einen immer größeren Datendurchsatz und eine immer höhere Geschwindigkeit zum Ziel hatten.

Bluetooth Low Energy kam als Teil der Bluetooth Spezifikation 4.0 im Jahr 2010, wodurch sich die Ziele grundlegend verändert haben. Bei BLE wurde dahingegen eine radikale Änderung vorgenommen. Hauptziel dabei ist, so energiesparend wie möglich zu arbeiten. Der Datendurchsatz spielt dabei keine entscheidende Rolle. Der eigentliche Anwendungsfall besteht darin kleine Daten zu übertragen, und zwar nur dann, wenn sie gebraucht werden. Das bedeutet allerdings auch, dass einige Kernkomponenten von Bluetooth neu entworfen wurden und sich BLE somit in einigen Aspekten anders verhält wie das klassische Bluetooth. 2016 veröffentlichte die Bluetooth SIG die momentan aktuellste Version 5.

## 1.2 Kompatibilität von Bluetooth und Bluetooth Low Energy

Heutzutage gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Bluetooth Geräten mit vielen verschiedenen Versionen von vielen verschiedenen Herstellern von Bluetooth. Damit diese reibungslos miteinander kommunizieren können ist die Abwärtskompatibilität eine grundlegende Voraussetzung. Grundsätzlich sind alle Bluetooth Versionen abwärtskompatibel. Zusatzfunktionalitäten wie High Speed (HS) oder Enhanced Data Rate (EDR) sind jedoch nicht Abwärtskompatibel und können nicht zusammen mit einer älteren Version genutzt werden.

Mit der Einführung von BLE entstand jedoch eine neue Klassifizierung von Bluetooth. BLE unterscheidet sich in vielen wichtigen Aspekten und auch im Protokoll Stack. Demnach muss man heute zwischen klassischem Bluetooth und Bluetooth Low Energy unterscheiden. Unter klassischem Bluetooth versteht man Bluetooth bis zur Version 4.0, also die Art von Bluetooth die für großen Datendurchsatz gedacht ist (Basic Rate und Enhanced Data Rate). Die andere Klassifizierung ist Bluetooth low Energy, Energiesparend ohne das Ziel große Datenmengen zu übertragen. Ein Gerät kann allerdings klassisches Bluetooth, Bluetooth low Energy oder beides unterstützen. Dies nennt man dann classic-, Single- oder Dual Mode oder auch Smart und Smart Ready.

Tabelle 1 Kompatibilität zwischen Singel-, Dual-, und classic Mode

	<b>Singel Mode</b>	<b>Dual Mode</b>	<b>Classic Mode</b>
<b>Singel Mode</b>	JA	JA	NEIN
<b>Dual Mode</b>	JA	JA	JA
<b>Classic Mode</b>	NEIN	JA	JA

## 1.3 Einsatzgebiete

Bluetooth ist mittlerweile eine etablierte Funktechnik und in jedem Smartphone und vielen anderen Geräten wie Lautsprecher und Notebooks verbaut. Allerdings muss man bei den Einsatzgebieten zwischen klassischem Bluetooth und Bluetooth Low Energy unterscheiden, da sich BLE in vielen Aspekten anders verhält und es aufgrund des geringeren Datendurchsatzes für andere Anwendungsfälle gedacht ist. Dadurch, dass bei BLE das Hauptmerkmal auf den geringen Stromverbrauch gelegt wurde, bietet sich der Einsatz für smarte mobile Anwendungen mit einem geringen Datendurchsatz an.

Typische Anwendungen mit Bluetooth übertragen viele Daten in einer kurzen Zeit. Beispiele dafür wären:

- Das Synchronisieren eines Kalenders von einem Smartphone mit einem Computer.
- Musik Streaming von einem Smartphone zu einem Audiogerät
- Das Senden von Dokumenten von einem Gerät zu einem oder mehreren Geräten
- Drahtlose Tastatur und Maus

Bei der Entwicklung ging es nicht darum Bluetooth zu optimieren, sondern einen neuen Markt für Bluetooth zu erschließen. Dadurch hat sich eine Reihe von neuen Einsatzmöglichkeiten für Bluetooth eröffnet. In den verschiedensten Bereichen, wie im Gesundheitsbereich, im Fitnessbereich, für die Indoor Navigation und auch im Bereich Smart Home kann und wird BLE eingesetzt. Dabei geht es immer um die Übertragung von kleinen Datenmengen von kleinen Geräten mit wenig Energiekapazität. Die Nutzung liegt demnach meist im mobilen Bereich, mit dem Ziel, so wenig Energie wie möglich zu verbrauchen.

## 2 BLE PROTOKOLL STACK

Bluetooth Low Energy unterscheidet sich in vielen Punkten von classic Bluetooth. Der Protokoll Stack muss vielen neuen Anforderungen gerecht werden, wie zum Beispiel das Energiesparende Arbeiten oder die Kostengünstige Produktion. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde der Protokoll Stack von BLE komplett überarbeitet. Einige Schichten wurden behalten, jedoch angepasst, andere wurden komplett entfernt oder durch neue ersetzt. Aus diesem Grund ist Bluetooth Low Energy nicht kompatibel mit den vorherigen Bluetooth Spezifikationen, wodurch vermehrt Dual-Mode Geräte zum Einsatz kommen.

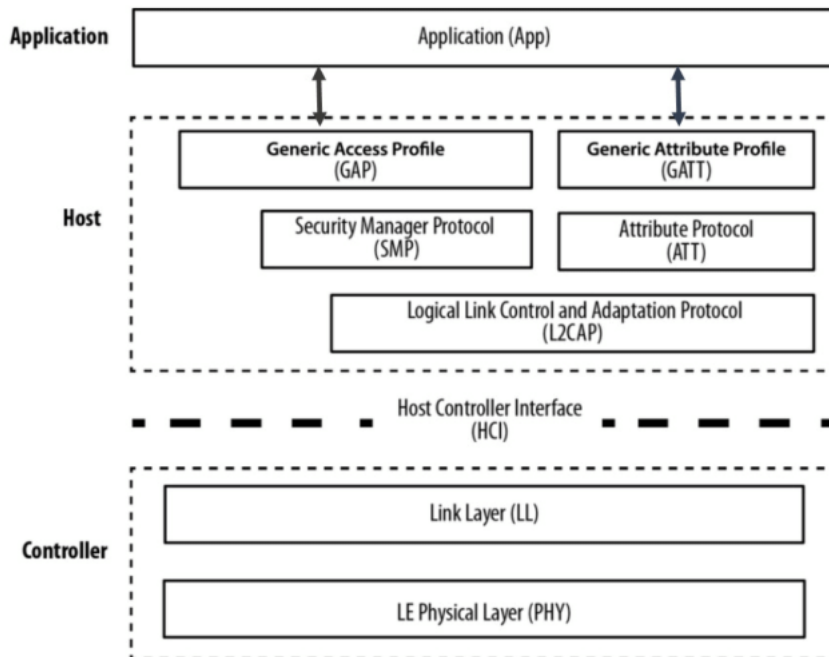
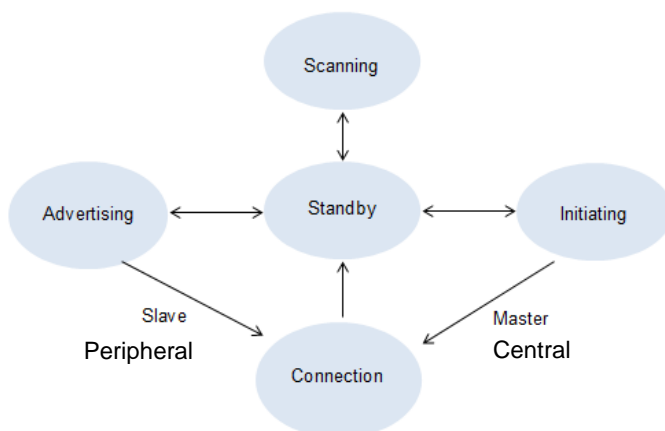


Abbildung 1 Bluetooth Low Energy Protokoll Stack

### 2.1 Zustandsautomat

Ein BLE-Gerät besitzt einen Zustandsautomaten, welcher im Link Layer definiert ist. Ein BLE-Gerät kann demnach die in folgender Abbildung dargestellten Zustände einnehmen.



**Standby:** Dies ist der Anfangszustand eines BLE Geräts. In diesem Zustand sind Empfänger und Sender geschlossen und der Energieverbrauch ist sehr gering. Erst wenn vom Host Layer eine Anweisung kommt etwas zu tun, wird der Zustand gewechselt.

Advertising: In diesem Zustand sendet ein BLE Gerät sogenannte Advertising Nachrichten, auf den dafür vorhergesehenen Advertising Kanälen. Dadurch können andere Geräte in der Umgebung das sendende Gerät finden.

Scanning: In diesem Zustand scannt ein BLE Gerät die Advertising Kanäle und lauscht nach Advertising Nachrichten. So können Geräte in der Umgebung gefunden werden.

Initiating: Wenn der Scanner entscheidet eine Verbindung aufzubauen, wechselt er in den Standby Zustand und direkt danach in den Initiating Zustand, um ein Connection Request an den Advertiser zu senden. Danach wechselt er in den Connection Status mit der Rolle Master bzw. Central, in der Annahme, dass der Advertiser dasselbe tut (als Slave).

Connection: In diesem Zustand ist ein Gerät verbunden. Es kann diesen Zustand vom Initiating oder vom Advertising Zustand erreichen. Beim Wechsel vom Initiating Zustand in den connection Zustand, wird ihm die Rolle „Master“ zugeteilt, ansonsten die Rolle „Slave“. Die Rollennamen unterscheiden sich allerdings auf den jeweiligen Schichten.

## 2.2 Senden

Bluetooth Low Energy nutzt das 2.4GHz ISM Band. Dieses steht weltweit unlizenziert zur Verfügung. Das bedeutet, jeder darf auf dieser Frequenz senden, ohne Gebühren dafür zu bezahlen. Allerdings muss man sich dabei auch an ein paar sehr detailreiche Regeln halten. Grob zusammengefasst sagen diese, dass das 2.4GHz ISM Band nur für PANs und LANs mit einer limitierten Sendeleistung und Reichweite genutzt werden darf. Da das 2.4Ghz Band weltweit unlizenziert zu Verfügung steht, nutzen auch viele weitere Funktechnologien wie z.B. WLAN oder ZigBee diese Frequenz.

## 2.3 Gerät finden

Damit BLE Geräte sich gegenseitig finden können, definiert die BLE Spezifikation Advertiser und Scanner. Der Advertiser sendet dabei jeweils eine Advertising Nachrichten auf jedem der drei Advertising Kanäle, während ein Scanner diese Kanäle abhört. Dieser Vorgang wird als Advertising Event bezeichnet.

## 2.4 Verbinden

Um eine Verbindung aufzunehmen, muss der Scanner mit einem Connection Request auf ein Advertising Event antworten. Dieses Paket enthält alle Informationen, die für einen Verbindungsaufbau notwendig sind.



## 3 PROFILE

Profile werden von der Anwendung zur Datenkommunikation zwischen zwei angeschlossenen Geräten verwendet.

Wie zwei Geräte via BLE miteinander kommunizieren, wird über das so genannte Generic Attribute Profile (GATT) definiert. Auf den Peripherals läuft dazu jeweils ein GATT-Server, auf dem Central ein entsprechender GATT-Client. Sprich: Wenn sich ein Smartphone mit mehreren BLE-Geräten verbindet, läuft auf jedem dieser Peripherals ein GATT-Server, auf dem Smartphone dagegen jeweils ein GATT-Client. Welche Daten von einem GATT-Server bereitgestellt werden, wird über so genannte Profile definiert. Dabei handelt es sich um eine Zusammenstellung verschiedener Services, die von dem jeweiligen Peripheral zur Verfügung gestellt werden.

Ein Profil ist ein Zusammenschluss aus einem oder vielen verschiedenen Services. Alle Profile basieren Dabei auf GATT. Die Bluetooth SIG stellt bereits einen fertigen Satz von BLE Profilen zur Verfügung. Mit diesen lassen sich einige Anwendungsfälle abdecken. Allerdings haben Entwickler auch die Möglichkeit eigene Profile, basierend auf GATT, zu entwerfen, um neue Anwendungsfälle abzudecken.

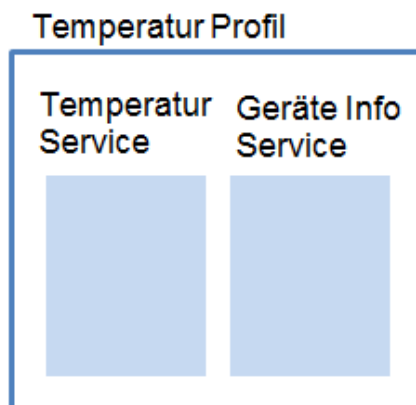


Abbildung 2 Profil kapselt mehrere Services

### 3.1 Service

Ein Service ist eine Sammlung von vielen Charakteristiken. Services sind unabhängig von Profilen, das bedeutet, dass sie einmal definiert werden und derselbe Service von verschiedenen Profilen genutzt werden kann. Wird eine Änderung des Services gewünscht, muss diese nur einmal vorgenommen werden und alle Profile, die den Service nutzen, profitieren von dieser Änderung.

## Temperatur Profil

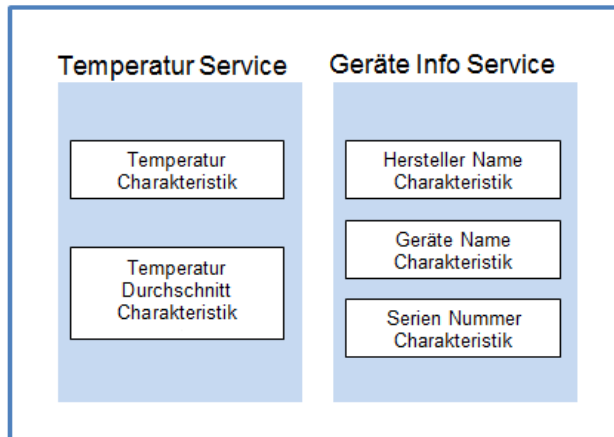


Abbildung 3 Darstellung der Service in nRF Connect

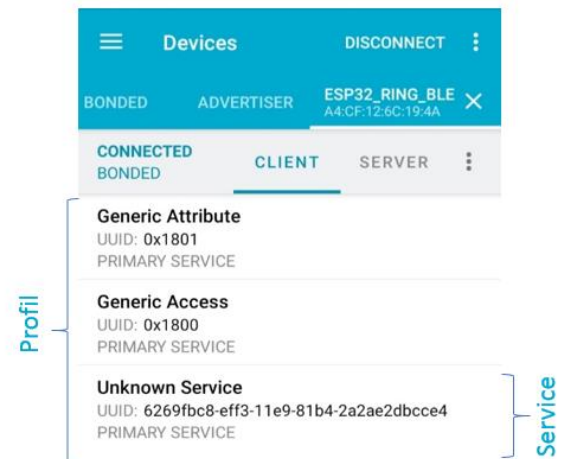


Abbildung 4 Ein Service kapselt verschiedene Charakteristiken

## 3.2 Charakteristik

Eine Charakteristik enthält immer den aktuellen Wert, wie zum Beispiel die aktuelle Temperatur oder der aktuelle Akkustand. Dabei wäre allerdings z.B. die aktuelle Temperatur nicht sehr aussagekräftig, da die Einheit (°C, °F, ...) und die Art der Temperatur (außen Temperatur, innen Temperatur, ...) unbekannt sind. Deshalb wird jede Charakteristik durch eine Charakteristik Definition definiert, welche Meta-Daten über den enthaltenen Wert liefert. Außerdem definiert jede Charakteristik, wie auf den gekapselten Wert zugegriffen werden kann (read, write, notify, ...).

### Charakteristik

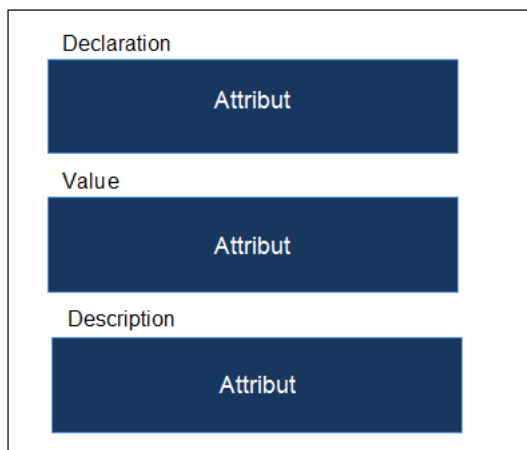


Abbildung 5 Darstellung einer Charakteristik in der nRF Connect App

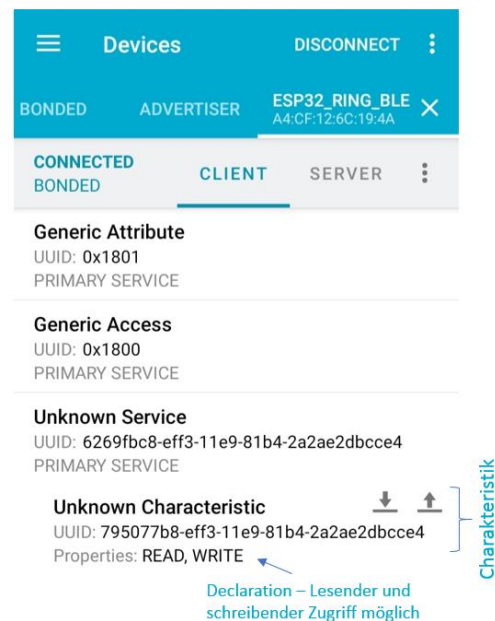


Abbildung 6 Aufbau einer Charakteristik

### 3.3 UUID

Jeder Service, jede Charakteristik und jeder Deskriptor hat eine UUID (Universally Unique Identifier). Eine UUID ist eine eindeutige 128-Bit (16 Byte) Zahl.

Zum Beispiel: 55072829-bc9e-4c53-938a-74a6d4c78776

Es gibt verkürzte UUIDs, die in der SIG (Bluetooth Special Interest Group) angegeben sind.

Wenn eine Anwendung jedoch eine eigene UUID benötigt, kann diese selbst generiert und zugewiesen werden. (<https://www.uuidgenerator.net/>)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die UUID zur eindeutigen Identifizierung von Informationen verwendet wird. So kann sie beispielsweise einen bestimmten Dienst identifizieren, der von einem Bluetooth-Gerät bereitgestellt wird.

## 4

## LITERATUR

- Bluetooth SIG: Bluetooth; <https://www.bluetooth.com/>
- Bluetooth SIG: Specification of the Bluetooth System; <https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications>
- N. C. Gupta: Inside Bluetooth Low Energy; Artech House; Boston; 2013; ISBN 9781608075799
- R. Heydon: Bluetooth low energy, The developer's handbook; Prentice Hall; Upper Saddle River, N.J; 2013; ISBN 0-13-288836-X