



SAP und IoT - Die Anbindung von Bluetooth Low Energy (BLE) an SAP

Thomas Randl
Fakultät für Informatik

WS 2020/21

ToDo

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Vorgestellte Technologien	4
2.1	Internet of Things (IoT) und Industrie 4.0	4
2.2	SAP und Internet of Things	5
3	Allgemeine Funktionsweise Bluetooth Low Energy	5
3.1	Protokollstack	5
3.2	Kommunikation	8
3.3	Anwendungsszenarien	9
4	Schnittstellenbeschreibung	10
4.1	SAP	11
4.2	BLE	11
4.3	Anbindungsmöglichkeiten	11
4.3.1	Bewertung der Möglichkeiten	11
4.3.2	Administration	11
5	Vergleich mit anderen gängigen IoT Kommunikationsprotokollen	11
5.1	Vorteile	11
5.2	Nachteile	11
6	Fazit	11

Abkürzungsverzeichnis

BLE	Bluetooth Low Energy
CPS	Cyber Physisches System
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Profile
HCI	Host Controller Interface
IOT	Internet of Things
M2M	Maschine zu Machine Verbindung
RFID	Radio Frequency Identification
SIG	Special Interest Group
UUID	Universally Unique Identifier

1 Einleitung

2 Vorgestellte Technologien

Im folgenden Kapitel wird einleitend eine kurze Erläuterung über die drei zentralen Begriffe dieser Arbeit gegeben. Besonderer Schwerpunkt ist dabei die Aufschlüsselung der Begriffe und die Erklärung warum diese in dieser Arbeit einen derartigen Stellenwert besitzen.

2.1 Internet of Things (IoT) und Industrie 4.0

Der Begriff Internet of Things (IOT) hat sich vor über 30 Jahren im Zusammenhang mit der Radio Frequency Identification (RFID) Technologie entwickelt. Seine Wurzeln liegen daher im Bereich der Identifikationstechnik. Dessen Aufgabe liegt darin Objekte eindeutig zuweisen zu können. Umgesetzt wurde dieser Vorgang zu seiner Zeit in dem ein Objekt mit einem RFID Tag versehen wurde. Das entsprechende Gegenstück dazu konnte dann mit Hilfe eines Scanners voll automatisiert und über Funk Daten lesen und schreiben. Dies erweiterte wiederum die Funktion des vorherigen Barcodes um einige automatisierbare Funktionen. Nun konnten Daten nicht nur gelesen, sondern zusätzlich auch geschrieben werden. Die Geburtsstunde der IOT [Hol20, Seite 37].

Eine allgemeine Definition des Begriffes IOT lässt sich schwer finden. Jedoch ist es gängig zu definieren, dass ein IOT den Zusammenschluss physischer Komponenten mit deren digitalen Abbildern im Internet darstellt. Deshalb spricht man im Zusammenhang mit IOT in der Regel von dem Zusammenschluss verteilter Geräte wie Sensoren oder Steuerungen, welche zentral in einer Anwendung überwacht, beziehungsweise gesteuert werden [Hol20, Seite 33]. Einen Großteil des IOT Sektors nimmt dabei die Maschine zu Machine Verbindung (M2M) ein. Bei dieser werden Maschinen, Fahrzeuge und viele weitere Komponenten derart konfiguriert, dass sie automatisch miteinander kommunizieren. Das resultiert in autonomem Fahren oder anderen für den Menschen nützlichen Möglichkeiten [Hol20, Seite 449].

Der vermehrte Einsatz von IOT in der Industrie hat zur Einführung des Begriffes Industrial IOT geführt. Dieser wird auch als Industrie 4.0 bezeichnet. Er steht für die Weiterentwicklung die IOT in der industriellen Fertigung ermöglicht hat. Das letztliche Ziel welches mit dem Begriff Industrie 4.0 beschrieben wird ist eine vollständig autonome Fabrikation und Wertschöpfungskette. Dies soll mit Hilfe von einem oder mehreren Cyber Physisches System (CPS) erreicht werden. Der Begriff CPS steht dabei für ein physisches Gerät, welches ein eingebettetes System und diverse Sensoren sowie Aktoren enthält. Das eingebettete System steuert dieses und kommuniziert mit anderen CPS [Sch17, Seite 30f].

2.2 SAP und Internet of Things

SAP ist eine deutsche Firma welche sich auf die Entwicklung von Softwarelösungen für Betriebe spezialisiert hat. Sie wurde im Jahr 1972 von fünf Mitarbeitern des Konzerns IBM gegründet. Heute ist die SAP SE das größte Softwareunternehmen Europas und bietet IT Lösungen für beinahe alle Wirtschaftsbereiche [SAP].

Seit 2018 verfolgt SAP nun die Strategie des „intelligenten Unternehmens“. In Zuge dessen wurde Technologien wie Machine Learning, Blockchain und auch IOT in das Angebot der IT Lösungen für Unternehmen aufgenommen. SAP führte für diese Angebote unter der Marke „SAP Leonardo“ ein. Diese ist seit 2019 fester Bestandteil der Strategie des Unternehmens [Hol20, Seite 102f].

Mit der Anbindung von IOT an SAP Softwarelösungen will der Konzern die Informationsgewinnungs- und Steuerungsmöglichkeiten der Technologie für den Kunden praktisch einfangen. Dafür werden diese Funktionen in die SAP Anwendung aufgenommen, wodurch der Kunde auf diese zugreifen kann, ohne eine andere Anwendung zu benötigen. Die optimale Nutzerinteraktion mit dem System hat dabei unter anderem den höchsten Stellenwert [Hol20, Seite 105f].

Als eine der Plattformen von „SAP Leonardo“ wird IOT unter anderem in Produktion, Wartung und Logistik eingesetzt. In Produktion und Wartung liegt der Schwerpunkt auf der Datenerhebung durch CPS und der Verknüpfung mit Geschäftsdaten aus dem Backend. In der Logistik wiederum liegt ein Schwerpunkt in der Positionserfassung verschiedener CPS [Hol20, Seite 107ff]. Durch die Verknüpfung von IOT und SAP gibt es viele weitere nützliche Anwendungsfälle. In Kapitel 4.1 wird erläutert wie IOT Systeme an SAP angeschlossen werden können.

3 Allgemeine Funktionsweise Bluetooth Low Energy

Im nachfolgenden Kapitel wird nun ein kurzer Überblick über die Technologie Bluetooth Low Energy (BLE) gegeben. Dabei wird zum einen die Architektur unter Erläuterung des Protokollstacks und zum anderen die Funktionsweise erläutert.

3.1 Protokollstack

Die Architektur von BLE geht aus dem Protokollstack hervor. Dieser ist in Abbildung 1 dargestellt. Besonders auffällig ist die Untergliederung in drei Ebenen. Der „Controller“ stellt dabei den hardwarenächsten Bereich dar. Hier befinden sich die zwei Layer „LE Physical“ und „Link“.

Diese beiden Protokolle sind in einer Großzahl von Gerätearchitekturen beheimatet. Das Physical Layer ist dafür vorgesehen, digitale Signale (Bitfolgen) in analoge um-

zuwandeln. Dieser Schritt wird benötigt, um die BLE Signale für etwaige Empfänger zugänglich zu machen. Natürlich werden im Physical Layer auch empfangene analoge Signale in digitale umgewandelt. Dieser werden dann im Protokollstack nach oben ins Link Layer weitergereicht. Im Fall von BLE ist die Schnittstelle für das Senden der analogen Signale die Luft. BLE sendet dafür im Frequenzbereich 2,4GHz bis 2,4835GHz. Diesen Bereich teilt sich das Protokoll mit anderen Technologien wie beispielsweise Wifi. Um Kollisionen zu vermeiden teilt BLE den Bereich in 40 Kanäle auf und wechselt während der Verbindung in regelmäßigen Abständen oder bei Übertragungsproblemen den Kanal. Dieser Ansatz nennt sich Frequency Hopping Spread Spectrum [Tow14, Seite 16f].

Das Link Layer unterscheidet sich in seiner Funktionsweise nicht großartig von dem anderer Kommunikationsprotokolle. Hier werden die Nachrichten die für das Versenden aus den oberen Schichten ankommen in Pakete gepackt und an das Physical Layer weitergereicht. Dieser Prozess ist für ankommende Pakete natürlich vice versa [Tan14, Seite 194]. Die Besonderheit ist die Festlegung der Paketgröße von BLE durch das Link Layer. Seit Version 4.2 ist eine Payload von bis zu 251 Byte pro Paket möglich [Gup]. Zum Vergleich bei WLAN (IEEE 802.11) kann ein Paket bis zu 2312 Byte groß sein [Ges15, Seite 233]. Daraus lässt sich schließen, dass BLE einen weitaus geringeren Datendurchsatz als WLAN hat. Allerdings liefert BLE wiederum andere Vorteile. Auf diese wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

Das Herzstück des BLE Protokollstacks bilden die beiden Profile Generic Access Profile (GAP) und Generic Attribute Profile (GATT). Diese befinden sich wie in Abbildung 1 zu erkennen im Host Bereich der Architektur. Die beiden Protokolle bilden die Schnittstelle zur tatsächlichen Anwendung mit welcher der Nutzer interagiert.

Das GAP ist dafür vorgesehen sämtliche Parameter der Verbindung zwischen den Gerä-

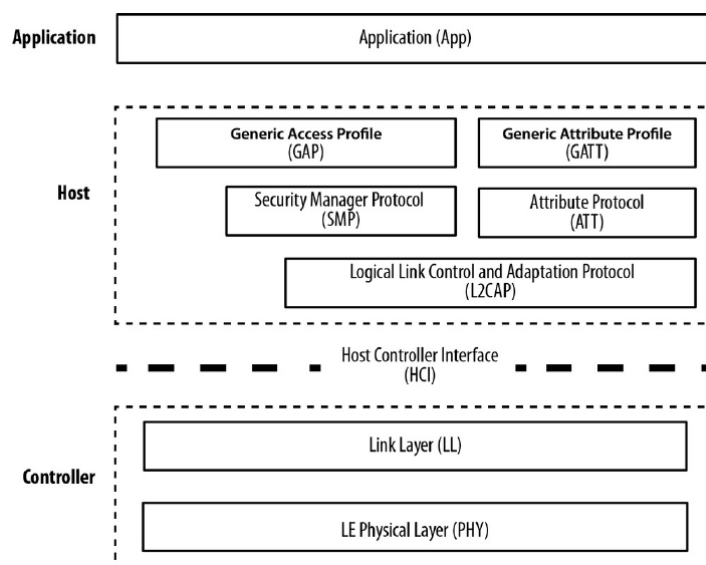


Abbildung 1: BLE Protokollstack [Tow14, Seite 16]

ten zu verwalten. Vom Verbindungsaufbau bis hin zur Kommunikation werden sämtliche Funktionen von diesem Profil bereitgestellt und abgehandelt.

Im Zuge der jeweiligen Konfiguration kann ein Gerät in BLE eine der folgenden vier Rollen annehmen:

- Broadcaster (Keine Verbindung)
- Observer (Keine Verbindung)
- Central (Verbindung)
- Peripheral (Verbindung)

In BLE ist es nicht festgeschrieben, dass Geräte eine Verbindung eingehen müssen um Informationen zu erhalten. Die Rollen des Broadcasters und Observers sind sogar ausschließlich ohne feste Verbindung zwischen den Geräten vorgesehen. Diese Funktion wird im allgemeinen gerne von BLE Beacons verwendet.

Ein Gerät welches als Broadcaster definiert ist sendet dauerhaft einen bestimmten Datensatz. Dabei ist zu keinem Zeitpunkt klar, ob Geräte in Reichweite sind, welche den Datensatz empfangen. Ein Gerät welches diese Daten lesen kann muss als Observer konfiguriert sein. Ein solcher scannt die drei Advertisement Kanäle von BLE dauerhaft nach Broadcastnachrichten. Falls er eine erhält liest er diese und verwendet sie. Wichtig ist hierbei, dass der Observer keine Antwort auf eine Nachricht sendet.

Sollte ein Gerät allerdings eine Verbindung eingehen, dann muss dieses als Central konfiguriert sein. Dies ist die gängigste Form des BLE Gerätes. So ist beispielsweise jedes Smartphone in der Regel als Central konfiguriert und kann Verbindungen zu Peripherals wie zum Beispiel BLE Kopfhörern aufnehmen. Dabei ist ein Central in der Regel sogar in der Lage mehrere Verbindungen zu selben Zeit einzugehen.

Ein Peripheral wiederum ist das Gegenstück zum Central, welches seine Verbindungsbereitschaft an sämtliche Geräte in Reichweite signalisiert. Im Fall einer aktiven Verbindung übernimmt das Central die Steuerung des Gerätes unter Berücksichtigung des Funktionsumfangs des Peripherals [Usa17, Seite 34].

Das GAP ermöglicht es einem BLE Gerät zusätzlich seine Sichtbarkeit und Verbindungsbereitschaft gegenüber anderen Geräten über die Advertisement Kanäle mitzuteilen. Dafür wird auf dem Gerät ein Modus eingestellt welcher anschließend an alle Geräte in Reichweite mitgeteilt wird. Ein Modus ist dabei eng mit der Geräterolle verbunden. Ein Gerät kann folgende Modi annehmen [Tow14, Seite 35]:

- Broadcast (Rolle: Broadcaster)
- Nicht zu entdecken (Rolle: Peripheral)
- Eingeschränkt zu entdecken (Rolle: Peripheral)

- Normal zu entdecken (Rolle: Peripheral)
- Nicht verbindbar (Rolle: Alle)
- Verbindbar (Rolle: Central, Peripheral)

Im GATT wird definiert, ob es sich bei dem Gerät um einen Client oder Server handelt. Zweiterer verarbeitet die Kommunikationsanfragen des Clients und liefert die gewünschten Antworten oder führt entsprechende Aktionen aus. Der Server ist in der Regel ein Peripheral auf dem Services hinterlegt sind [Usa17, Seite 30]. Welche das sind und was für eine Aktion mit diesen verbunden ist wird in der Regel durch die Nutzeranwendung festgelegt. Der Client ist dementsprechend ein Central, welches die gesamte Verbindung steuert. Jeder Service verfügt über einen Universally Unique Identifier (UUID). Mit diesem kann der Client eine gezielte Anfrage auf den entsprechenden Service tätigen.

An oberster Stelle des Protokollstacks befindet sich die Nutzeranwendung. Diese ist nach dem entsprechenden Use Case programmiert und variiert von Anwendung zu Anwendung. Ausschließlich der Stack unterhalb ist für alle Applikationen gleich.

3.2 Kommunikation

Nachdem in Kapitel 3.1 der Aufbau von BLE erläutert wurde, wird nun in dem folgenden Kapitel auf die Anwendung der Technologie eingegangen. Dabei wird besonders auf den Verbindungsaufbau durch das Advertisement und den Nachrichtenaustausch der stehenden Verbindung eingegangen.

Die Advertisement Funktion in BLE kann für zwei Szenarien verwendet werden. Zum einen die Signalisierung der Verbindungsbereitschaft. Zum anderen den Broadcast von Daten in der Rolle des Broadcasters (vgl. 3.1).

Von den 40 Kanälen, in die der BLE Frequenzbereich unterteilt ist (siehe Kapitel 3.1), sind drei für das Advertisement reserviert. Diese befinden sich in den Bereichen 2,402 - 2,404GHz, 2,426 - 2,428GHz und 2,48 - 2,482GHz. Dabei sind sie mit den Nummern 37 - 39 belegt [Tow14, Seite 16].

Eine Advertisement Nachricht beinhaltet weiterhin ein Header Feld, welches die Paketadressierung regelt. So kann ein Gerät eine der folgenden vier Advertisement Nachrichten an Geräte in Sendereichweite senden [Tow14, Seite 22]:

- ADV_IND: Allgemeine Mitteilung der Verbindungsbereitschaft
- ADV_DIRECT_IND: Zielgerichtete Mitteilung der Verbindungsbereitschaft
- ADV_SCAN_IND: Allgemeine Mitteilung der Anwesenheit des Gerätes
- ADV_NONCONN_IND: Allgemeine Mitteilung der Verbindungsunverfügbarkeit

Eine Verbindung in BLE besteht aus einer Reihe sogenannter Verbindungsevents. Ein solches wird über drei Parameter definiert welche in den anfänglichen Advertisement Nachrichten vereinbart werden. In Abbildung 2 ist zu erkennen, wie eine BLE Verbindung, in zeitlicher Abfolge, abläuft.

Der erste Parameter ist das Verbindungsintervall. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht ist eine Verbindung in derartige Verbindungsintervalle unterteilt. Diese legen die Zeit zwischen den Verbindungsereignissen fest. Dabei sind Werte zwischen 7,5ms und 4s möglich. Kürzere Intervalle bedeuten allerdings einen höheren Energieverbrauch. Ein Verbindungsereignis liegt im Intervall und kann somit maximal so lange wie dieses dauern. Die anderen beiden Parameter legen fest, wann eine Verbindung abbricht, beziehungsweise beendet wird.

BLE ist in seiner Rolle als energiesparsames IOT Protokoll darum bemüht die als Peripheral eingesetzten Server möglichst Energieeffizient zu betreiben. Daher kann ein derartiges Gerät mehrere Verbindungsevents aussetzen, wenn derzeit keine Daten zu senden oder empfangen sind. Der Parameter „Slave Latency“ legt dabei die Anzahl der überspringbaren Ereignisse fest.

Den Zeitpunkt ab welchem eine Verbindung für Beendet erklärt wird, legt der Parameter „Connection Supervision Timeout“ fest. Dieser legt den Zeitraum fest, der zwischen dem Austausch zweier Datenpakete verstreichen darf. Bei Überschreitung dieses Wertes wird die Verbindung aufgelöst [Tow14, Seite 22f].

3.3 Anwendungsszenarien

Die Bluetooth Special Interest Group (SIG) stellt auf ihrer Website eine Vielzahl verschiedener Anwendungsmöglichkeiten für das Protokoll BLE vor. Dabei werden vier Hauptkategorien genannt, auf welche sich BLE konzentriert. Die im Alltag gebräuchlichsten sind dabei das Streamen von Audio und die Datenübertragung. Zusätzlich gibt es allerdings auch noch Positionsservices und das Aufspannen eines Netzwerkes zwischen mehreren BLE Geräten [BLU].

Seit einigen Jahren steigt die Anzahl der Endnutzer, die statt des herkömmlichen Kabelgebundenen Kopfhörer auf die kabellose Alternative wechseln. Mit der Veröffentlichung des Bluetooth Standards 5.0 wurde dieser Use Case mit BLE enorm gefördert. Neben Kabellosen Kopfhörern bilden auch Lautsprecher und Mediensysteme in Fahrzeugen interessante Use Cases seitens Bluetooth.

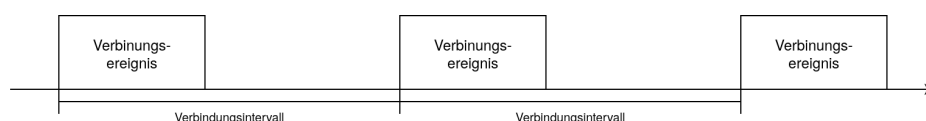


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf einer BLE Verbindung [Tow14, Seite 22]

Die Möglichkeit der Datenübertragung ist die Basis des gesamten BLE Stack. Neben Audio Dateien gibt es eine Vielzahl anderer Anwendungsfälle, wie beispielsweise Kabellosen Tastaturen oder Mäuse. Auch neuere Technologien wie Fitnesstracker oder Smart Watches erfreuen sich in den letzten Jahren immer größerer Beliebtheit. So sind die Umsatzzahlen im Verkauf von Smart Watches laut Heise Online, im Vergleich zum Jahr 2019, dieses Jahr um 20 Prozent gestiegen [HEI]. BLE wird in diesem Fall verwendet um die von den jeweiligen Peripherals erhobenen Fitness oder Gesundheitsdaten an das Smartphone als Central Gerät zu übertragen.

Ein großes Problem der vergangenen Jahre war die Positionsbestimmung in geschlossenen Räumen. Im Freien ist diese durch Satellitenkommunikation möglich. In Gebäuden kann diese Technologie allerdings auf Grund zu großer Ungenauigkeiten und der fehlenden direkten Verbindung nicht gewährleistet werden. Für dieses Problem liefert BLE mit Hilfe der Broadcaster Rolle eine Lösung. Dafür gibt es ein breites Spektrum an Möglichkeiten. Dieses reicht von Indoor Navigation über die Positionsüberwachung von Gegenständen oder Personen bis hin zu Informationssystemen. Letztere stellen BLE Broadcaster dar, die bei Annäherung eines Observers nützliche Informationen senden. Dies kann beispielsweise in einem Museum sehr nützlich sein.

Der vierte große Bereich, welchen die Bluetooth SIG besonders hervorhebt, behandelt die Vernetzung verschiedener BLE Geräte. Dieser Bereich ist vor Allem im Hinblick an SAP besonders interessant, da er sich mit der Kontrolle, Überwachung und Automatisierung ganzer Systeme befasst. Die Bluetooth SIG verspricht unter anderem Lösungen zur Überwachung und Steuerung von Temperatur, Feuchtigkeit und Raumbelegungen in Gebäuden. Diese sollen das Ziel verfolgen die Produktivität der Angestellten zu steigern.

4 Schnittstellenbeschreibung

Nachdem in Kapitel 3 auf die Funktionsweise von BLE eingegangen und die resultierenden Möglichkeiten erläutert wurden, wird im nachfolgenden Kapitel auf die Anbindung des Kommunikationsprotokolls an SAP eingegangen. Dabei liegen die Schwerpunkte auf Schnittstelle, Administration und daraus resultierenden Möglichkeiten für den Anwender.

4.1 SAP

4.2 BLE

4.3 Anbindungsmöglichkeiten

4.3.1 Bewertung der Möglichkeiten

4.3.2 Administration

5 Vergleich mit anderen gängigen IoT Kommunikationsprotokollen

5.1 Vorteile

5.2 Nachteile

6 Fazit

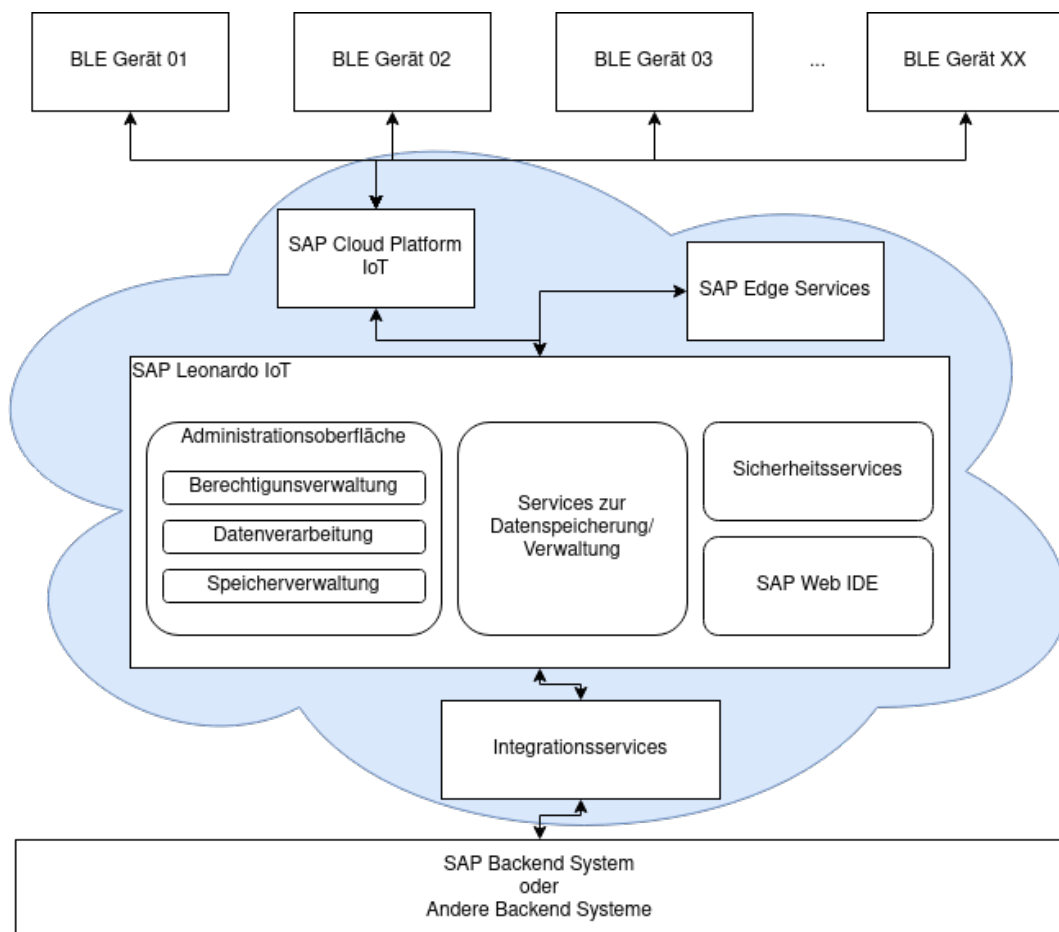


Abbildung 3: Überblick über die SAP IOT Architektur [Hol20, Seiten 117, 164, 181, 184, 201, 208, 221]

Literatur

- [BLU] Learn About Bluetooth Solutions. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/solutions/>. Last visit: 26 Okt 2020.
- [Ges15] R. Gessler und T. Krause. Wireless-Netzwerke fuer den Nahbereich. In *Eingebettete Funksysteme: Vergleich von standardisierten und proprietären Verfahren*, Bd. 2, S. 233. Springer Vieweg, Kuenzelsau (Deutschland), Widdern (Deutschland), 2015.
- [Gup] S. Gupta und R. Kumar. BLE v4.2: Creating Faster, More Secure, Power-Efficient Designs - Part 1. <https://www.electronicdesign.com/communications/ble-v42-creating-faster-more-secure-power-efficient-designs-part-1>. Last visit: 15 Okt 2020.
- [HEI] Smartwatches: Apple dominiert, Huawei und Garmin stark . <https://www.heise.de/news/Smartwatches-Apple-dominiert-Huawei-und-Garmin-stark-4876304.html>. Last visit: 26 Okt 2020.
- [Hol20] A. Holtschulte, M. Mohr und M. Stollberg. Architektur, Loesungen, Anwendungsszenarien. In *IoT mit SAP*, Bd. 1, S. 33, 37, 102 – 103, 105 – 109, 117, 164, 181, 184, 201, 208, 221, 449. Rheinwerk Verlag GmbH, Bonn (Deutschland), 2020.
- [SAP] Company Information. <https://www.sap.com/corporate/en/company.html>. Last visit: 27 Okt 2020.
- [Sch17] O. Schell, V. Schmid-Lutz, K. Schocke, V. Stockrahm und J. Zinovieva. In *Industrie 4.0 mit SAP*, Bd. 1, S. 30 – 31. Rheinwerk Verlag GmbH, Bonn (Deutschland), 2017.
- [Tan14] A. Tanenbaum und D. Wetherall. In *Computer Networks*, Bd. 5, S. 194. Pearson, Harlow (Vereinigtes Koenigreich), 2014.
- [Tow14] K. Townsend, C. Cufi, Akiba und R. Davidson. Tools and techniques for lowpower networking. In *Getting Started with Bluetooth Low Energy*, S. 16 – 18, 22– 23, 35. O'Reilly Media Inc., Sebastopol (Vereinigte Staaten von Amerika), 2014.
- [Usa17] M. Usama und B. Aftab. Take your first steps in IoT. In *Building Bluetooth Low Energy Systems*, S. 30, 34. Packt, Birmingham (Vereinigtes Koenigreich), Mumbai (Indien), 2017.