

**Fakultät Maschinenbau**

**Projektaufgabe Fahrzeugmechatronik**

**Konzeption intelligenter Hardware (smart Sensor und smart Aktuator)**

im Studiengang

Maschinenbau

vorgelegt von: **Tim Dang, 70452663**

**Kai Bergmann, 70455883**

Betreuer: Jie Zhang

Abgabedatum: 19. Juli 2019

**Eidesstattliche Erklärung**

Wir, Kai Bergmann und Tim Dang, versichern durch unsere Unterschriften, dass wir die vorliegende Projektarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer, als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt, sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet haben.

Wolfenbüttel, 15. Juli 2019

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Kai Bergmann Tim Dang

Inhalt

[1 Einleitung 1](#_Toc11843953)

[2 Konventionelle Sensoren 2](#_Toc11843954)

[3 Konventionelle Aktoren 3](#_Toc11843955)

[4 Smart Transducer 4](#_Toc11843956)

[4.1 Sensoren 4](#_Toc11843957)

[4.2 Aktoren 4](#_Toc11843958)

[4.3 Vorteile 4](#_Toc11843959)

[5 Aufbau Smart Transducer 5](#_Toc11843960)

[6 Bussysteme 6](#_Toc11843961)

[6.1 CAN 6](#_Toc11843962)

[6.2 Ethernet 7](#_Toc11843963)

[6.2.1 EtherCAT 7](#_Toc11843964)

[6.3 Profibus 7](#_Toc11843965)

[6.4 AS-Interface 7](#_Toc11843966)

[6.5 Bluetooth 7](#_Toc11843967)

[6.6 WiFi 7](#_Toc11843968)

[7 Bestehende Standards 8](#_Toc11843969)

[8 Industrial Internet of Things 9](#_Toc11843970)

[8.1 Möglichkeiten Smarter Module 9](#_Toc11843971)

[9 Konzipierung 10](#_Toc11843972)

[9.1 Anwendungsszenario 10](#_Toc11843973)

[9.2 Anforderungen 10](#_Toc11843974)

[9.3 Auswahl Sensorik und Aktorik 10](#_Toc11843975)

[9.4 Systemarchitektur 10](#_Toc11843976)

[9.5 Auswahl Bussystem 10](#_Toc11843977)

[10 Integration in höhere Systeme 11](#_Toc11843978)

[11 Fazit und Ausblick 12](#_Toc11843979)

[12 Literaturverzeichnis 13](#_Toc11843980)

[13 Abbildungsverzeichnis 14](#_Toc11843981)

# Einleitung

# Konventionelle Sensoren

# Konventionelle Aktoren

# Smart Transducer

## Sensoren

## Aktoren

## Vorteile

# Aufbau Smart Transducer

# Bussysteme

## CAN

Der CAN-Bus, von Bosch in den 1980er Jahren zur Kommunikation zwischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen entwickelt, basiert auf dem Grundprinzip der Nutzung einer zentralen Datenleitung zur Übertragung sämtlicher Signale. CAN steht für Controller Area Network, im Vergleich zu anderen Techniken kann aufgrund der zentralen Datenleitung Kabelmasse gespart werden, was insbesondere im Fahrzeugbau vorteilhaft ist.

Der einfachste Aufbau eines CAN-Systems besteht aus einer CAN-High und einer CAN-Low Leitung. Die Übertragung eines Signals findet auf den beiden Leitungen mit gegensinniger Potentialänderung statt, was das System äußerst störunempfindlich macht. Weitere Leitungen können der Erdung oder Stromversorgung dienen. In der folgenden Abbildung werden die Kommunikationseinheiten, auch Knoten genannt, als SG bezeichnet. Die beiden CAN-Leitungen werden über einen festgelegten Widerstand von 120Ω kurzgeschlossen.

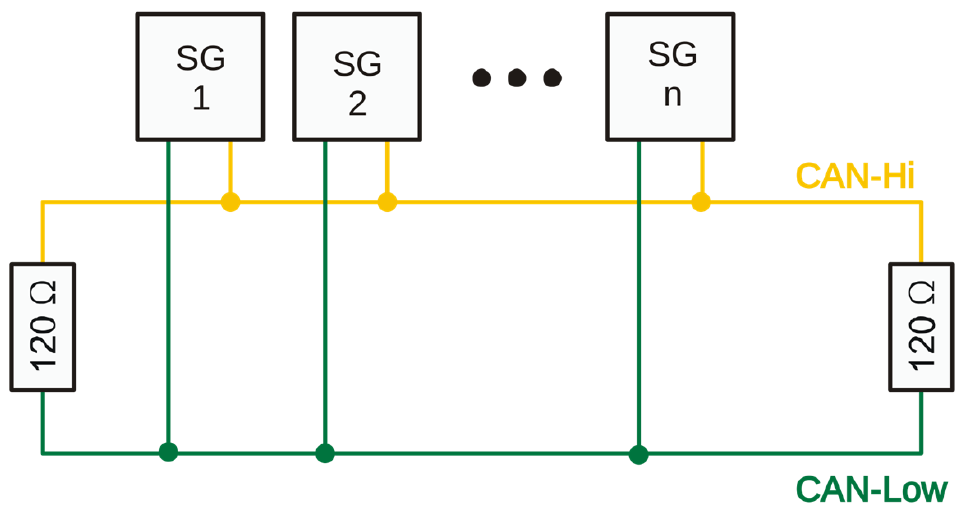


Abbildung 10: Schematischer Aufbau CAN-Bus

Grundlegend für die Funktion ist die Festlegung, dass zu einem Zeitpunkt stets nur ein Gerät sendet und ein Gerät empfängt. Bei langen Kabelwegen müssen daher niedrigere Abtastraten, die sogenannte Baudrate, verwendet werden. Typische Baudraten liegen zwischen 125 kBit/s und 1 Mbit/s.

Bei der Nachrichtenübertragung wird zwischen dem Standardformat und dem Erweiterten Format, die sich in der Länge des Identifiers unterscheiden. Das Standardformat verfügt über einen 11 Bit Identifier und das Erweiterte Format über einen 29 Bit Identifier. Dieser dient zur Schlichtung von Konflikten, falls mehrere Einheiten gleichzeitig mit der Datenübertragung beginnen. Somit wird der Verlust von Zeit und Information verhindert.

Jede Einheit verfügt über einen Identifier und kann somit gezielt angesprochen werden, die Auslesung erfolgt über Hexadezimalstellen ihres „Most significant Bits“ (MSB) und „Least significant Bits“ (LSB). [10]

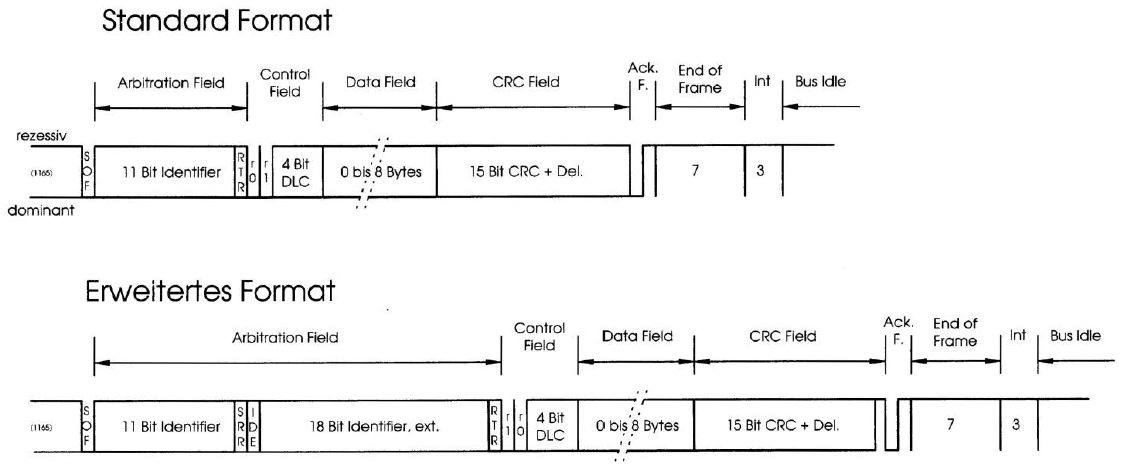


Abbildung 11: Aufbau der Identifier beim CAN-Bus [10]

## Ethernet

Ethernet ist eine von Robert Metcalfe Ende der 1970er Jahre konzipierte Übertragungstechnologie. Da Ethernet nicht die Darstellung der übertragenen Daten, sondern lediglich die Übertragung der Bytes definiert, ist es universell einsetzbar und weltweit weit verbreitet. Als Ethernet-Standard wird das physikalische Layer und zugehörige Zugriffverfahren sowie das Frame-Format beschrieben. Heutzutage sind unterschiedliche Spezifikationen verbreitet, die Geschwindigkeiten von 25 Gbit/s von bis zu 400 Gbit/s ermöglichen.

Netzwerke auf Ethernetbasis werden als sogenannte geswitchte Netzwerke ausgeführt. Dabei werden nicht alle Teilnehmer am gleichen Medium (Kollisionsdomäne) angeschlossen, sondern sie werden über Vermittlungsknoten (switche) und Punkt-zu-Punkt Verbindungen miteinander vernetzt. Man spricht auch von Vollduplex-Kommunikation, welche keine Kollisionen im Netzwerk zulässt.

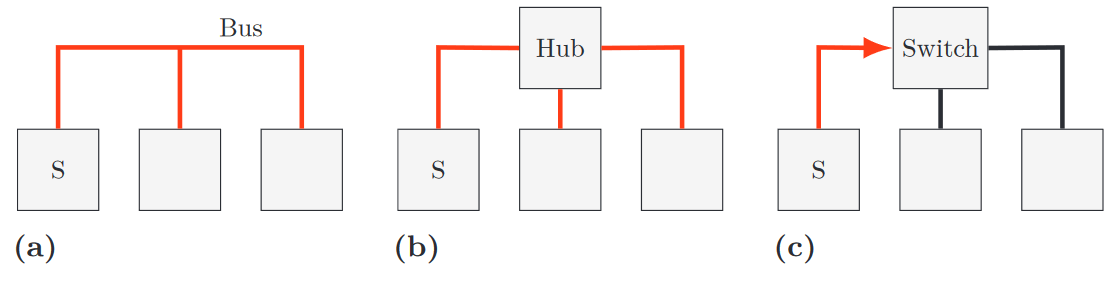


Abbildung 12: Kollisionsdomänen beim Senden (S): Bus(a), Hub (b), Switch (c) [11]

Wie in Abbildung 3 zu erkennen, liegt das Signal bei einem Bus immer bei allen Teilnehmern im Netzwerk an. Bei einem Netzwerk mit Hub ist die Charakteristik gleich, der Hub sorgt im sternförmigen Aufbau für eine Verstärkung des Signals an den Anschlüssen. Abweichend dazu sorgt der Switch dafür, dass die Kollisionsdomäne lediglich zwischen zwei Teilnehmern liegt. Die gesendete Botschaft wird vom Switch mit Hilfe der Zieladresse des Frames nur dahin weitergeleitet, wo der Empfänger erreicht wird. Infolgedessen ist die Effizienz bei switch basierten Netzwerken höher.

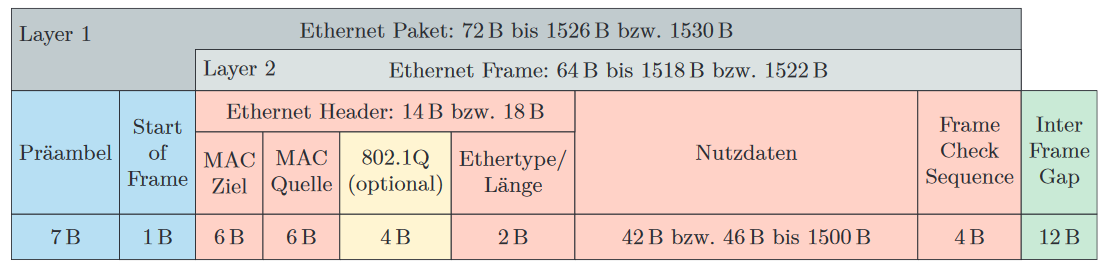


Abbildung 13: Ethernet Frame-Format Standard [11]

Bei der Darstellung eines Ethernet-Pakets unterscheidet man die des physikalischen Layers und das Ethernet Frame auf Layer 2. Das Paket beginnt mit einer 7 B Präambel und einem 1 B großen SFD (Start of Frame). Daraufhin beginnt der eigentliche Ethernet Frame. Zu Beginn wird die Ziel-MAC-Adresse und die Quell-MAC-Adresse übertragen, die jeweils 6 B groß sind. Bei diesen Adressen handelt es sich um eindeutige 48 bit lange IDs, welche ein Hardware Interface bezeichnen. Das letzte Feld beinhaltet das Typen- oder Längenfeld (2B). Vergebene Protokolltypen wie IPv6 (Internetprotokoll Version 6) sind im IEEE definiert. [12]

Der Datensatz muss mindestens 64 B groß sein, im Standard ist eine maximale Größe von 1500 B vorgesehen, sogenannte Jumbo-Frames von Netzwerkkomponentenherstellern können aber auch größere Frames unterstützen. [13]

Der gesamte Frame schließt mit der Frame Check Sequence (FCS) ab, mit der die Richtigkeit der übertragenen Daten überprüft werden kann. Nach jedem Datenpaket folgt mit der Inter Frame Gap (IFG) eine Ruhephase von 12 B. [11]

### EtherCAT

Eine Technologie, die auf Ethernet basiert, ist das sogenannte EtherCAT, welches sich vor allem für schnelle, echtzeitgesteuerte Applikationen eignet. Das Ethernet-Paket wird bei dieser Anwendung nicht an jeder Stelle empfangen, interpretiert und kopiert, viel mehr entnehmen die Slave-Geräte die relevanten Daten, während die Nachricht das Gerät durchläuft. Die Nachricht wird dabei nur um wenige Nanosekunden verzögert und es werden effektive Datenübertragungsraten von bis zu 200 Mbit/s erreicht. [12] [13]

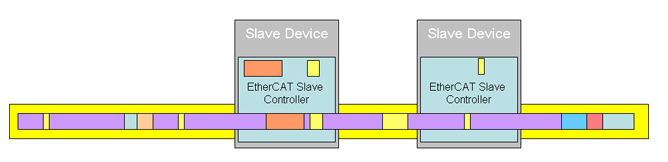


Abbildung 14: Daten werden vom Telegramm entnommen und eingefügt [12]

Wie in Abbildung 14 zu sehen, werden die Daten in dem Telegramm von den einzelnen Slaves entsprechend ausgelesen und neu beschrieben, der Rest der Nachricht bleibt unberührt. Dies ermöglicht eine hohe Geschwindigkeit, da keine umfangreiche Verarbeitung in den Slaves vollzogen werden muss.

Mit der Hilfe von Netzwerkvariablen ist es mit EtherCAT ebenfalls möglich, eine effiziente Kommunikation zwischen Mastern zu ermöglichen, um z.B. ein System hierarchisch aufzubauen und verschiedene Teile zu integrieren. Die Frames des EtherCAT sind nach IEEE 802.3 standardisiert, sodass diese leicht ausgelesen und genutzt werden können. Bei räumlich weit verteilten Prozessen bieten sich verteilte Uhren an, um gleichzeitige Aktionen ausführen zu können. Der Vorteil von verteilten Uhren im Vergleich zu einer vollsynchronen Kommunikation ist die größere Robustheit gegenüber störungsbedingten Verzögerungen. Aufgrund der logischen Ringstruktur der Kommunikation, ist es der Mutter-Uhr möglich den Versatz zu den Tochter-Uhren exakt zu ermitteln. Infolgedessen beträgt der Jitter deutlich weniger als eine Mikrosekunde. [14]

### PROFIBUS

PROFIBUS legt verschiedene technische Merkmale eines seriellen Feldbussystems fest, um Geräte von der Feld- bis zur Zellebene zu vernetzen. Ende 2017 waren weltweilt über 58,4 Millionen solcher Feldbussysteme installiert und damit gehört PROFIBUS zu einem der am weitesten verbreiteten Feldbussysteme. [16] . Ein Vorteil dieses Konzepts ist der modulare Aufbau, mit dem das Kommunikationsprotokoll mit vielen zueinander kompatiblen Technologiebausteinen kombinierbar ist. Dies führt zu einem großen potentiellen Anwendungsbereich. So lassen sich mit einer Art Systembaukasten Anwendungen der Automatisierungstechnik, der Fertigungs- und Prozessindustrie aber auch sicherheitsrelevante Anwendungen realisieren. [17]

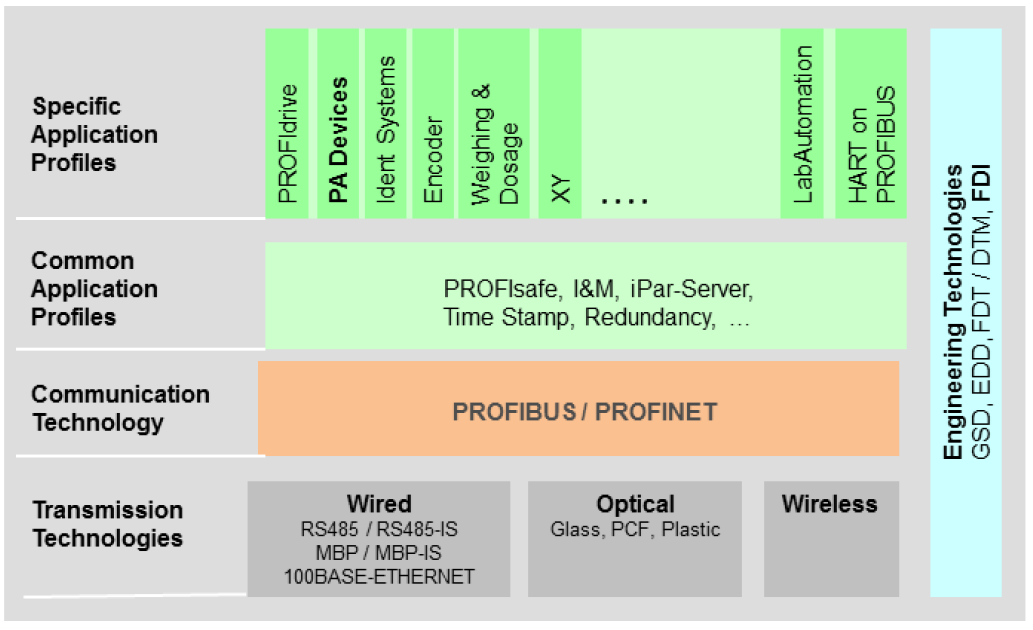


Abbildung 16: PROFIBUS „Systembaukasten“ [17]

In Abbildung 16 ist der Systembaukasten des PROFIBUS Systems zu sehen, der untere Bereich wird als Kommunikationsbereich bezeichnet, übergreifend auf mehrere Schichten sind Gerätebeschreibungen und Funktionen zur Integration implementiert. Allgemein gibt es die Elemente Übertragungstechnik, Kommunikationsprotokoll und Applikationsprofil. Das Buszugriffsverfahren des PROFIBUS basiert auf dem Master-Slave-Verfahren, welches um ein Token-Verfahren erweitert wird, um mehrere Master zu koordinieren (siehe Abbildung 17).

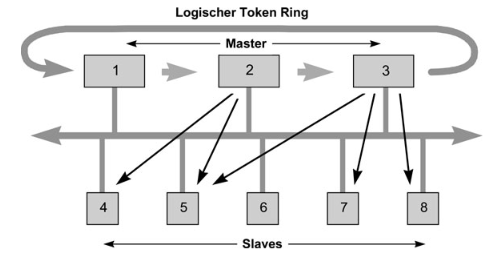


Abbildung 17: Hybrides Buszugriffsverfahren [18]

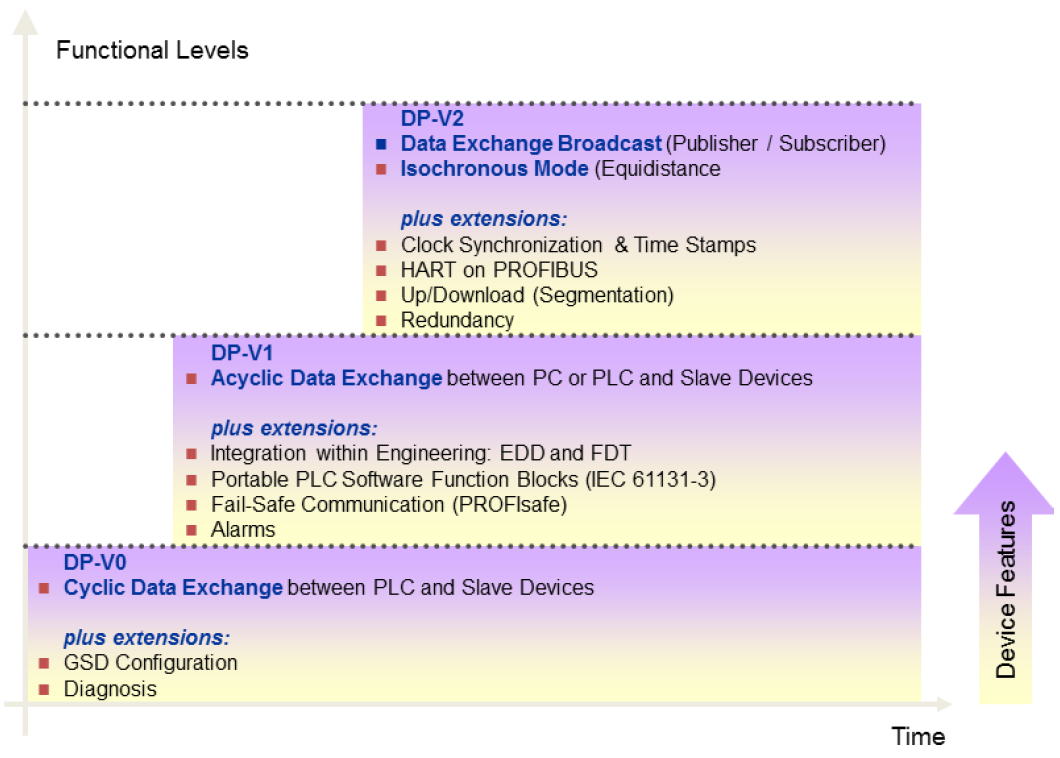
Der meist genutzte PROFIBUS ist die sogenannte DP (Dezentrale Peripherie) Variante, die insbesondere für schnellen Datenaustausch auf der Feldebene ausgelegt ist. Dort kommunizieren die zentralen Automatisierungsgeräte wie PC, SPS oder Prozessleitsysteme über eine serielle Verbindung mit Geräten wie Messumformern, Antrieben, Ventilen oder ähnlichem. Infolge der speziellen Anforderungen steht DP heutzutage in den Leistungsstufen DP-V0, DP-V1 und DP-V2 zur Verfügung, die stufenweise um spezielle Funktionen erweitert sind (siehe Abbildung18).

Abbildung 18: Leistungsstufen PROFIBUS DP-Protokoll [17]

### AS-Interface

Das AS-Interface (auch AS-i), mittlerweile in der 5. Generation, wurde zum Anschluss von Aktoren und Sensoren entwickelt und steht damit nicht in Konkurrenz zu Feldbussystemen, sondern dient viel mehr als Ergänzung. Aufgabe ist es, schnell und kostengünstig die Signale einer Anlage an die Feldbusse anzubinden. Zur Übertragung wird ein zweiadriges Kabel genutzt, welches weder geschirmt ist, noch einen Endwiderstand benötigt. Es ist abwärtskompatibel, was es insbesondere zur Integration in bestehende Systeme interessant macht. Da komplexe Feldbussysteme für die binäre Ebene weniger geeignet sind, kommt an dieser Stelle eine „intelligente Verkabelung“ in Form des AS-Interfaces zum Einsatz. Die zentrale Einheit ist der Master, welcher das System mit dem Feldbus oder der Steuerung verbindet, den Datenaustausch mit den Slaves steuert, Parameterdaten sendet und die Busfunktion überwacht. Der Master führt nach Einschalten eine Konfiguration durch und vergleicht diese mit der Sollkonfiguration, im Normalbetrieb werden die Daten zyklisch ausgetauscht. Auch das Bussystem wird überprüft, sodass ein Ausfall eines Slaves sofort erkannt wird. [19] [20]

## Bluetooth

Ein verbreiteter Kommunikationsstandard für den Nahbereich ist Bluetooth. 1998 wurde die Bluetooth Special Interest Gruppe (SIG) gegründet, um einen Kommunikationsstandard für kurze Distanzen zu entwickeln. Gestartet ist Bluetooth mit dem Standard 1.0a, mittlerweile gibt es die Version 5.0, die wesentliche Verbesserungen in Reichweite (bis zum 200m), Datenrate (2 Mbit/s) und Energieeffizienz mit sich bringt. Heutzutage konzentriert sich der Einsatz von Bluetooth dennoch hauptsächlich auf folgende Anwendungsbereiche: [18]

* Kabellose Verbindung zwischen einem Smartphone und Audioendgeräten
* Austausch von Dateien zwischen Endgeräten
* Anbindung kabelloser Eingabegeräte an Computer

Weitere Anwendungen, wie die Weitergabe einer Internetverbindung oder Multiplayer-Spiele wurden mittlerweile von anderen Technologien, wie z.B. Wi-Fi abgelöst.

Bluetooth verwendet dabei einen Frequenzbereich zwischen 2400 und 2480 MHz. Es stehen zwei Datenkanäle zur Verfügung:

* Synchron (SCO)
* Asynchron (ACL)

Ein Bluetooth Netzwerk nennt sich Piconet und wird von den Geräten selbst aufgebaut. In der Theorie kann solch ein Netzwerk bis zu 255 Teilnehmer haben, von denen allerdings nur acht Geräte gleichzeitig aktiv sein können. Jeweils ein Gerät fungiert hierbei als Master, welches bis zu sieben Slaves ansteuern kann. Ein Gerät kann dabei auch in mehreren Piconets angeschlossen sein (siehe Abbildung 14).

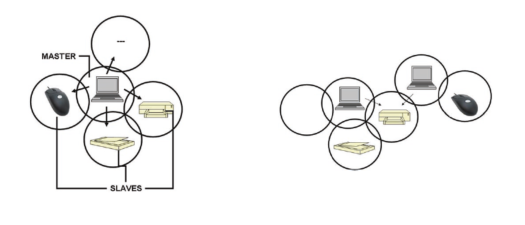


Abbildung 14: Links ein Piconet mit mehreren Slaves, rechts ein Slave in mehreren Piconets [18]

Jedes Bluetooth Gerät besitzt eine Geräteadresse von 48 Bit Länge und scannt seine Umgebung ständig nach neuen Geräten. Nach Erkennung eines potentiellen Verbindungspartners kann eine sogenannte Paging-Aufforderung vorgenommen werden, das Gerät welches diese Aufforderung absendet, fungiert fortan als Master innerhalb des Piconets. Dieser hat die Kontrolle, welcher Slave zu welchem Zeitpunkt Daten auf dem Kanal übertragen darf. Um Senderecht zu erteilen, schickt der Master ein Datenpaket. Hat der Master keine Daten für den Slave, ist dieses Datenpaket leer. Dennoch ergibt der Master dem Slave auf diese Weise das Senderecht, sodass der Slave ein Antwortpaket zurückschicken kann. Diese Pakete haben eine Länge von 1-5 Slots (siehe).

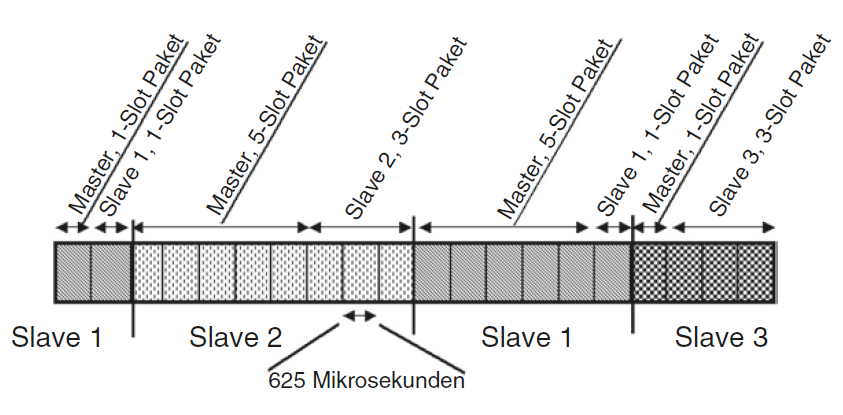


Abbildung 15: Kommunikation zwischen einem Master und drei Slave Endgeräten [19]

Ein Slave kann nicht vorhersehen, wann Datenpakete des Masters eingehen, aufgrund dessen ist es manchmal notwendig, dass die Master und Slave Rollen getauscht werden. Zum Beispiel, wenn Gerät 1 mit Gerät 2 Kontakt aufnimmt, um Daten zu synchronisieren. Wenn Gerät 2 jetzt aber Daten an Gerät 3 senden will, ist dies nur möglich, wenn Gerät 1 und 2 ihre Rollen tauschen. Dieser Vorgang wird auch Master-Slave Role Switch genannt. Es ist Gerät 2 nun möglich, Kontakt mit Gerät 3 aufzunehmen, während die Datenübertragung zu Gerät 1 noch läuft. Durch die Kontaktaufnahme zu Gerät 3 verringert sich die Datenrate zwischen Gerät 1 und 2.

Bluetooth bietet, wie auch andere drahtlose Kommunikationsmittel wie WLAN oder Mobilfunk, Gefährdungspotenziale was die Sicherheit des Traffics betrifft. So ist es möglich, über verschiedene Wege ein Netzwerk auszuspähen, zu blockieren oder gar zu verändern und aktiv einzugreifen. Im Speziellen sind dabei z.B. das Man-in-the-Middle Attaken zu erwähnen, wobei sich eine dritte Person von außen unbemerkt zwischen zwei kommunizierende Geräte schaltet, bei nicht vorhandener Datenverschlüsselung wird dies erleichtert. Oftmals wird auch spezielle Hacking-Software genutzt, mit der in die Konfiguration eingegriffen und Parameter geändert werden können. [19]

## WLAN

WLAN ist die Abkürzung für Wireless Local Network. Dabei geht der drahtlose Funkverkehr über den klassischen hinaus und kann auch den Infrarotbereich einschließen. Die Frequenzen der Funknetze liegen zwischen 300 MHz und 5 GHz. Das erste Frequenzband zur freien Nutzung wurde 1985 durch die Federal Communications Commission (FCC) vergeben, das sogenannte ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical). Seit 1997 gibt es den von der IEEE verabschiedeten 802.11 Standard, auf den die weiteren Entwicklungsschritte aufbauten. [20]

Die Funknetze setzen sich aus Zellen zusammen, welche sich ihrerseits weiter zu ausgedehnten Netzen kombinieren. Dabei legt die Reichweite der Sender die Ausdehnung einer Zelle fest. Eine solche Zelle wird auch Basic Service Set (BSS) genannt. Auf diese Weise bilden bereits zwei Laptops ein eigenes WLAN (siehe Abbildung 16), auch bei weiteren Geräten besteht noch nicht die Notwendigkeit einer Zentralverwaltung.

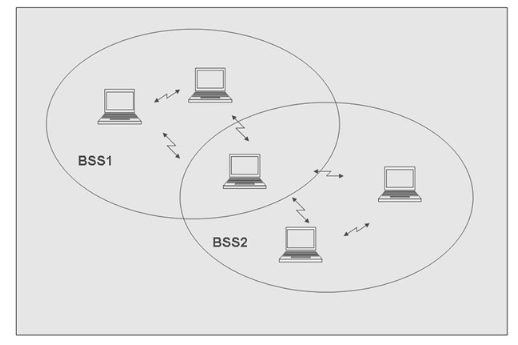


Abbildung 16: Überlappende BSS [20]

Bis zu einer gewissen Größe lassen sich solche Netzwerke ständig erweitern. Da keine zentrale Konfiguration benötigt wird, werden diese Netzwerke auch ad-hoc Netzwerke genannt. Der Datenaustausch erfolgt direkt zwischen zwei Teilnehmern und alle Stationen sind gleichberechtigt. Diese Netzwerke sind geeignet für kurzfristig erforderliche Netzwerke, wie zum Beispiel bei Tagungen oder Ausstellungen.

Ein weiterer Modus zum Betrieb eines WLANs ist der Infrastruktur-Modus. Dabei sind die einzelnen BSS Teil eines verzweigten Netzwerks, wobei die Stationen nicht mehr, wie beim ad-hoc Modus, von Punkt zu Punkt kommunizieren, die Kommunikation verläuft über eine zentrale Stelle. Die Reichweite um einen Access Point herum beträgt zwischen 30 und 250m, je nach Umgebung und verwendeter Hardware.

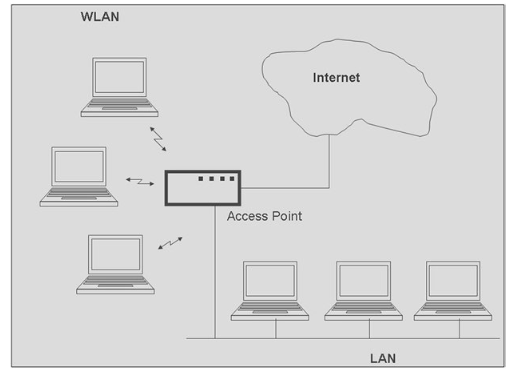


Abbildung 17: WLAN im Infrastrukturmodus [20]

In der Theorie kann ein Access Point bis zu 2007 Stationen bedienen, die tatsächlichen Möglichkeiten liegen aber weit darunter. Unter anderem kommt der zu übertragenen Datenmenge eine große Rolle zu, bei 11 Mbit/s liegt eine handhabbare Anzahl von Access Points bei circa 20. [21]

## 5G

5G (Fifth Generation) ist ein Standard für mobiles Internet, bei dem im Vergleich zum Vorgänger 4G (LTE) ein große Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit auf bis zu 10000 Mbit/s zu erwarten ist. Im Gegensatz zur den Vorgängergenerationen geht es bei 5G nicht alleine um die Kommunikation, sondern vielmehr um eine komplett vernetzte Umwelt, für die im Hinblick auf das Internet of Things bislang ohne den 5G Standard noch keine ausreichenden Rahmenbedingungen vorliegen. [21]

Die wesentlichen Neuerungen des mobilen Funksystems wird bei Frequenzen oberhalb von 6 GHz geschehen, welche bis dahin noch nicht genutzt wurden, bestehende LTE Strukturen werden dabei weiter genutzt (siehe Abbildung 18).

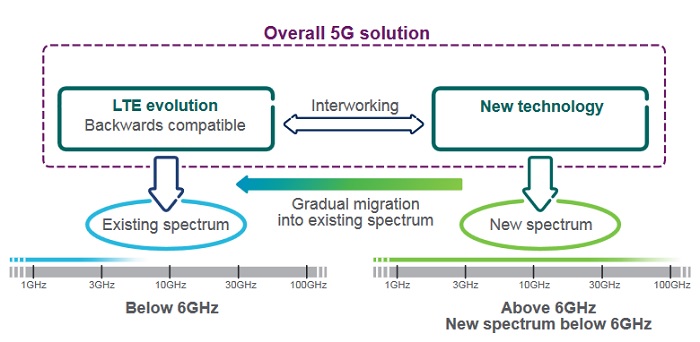


Abbildung 18:Frequenzbereiche für 5G [21]

Aufgrund dessen muss das zukünftige Netz weitaus engmaschiger sein, da kleine Hindernisse bei so hohen Frequenzen bereits zum Verbindungsabbruch führen können. Dies führt zu großen technischen sowie wirtschaftlichen Ausmaßen.

Neben der Anwendung des mobilen Internets für Privatpersonen ist 5G auch für Unternehmen interessant, die ihre Produktion im Zuge der Industrie 4.0 weiter digitalisieren wollen. Mit diesem echtzeitfähigen Kommunikationsweg mit Latenzzeiten von unter 1 ms ist eine flexible Verteilung der Arbeitslasten möglich.

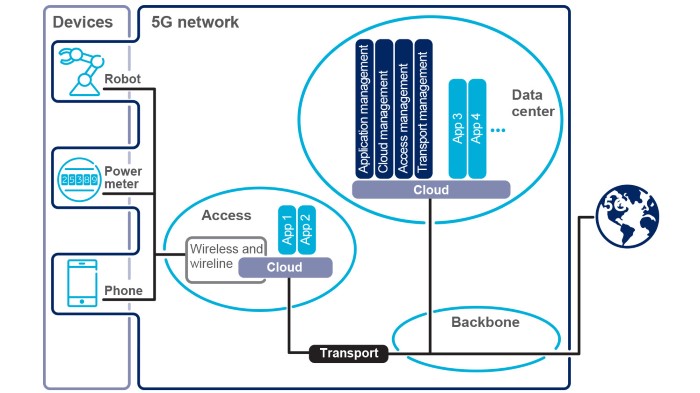


Abbildung 19: 5G System in der Produktion [22]

Die Hauptdomänen des 5G Systems sind drahtloser Zugriff, Transport sowie Anwendungen und Verwaltung. Wie in Abbildung 19 zu erkennen, können mit Hilfe einer solchen Struktur die Anwendungen auf einer Cloud ausgeführt werden. Damit kann ein Dienst unabhängig vom Standort ausgeführt werden, dank der Echzeitfähigkeit des Systems ist damit eine flexible Steuerung der Produktionsabläufe möglich.

# Bestehende Daten-Kommunikations-Standards

## IEEE 1451 Standard

## Object Management Group (OMG) Standard

## Serielle Schnittstellen

### Inter-IC Interface (I2C)

Ein I2C-Bus ermöglicht die Vernetzung von Mikrocontrollern, Sensoren und anderen Bausteinen wie A/D-, D/A-Wandler, RAM-Speicher etc. [16] Der I2C-Bus funktioniert nach dem Master-Slave Prinzip, wobei der Master der Knoten ist, der die I2C-Kommunikation initiiert und beendet, den Takt für die Synchronisation der Datenübertragung bereitstellt und Kommunikationsprobleme erkennt und löst. Jeder Slave besitzt eine Adresse, die 7 oder 10 Bit groß sein kann, sodass 128 bzw. 1024 unterschiedliche Slaves im Bus verbunden sein können. Zusätzlich bieten einige I2C-Bauteile (Speicher oder Sensoren) neben der fest programmierten Device Type Adresse eine über externe Anschlüsse einstellbare Device Chip Adresse an, was einen Anschluss und die Identifikation von mehr Geräten erlaubt. [17] Die Datenrate des I2C-Bus kann bis zu 5 Mbit/s betragen. [3]

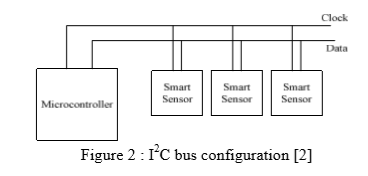


Abbildung 9: I2C-Bus Konfiguration [16]

Der Master wird mit dem Slave über bidirektionale Busleitungen, der Datenleitung (auch: SDA) und der Taktleitung (auch: SCL), verbunden. Die Busleitungen werden über pull-up Widerstände an die Versorgungsspannung angeschlossen, so ,dass eine UND-Verdrahtung der Geräte entsteht.

Ein neues Gerät kann an den Bus angeschlossen werden, indem die entsprechenden Anschlüsse eines Gerätes mit der Daten- bzw. Taktleitung verbunden werden. Dadurch, dass der Bus als synchroner Multi-Master Bus konzipiert wurde, kann jedes angeschlossene Gerät als Master oder Slave fungieren. [17]

Für ein System aus intelligenten Geräten, wäre die Schnittstelle bzw. der Bus dahingehend sinnvoll, dass jeder Teilnehmer durchzuführende Aktionen als Master vermitteln könnte.

### Serial Periphal Interface (SPI)

Bei dem SPI handelt es sich um ein Master-Slave System mit drei Leitungen für eine 8-Bit Datenkommunikation und einer Leitung um die Slaves anzusteuern. [16] Sie ist eine häufig genutzte Schnittstelle, um auf Sensoren auf der Leiterplatte oder außerhalb des Gehäuses zuzugreifen und ermöglicht wesentlich höhere Datenraten als bei asynchronen Schnittstellen. Ein Problem ist jedoch die Erhöhung des EMV-Risikos mit zunehmender Länge der Zuleitung, sodass Abschirmmaßnahmen erforderlich sind. [17]

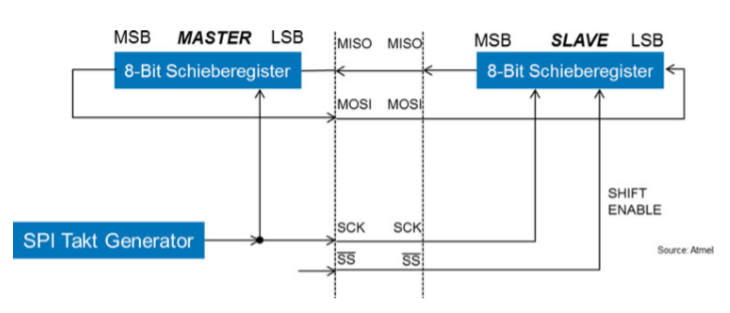


Abbildung 10: Schemazeichnung der SPI Schnittstelle [17]

Die SPI Schnittstelle wird genutzt, wenn einer Master CPU mehrere Knoten (Slaves) untergeordnet sind. Der Takt wird vom Master angegeben und der Slave über die Slave Select (SS) Verbindung angesteuert. Der Slave wird dabei erst aktiv, wenn SS ein Low-Signal gibt. Der Master schiebt die Daten aus dem Master-Schieberegister in das Slave-Schieberegister. Zeitgleich schiebt der Slave mit dem selben Takt Daten zum Master. Die beiden sind dabei über die Leitungen MISO (Master In Slave Out) und MOSI (Master Out Slave In) in einer Ringtopologie verbunden. Die Leitung Slave Select verhindert bei mehreren Slaves im Ring, dass mehrere Ausgänge parallel auf den Bus schalten. [17]

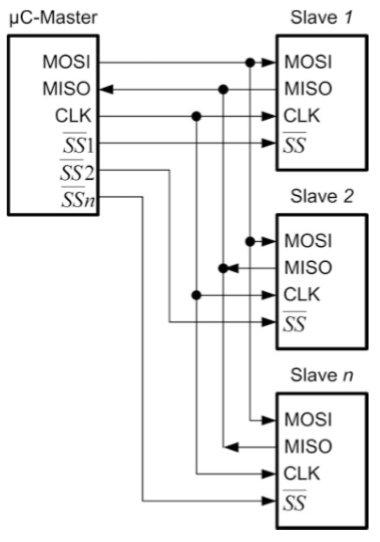


Abbildung 11: Beschaltung mehrerer Sensoren über SPI [17]

Für die Konfiguration der Schnittstelle legt man fest, in welcher Reihenfolge die einzelnen Bits eines Bytes übertragen werden. Überträgt man zuerst Bit 0, spricht man vom LSB (least significant bit), überträgt man zuerst Bit 7, spricht man vom MSB (most significant bit). Des Weiteren gibt es vier verschiedene Modi, die sich in der Polarität des Taktes (CPOL) und der Taktphase (CPHA) unterscheiden. [17] Die Polarität des Taktes gibt an, ob der Ruhepegel bei 0 oder bei 1 liegt, die Taktphase gibt an, bei welche Flanke (erste oder zweite) die Daten übertragen werden sollen.

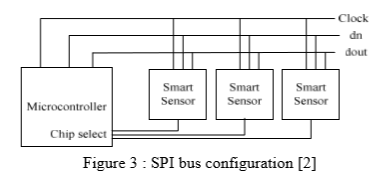


Abbildung 12: SPI Konfiguration [16]

Die Möglichkeit der Nutzung von vier verschiedenen Modi und die einfache Übertragung der Daten durch Schieben ermöglicht eine vielseitige Nutzung, sodass auch Einzelanfertigungen als SPI-Slave genutzt werden können. Die Hardware muss also nicht kompliziert gestaltet sein wie beim I2C-Bus (Signale sind beim I2C-Bus verschlüsselt). Allerdings ist die Größe des Netzwerkes dadurch beschränkt, dass jedes Gerät über die Slave Select mit dem Master verbunden sein muss. Eine Integration eines neuen Slaves gestaltet sich damit auch schwieriger als beim I2C-Bus. [16]

### Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART)

UART ist eine serielle, asynchrone Schnittstelle, die häufig bei PCs und Mikrocontrollern genutzt wird. Daten werden über zwei unidirektionale Datenleitungen mit Datenraten zwischen 50 Bit/s und 500 kBit/s übertragen. [3] Der Ausgang zum Senden ist dabei TX und der Eingang zum gleichzeitigen Empfangen ist RX. [17] Durch die asynchrone Übertragung und damit dem Fehlen eines separaten Taktsignales, muss sich der Empfänger durch die Schaltflanken des Start- und Stoppbits und durch die eingestellte Baudrate auf die empfangenen Daten synchronisieren. [3] Die Baudrate und die Länge des Datenpakets (fünf bis neun Bit Größe) müssen daher vor der Übertragung festgelegt werden. Die Übertragung startet mit einem Startbit, der dadurch erkannt wird, dass er komplementär zum Ruhepegel ist. Es folgt die Übertragung eines Datenworts (zwischen fünf und neun Bit; i.d.R. acht Bit), auf die ein Paritätsbit und ein oder zwei Bit im Ruhepegel folgen, welche das Zeichen für die Beendung der Übertragung sind. Das Paritätsbit dient der Erkennung, ob eine fehlerhafte Kommunikation stattgefunden hat. [17]

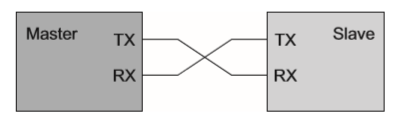


Abbildung 13: Konfiguration UART [3]

Die Schnittstelle hat einen Transmitter- und einen Receiver-Teil. Der Transmitter konvertiert die Bytes in einen seriellen Fluss aus den zu übertragenden Datenbits. Der Receiver nimmt den eingehenden Strom aus Datenbits auf und gruppiert diese in von 8-Bits, sodass diese als Bytes strukturiert werden können. [16]

Über UART lassen sich einfache Verbindungen zu PCs aufbauen, da eine digitale serielle Schnittstelle realisiert wird. [17]

# Industrial Internet of Things

## Möglichkeiten Smarter Module

# Konzipierung

## Anwendungsszenario

## Anforderungen

## Auswahl Sensorik und Aktorik

## Systemarchitektur

## Auswahl Bussystem

# Integration in höhere Systeme

# Fazit und Ausblick

# Literaturverzeichnis

# Abbildungsverzeichnis