

# Bluetooth, ZigBee und IrDA

## Vergleich und Industrieanwendungen

Rudi Latuske, ARS Software

Der Einsatz drahtloser Vernetzungstechnologien in der Industrie ist interessanter denn je. In der Industrie gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie die Datenübertragung mit dem PC/PDA, die Datenübertragung von Sensoren zu übergeordneten Systemen usw. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Wireless Technologien.

Der Artikel gibt einen Überblick über die Möglichkeiten und den Einsatz der drahtlosen Vernetzungsvarianten Bluetooth, ZigBee und IrDA für den Nahbereich.

### 1. Wireless Datenübertragung in der Industrie

Die drahtlose Datenübertragung in der Industrie ermöglicht vielfältige Anwendungen in der Gebäudeautomatisierung, bei drahtlosen Steuerungen, Übertragung von Verbrauchsdaten (Gas, Wasser, Elektrizität), Serviceschnittstellen an Maschinen, drahtlose Sensoren u. v. m. Aber auch bei sich bewegenden oder rotierenden Maschinen ist die drahtlose Datenübertragung oft die einzige Methode Daten von der Maschine zu erhalten.

Diese Anwendungen haben zum Teil sehr unterschiedliche Anforderungen an die Merkmale der drahtlosen Vernetzung. Beispiele für diese Merkmale sind u.a.:

- Maximale Nettodatenrate
- Reichweite in Metern (Unterscheidung nach innerhalb und außerhalb von Gebäuden)
- Leistungsverbrauch in mW oder  $\mu$ W (ggf. Unterscheidung nach Standby und Betrieb bzw. ist ein Batteriebetrieb möglich).
- Anzahl der aktiven Knoten (Punkt-zu-Punkt oder Netzwerke)
- Mit wem wird kommuniziert bzw. wer ist die Gegenstelle (PC, PDA, spez. Handhelds, Industriesteuerung usw.)

Besonders die beteiligten Gegenstellen sind von Interesse. Sehr häufig bestimmen vorhandene Gegenstellen die Art der zu verwendeten Vernetzungstechnologie.

Einige der genannten Merkmale werden im Einzelfall u. U. sehr unterschiedlich gewichtet. Bei einem stationären System mit ausreichender Stromversorgung ist der Stromverbrauch häufig nicht das Problem. Hingegen ist das bei einem abgesetzten Sensor sehr wohl von Bedeutung. Die Reichweite hängt sehr stark von der Umgebung (innen/außen, Material der Wände, mögliche Reflexionen) ab.

Im Folgenden wird ein Überblick über wesentliche Merkmale von Bluetooth, ZigBee und IrDA gegeben. Im Anschluss daran wird die Eignung dieser Systeme für die Kommunikation mit Standardgeräten wie dem PC, PDA, Mobiltelefon u. a. gegeben.

### 2. Bluetooth

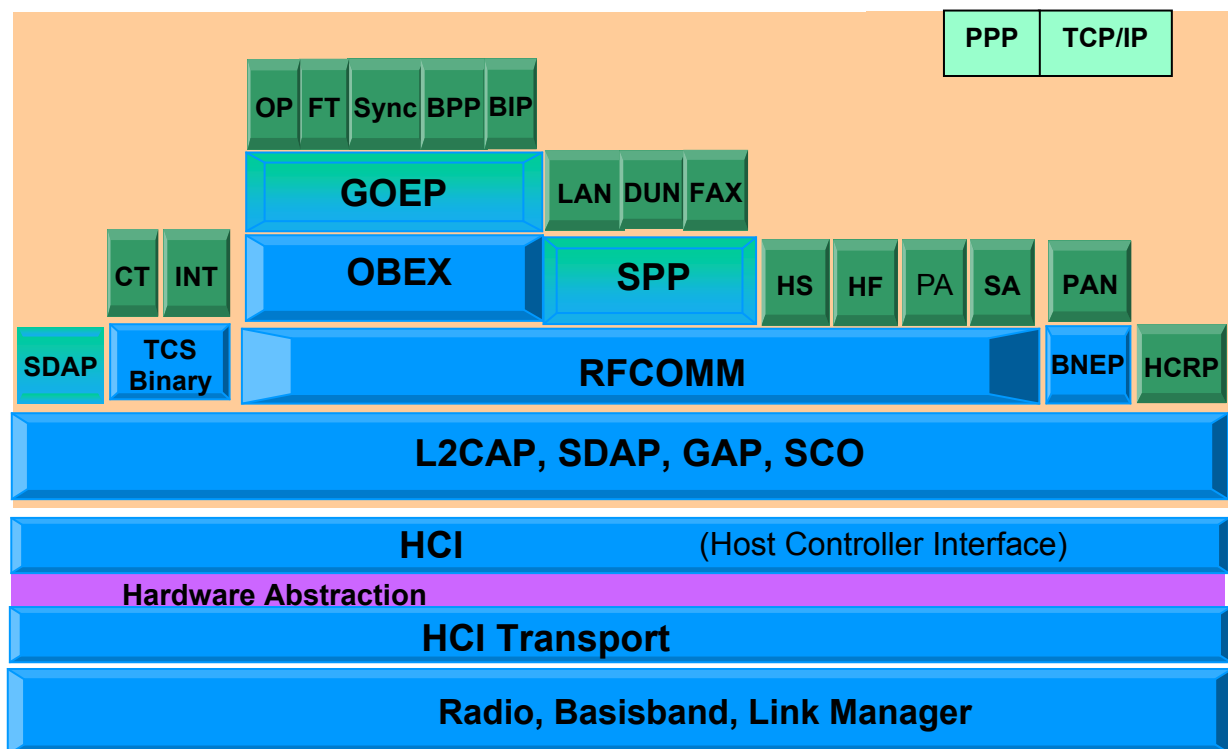
Bluetooth ist eine Technologie die für Verbindungen von mobilen Clients (Mobiltelefonen, Headsets, Freisprecheinrichtungen, PDA, Datenerfassungsgeräten usw.), Access Points, Telefonanlagen und dem PC entwickelt wurde. Andere Anwendungen sind auch die Verbindung von PC-Peripherie (Access Points, Modems, Tastatur, Kameras usw.) mit dem PC. Bluetooth geht auf Entwicklungen bei Ericsson zurück. Anfang 1998 wurde die Bluetooth Special Interest Group (SIG) von Ericsson, IBM, Intel, Nokia und Toshiba gegründet. Später kamen Agere, Motorola und Microsoft dazu. Diese Firmen bestimmen als Gründungsmitglieder die Entwicklung und Standardisierung von Bluetooth. Heute hat die Bluetooth SIG über 2800 Mitglieder. Im November 2003 wurde die Spezifikation 1.2 vorgestellt. Die Gründungsfirmen haben keine oder nur sehr geringe Aktivitäten in der Industrieautomatisierung. Das bestimmt sehr stark die Entwicklung von Bluetooth.

Schwerpunkt der für Bluetooth geplanten Anwendungen liegen eindeutig im Umfeld von Mobiltelefonen und PDA. Trotzdem lassen sich auch Anwendungen von Bluetooth in der Industrie realisieren. Dabei müssen aber diverse technischen und funktionelle Punkte berücksichtigt werden.

## 2.1 Bluetooth Protokolle und Profile

Die Entwicklung von Bluetooth erfolgte aus der Perspektive des Anwenders. Bluetooth als Kommunikationsprotokoll definiert für bestimmte Use Cases Prozeduren und einen minimalen Leistungsumfang für diese Anwendungen. Diese Definition wird bei Bluetooth als Profil bezeichnet. Beispiele für Profile sind u.a. Headset, Handsfree, LAN-Access, Dial-Up Network, Fax, Cordless Phone, File Transfer, Basic Printing, Basic Imaging, Audio/Video, Synchronisation. Profile definieren u.a. die Regeln für die Verbindungsaufnahme, die Art der Datenübertragung, Sicherheitsmechanismen, die beteiligten Protokollayer usw. Profile sind einer der Schlüssel für die Interoperabilität von Anwendungen bei Bluetooth.

**Bild 1** zeigt den Stack mit den Anwendungsprofilen und den Schnittstellen zur Hardware.



<b>HCI</b>	UART, V24 od. USB Schnittstelle zwischen Host CPU und Basisband.
<b>L2CAP</b>	Logical <b>L</b> ink <b>C</b> ontrol and <b>A</b> daptation <b>P</b> rotocol
<b>SDP</b>	<b>S</b> ervice <b>D</b> iscovery <b>P</b> rotocol mit Datenbank für die Serviceeinträge.
<b>TCS Binary</b>	<b>T</b> elephony <b>C</b> ontrol & <b>S</b> ignaling
<b>RFCOMM</b>	Emulation einer seriellen Schnittstelle über Bluetooth
<b>BNEP</b>	<b>B</b> luetooth <b>N</b> etwork <b>E</b> ncapsulation <b>P</b> rofile
<b>OBEX</b>	<b>O</b> bject <b>E</b> xchange, ein Filetransferprotokoll
<b>GAP</b>	<b>G</b> eneric <b>A</b> ccess <b>P</b> rofile, definiert grundlegende Bluetooth Merkmale
<b>SDAP</b>	<b>S</b> ervice <b>D</b> iscovery <b>A</b> pplication <b>P</b> rofile
<b>GOEP</b>	<b>G</b> eneric <b>O</b> bject <b>E</b> xchange <b>P</b> rofile
<b>SPP</b>	<b>S</b> erial <b>P</b> ort <b>P</b> rofile
<b>Management Entity</b>	liefert Services für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Connection Device Discovery</li> <li>- Link Key Management</li> <li>- Security Management</li> </ul>

Die oberen Blöcke in **Bild 1** zeigen die definierten Anwendungsprofile (nicht vollständig).

<b>HCRP</b>	<b>Hardcopy Cable Replacement Profile</b>
<b>PAN</b>	<b>Personal Area Network Profile</b>
<b>OP</b>	<b>Object Push</b>
<b>FT</b>	<b>File Transfer</b>
<b>SYNC</b>	<b>Synchronisation</b>
<b>BPP</b>	<b>Basic Printing Profile</b>
<b>BIP</b>	<b>Basic Imaging Profile</b>
<b>LAN</b>	<b>LAN Access Profile</b>
<b>DUN</b>	<b>Dial-Up Network Profile</b>
<b>FAX</b>	<b>Telefax Profile</b>
<b>HS</b>	<b>Headset Profile</b>
<b>HF</b>	<b>Hands-Free Profile</b>
<b>CT</b>	<b>Cordless Telephony Profile</b>
<b>INT</b>	<b>Intercom Profile</b>

Profile sind anwendungsnahe Software die den Leistungsumfang (Umfang und Komfort einer Anwendung) der jeweiligen Anwendung (Freisprechen) bestimmen.

Typische industrielle Anwendungen werden von keinem definierten Bluetooth Profil abgedeckt. Häufig wird das Serial Port Profil (SPP) bzw. das Personal Area Network (PAN) Profil dafür verwendet.

**Radio** ist die eigentliche HF-Hardware für das Senden und Empfangen. Das **Basisband** ist für das Timing, die Pakete und Frames und die Steuerung der einzelnen Verbindungen (Links) zuständig. Das Basisband beinhaltet das **Link Manager Protokoll (LMP)** und unterstützt Circuit- und Packet-Switching. Das Basisband hat einen eigenen Prozessor.

Der Verbindungsaufbau wird vom **LMP** übernommen. Das LMP erkennt und kommuniziert mit anderen Geräten im Empfangsbereich und verwaltet die Zustände der einzelnen Verbindungen. Der Link Manager löst auch Konflikte zwischen den Slaves (Fair Relationship) auf und verwaltet die Power Management States (Park, Sniff und Hold). In diesem Layer werden auch Adressanfragen beantwortet, die Art der Datenübertragung (Daten, Audio usw.) ermittelt bzw. festgelegt und die Datenübertragung selbst durchgeführt. Die Verwaltung der Devices erfolgt über einen Identifier (Name des Bluetooth Gerätes).

Das **Logical Link Control Adaption Protocol (L2CAP)** adaptiert die oberen Protokolle an das Basisband bzw. Link Manager. Dabei werden den höheren Protokollen verbindungsorientierte und verbindungslose Services zur Verfügung gestellt. Segmentation, Reassembly, Multiplexing und Zusammenfassung der Teilnehmer in Gruppen wird unterstützt. L2CAP führt auch Quality of Service für die Parameter (Service Type, Verzögerungsbandbreite für Pakete, Verzögerung der Bits vom Sender zur Funkstrecke, Bandbreite u. ä.) durch.

**RFCOMM** ist das logische Äquivalent einer V.24 Schnittstelle über eine Funkstrecke gemäß ETSI GSM 7.10. Damit können serielle Daten von Legacy Anwendungen von z.B. Modems usw. übertragen werden. Die V.24 wird dabei vollständig (inkl. Flusskontrolle) emuliert.

Für die Übertragung von IP-Paketen wird das **Bluetooth Network Encapsulation Protokoll (BNEP)** und das **Personal Area Network (PAN)** Profil eingesetzt.

Eine Anwendung oberhalb RFCOMM ist das bereits bei IrDA verwendete **OBEX (Object Exchange)** mit den Profilen Object Push, File Transfer und Synchronisation mittels **Infrared Mobile Communication (IrMC)**, einem ursprünglich bereits bei IrDA definierten Synchronisationsstandard. Object Push wird häufig für die Übertragung von Files verwendet. Bei **OBEX** werden die Pakete vom Stack übernommen und automatisch übertragen. Die **Audio** Daten werden direkt an die Basisband CPU übergeben.

Der Speicherbedarf für das Bluetooth Protokoll inkl. Profil und der eigentlichen Anwendung bei ca. 60-200 Kbyte.

### Sicherheit von Bluetooth

Bluetooth unterstützt eine sichere Kommunikation zwischen den Teilnehmern mittels diverser Verfahren.

**Authentication** ist der Vorgang zur Ermittlung des anderen Gerätes (nicht Nutzer!) mit der Abfrage der Bluetooth Adresse. Authentication wird durch gespeicherten Link Key oder Eingabe der PIN erreicht.

**Authorization** wird für die Prüfung ob Device A Zugriff auf die Services von Device B hat verwendet.

**Encryption** ist die Verschlüsselung der zu übertragenden Daten mit Schlüssellängen von 8 bis 128 Bit (in Byte-Schritten einstellbar). Die Schlüssel werden niemals veröffentlicht. Jeder Link in einem Piconet verwendet einen anderen Schlüssel.

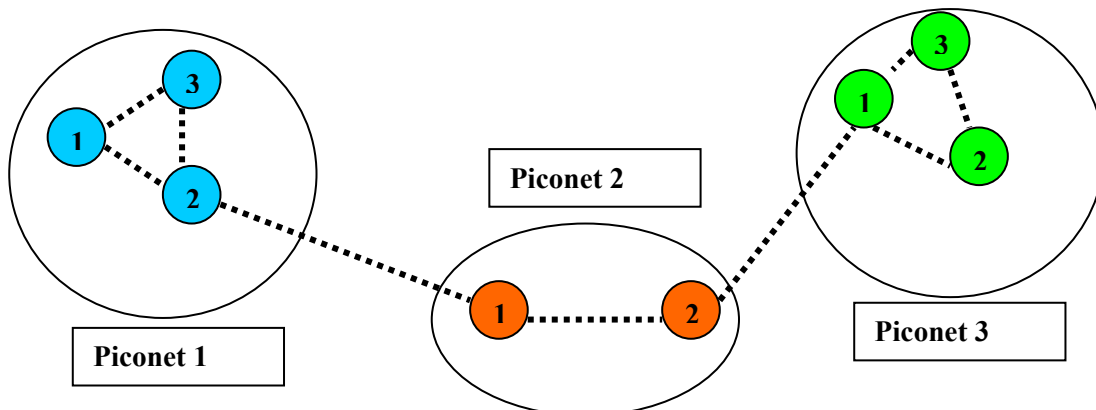
Die Verschlüsselung und das verwendete Frequenzsprungverfahren gewährleisten eine sehr sichere Übertragung bei Bluetooth.

## 2.2 Bluetooth Systemarchitektur, Verbindungsaufbau und Datenübertragung

Bluetooth arbeitet im Industrial, Scientific und Medical Band (2,4GHz). Zwischen den Teilnehmern wird eine Funkverbindung aufgebaut. Punkt-zu-Punkt und Punkt-zu-Multipunkt Verbindungen sind möglich. Dabei bilden bis zu 8 Bluetooth Kommunikationsgeräte ein **Piconet**. Alle Geräte in einem solchen **Piconet** sind praktisch gleichberechtigt. Die Teilnehmer von bis zu 10 Piconets können untereinander in Kontakt treten. Mehrere Piconets nennt man auch ein **Scatternet**.

**Hinweis:** Scatternets sind auch bei Bluetooth 1.2 nicht definiert.

**Bild 2** zeigt den Verbindungsaufbau innerhalb eines und zwischen mehrere Piconets.



Der Initiator der ersten Verbindung übernimmt dabei die Rolle eines Masters für die Kommunikation, d.h. er verwaltet die Adressen (48 Bit, ähnlich IEEE 802) und versendet Signale für die Synchronisation. Die anderen Geräte arbeiten als Slaves. Jedes Bluetooth Gerät besteht aus dem HF Teil mit Sender/Empfänger und einem Prozessor mit einer HCI Schnittstelle. Ein Bluetooth Gerät unterstützt einen asynchronen Kanal, bis zu 3 synchrone Kanäle für Sprache oder einen Kanal mit asynchronen und synchronen Daten bzw. Sprache. Die Datenübertragung verwendet Time Division Duplex (TDD) für den Full-Duplex Betrieb. Jeder Link kann bis zu 12 verschiedene Pakettypen unterstützen

**Asynchrone (Daten)-Übertragung:** Dabei stehen bis zu 7 Kanäle pro Piconet zur Verfügung. Die Daten werden mit maximal 432,6 KBit/s in beide Richtungen, oder mit 721 KBit/s (57,6 Kbit/s im Rückkanal) in eine Richtung übertragen. Die Übertragung ist symmetrisch oder asymmetrisch. Diese Kanäle werden Asynchronous Connection Less Links (ACL) genannt. Die Asynchrone Übertragung ist für Daten (keine Sprache, kein Audio) aller Art geeignet. Dafür sind verschiedenen Paketformate (s. Tabelle 1) definiert.

**Tabelle 1 ACL-Pakete, Nutzdaten und maximale Übertragungsraten in kBit/s**

Type	User Nutzdaten Bytes	FEC	CRC	symmetr. Datenrate	asymmetrisch Forward	asymmetrisch Reverse
DMI	0-17	2/3	Ja	108,8	108,8	108,8
DH1	0-27	Nein	Ja	172,8	172,8	172,8
DMB	0-121	2/3	Ja	258,1	387,2	54,4
DH3	0-183	Nein	Ja	390,4	585,6	86,4
DM5	0-224	2/3	Ja	286,7	477,8	36,3
DH5	0-339	Nein	Ja	433,9	723,2	57,6
AUX1	0-29	Nein	Nein	185,6	185,6	185,6

### Hinweis:

Die erzielten Übertragungsraten sind sehr stark von den verwendeten Paketen und der Qualität der Übertragungsstrecke abhängig!

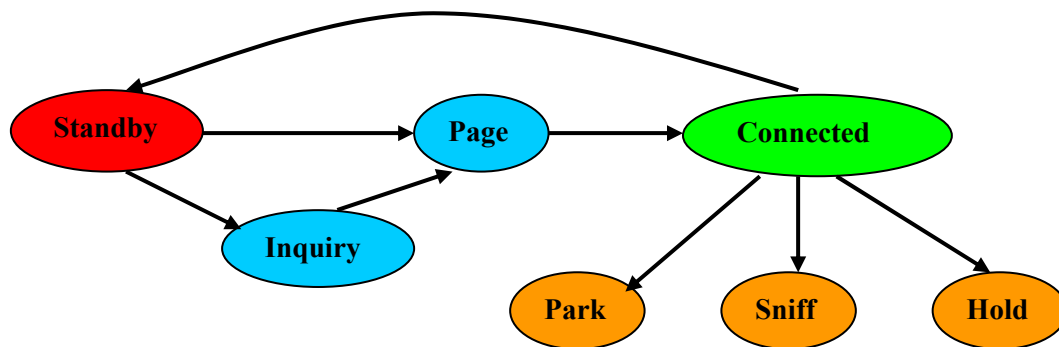
### Die Kommunikation läuft wie folgt ab:

Wenn die Geräte eingeschaltet sind, befinden diese sich im **Standby** Mode. Hier wird nach 1,28 s (einstellbar) überprüft, ob ein Verbindungswunsch anliegt. Stationen in diesem State sind nicht verbunden. Die Station, welche als erste eine Verbindung aufbaut, ist der **Master**. Die andere/n Station/en ist/ sind **Slave/s**. Der Verbindungsaufbau erfolgt durch das Senden einer **Page** (MAC Adresse ist bekannt) Nachricht oder einer **Inquiry** (MAC Adresse ist nicht bekannt und wird erst ermittelt) Nachricht an alle Stationen.

**Hinweis:** Die Zeit, bevor der Master sich mit einem Slave verbunden hat beträgt ca. 5 Sekunden und mehr.

Danach befindet sich die Station im State **Connected**. Nach dem Datenaustausch kann **Detach** gesendet werden und der Empfänger geht in **Standby** Mode.

**Bild 3** zeigt die Übergänge zwischen den einzelnen States.



Um Strom zu sparen, können Stationen die nicht senden oder empfangen, in verschiedene Power-Safe Zustände wechseln. Diese Zustände sind in der Reihenfolge ihres Energieverbrauchs (abfallend) aufgelistet:

**Sniff:** Hierbei wird in einstellbaren periodischen Abständen die Schnittstelle auf Daten überprüft.

**Hold:** Slaves können in diesen Zustand - vom Master oder sich selbst initiiert - wechseln. Die MAC Adresse bleibt erhalten.

**Park:** Die Stationen nehmen nicht an der Kommunikation teil. Die MAC Adresse wird zurückgegeben. Der Verkehr des Masters wird aber für Synchronisationszwecke aufgenommen. Broadcast Nachrichten werden erkannt und verarbeitet.

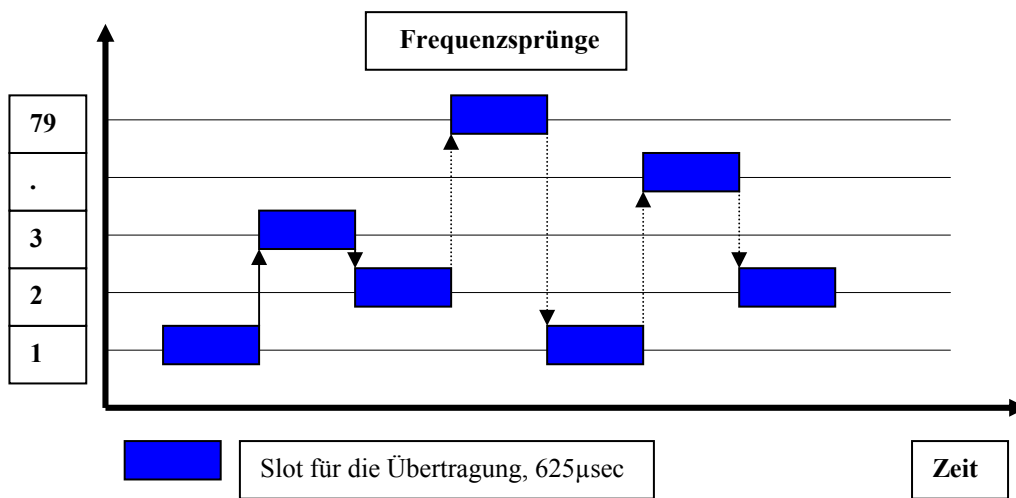
**Hinweis:** die Power Safe-Modes können nur verwendet werden, wenn sie in der Basisband CPU bzw. im Link Manager vorhanden sind. Die Power Safe Modes bedingen eine zeitliche Verzögerung – typisch im Sekundenbereich - beim Wiederaufbau von Verbindungen.

**Synchrone (Sprach)-Übertragung:** Hier stehen 3 Kanäle pro Piconet zur Verfügung. Sprachübertragung ist mit kodierten Sprachsignalen bei 64 KBit/s möglich. Die Übertragung erfolgt über die Synchronous Connection Oriented (SCO) Links.

### 2.3 Bluetooth Physical Layer

Der Bluetooth Transceiver arbeitet bei **2,402 bis 2,48 GHz** mit einem **Frequenzsprungverfahren** (Frequency Hopping) und verwendet maximal **1600 Frequenzsprünge** (Hops) in der Sekunde. Dabei wird zwischen **79 Frequenzstufen im 1 MHz Abstand** gewechselt. Mit diesem Verfahren werden Interferenzen und Störungen (Mikrowellengeräte arbeiten bei ca. 2,45 GHz) vermieden. Bei jedem Sprung wird ein Datenpaket mit ca. **1 MBit/s** (Daten und Steuersignale) übertragen. Die Bluetooth Geräte in einem Piconet werden mit einer 3 Bit MAC Adresse angesprochen. Für den Empfang von Daten muss der Empfänger mit dem Sender synchronisiert sein, d.h. er muss die gleiche Sprungfolge verwenden.

**Bild 4** zeigt das Frequenzsprungverfahren von Bluetooth.



Ein Datenpaket ist mindestens ein Slot, drei oder maximal 5 Slots lang. .  
**Reichweite/Sendeleistung:** ca. 10m (1mW) bzw. bis 100m (100mW)

### 2.4 Hardware-Realisierung eines Bluetooth-Systems

Die Funktionen von Bluetooth werden in 2 Blöcken (Radio und Baseband) in ein oder zwei Chips umgesetzt. Der Baseband Prozessor ist eine 32 Bit bzw. 16 Bit CPU.

**Bild 5** zeigt die Realisierung eines Moduls mit 2 Chips.



Zwischen einzelnen Bluetooth-Chips bestehen z. T. große Unterschiede hinsichtlich Funktionsumfang und Leistungsverbrauch. Bei der Auswahl eines Bluetooth-Chips empfiehlt sich immer die Prüfung der implementierten HCI-Kommandos.

Die oberen Layer des Protokolls (L2CAP usw.) von Bluetooth laufen auf der Host-CPU (oberhalb HCI-Layer). Die Host-CPU übernimmt neben dem Stack auch die Aufgaben der Anwendung. Es sind auch Varianten möglich, bei den die Basisband CPU Aufgaben einer einfachen Anwendung übernimmt. Dabei ist die Software aber kaum portabel d.h., die Software kann nicht zusammen mit anderen Bluetooth Bausteinen eingesetzt werden.

### 3. ZigBee

Entwicklungs- und Normungsaktivitäten für ZigBee bzw. dessen Vorläufer liefen z. T. zeitlich parallel zu den Normungsaktivitäten von HomeRF unter dem Namen HomeRF Lite und Firefly. Ziel war die Entwicklung eines Low-Data Rate Wireless Netzwerkes. Die ZigBee Alliance ist ein Zusammenschluss von z.Zt. ca. 60 Mitgliedsfirmen und hat mit ZigBee einen Low-Power und Low-Data Rate Wireless Netzwerkstandard entwickelt. Diesem Thema hat sich auch das IEEE im Rahmen der IEEE802.15.4 „Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)“ Normung angenommen. Es wurde auch eine ZigBee Working Group gegründet die am IEEE802.15.4 Standard (Task Group 4, TG4) mitarbeitet. Ziel der TG4 Aktivitäten ist die Spezifizierung eines PHY- und MAC Funk-Layers für Low-Power Geräte die für mehrere Monate oder auch Jahre mit einer Batterie betrieben werden können. Der Frequenzbereich für ZigBee liegt im ISM Band bei 868MHz, 915MHz und 2,4GHz. Anwendungen sind Sensoren, Aktoren, Fernbedienungen, Industrienetzwerke, Gebäudeleittechnik, Spielzeuge, Haushalt, Konsumerelektronik, u.a. Die ZigBee Alliance hat sich für IEEE802.15.4 (TG) als den zu verwendeten PHY und Data Link (MAC/LLC) Layer entschieden. Die ZigBee Alliance entwickelt dafür einen Standard für die oberen Protokolle. Dieser Standard wird in der endgültigen Form im 2. Quartal 2004 verabschiedet.

Motivation für die Entwicklung von ZigBee waren die Anforderungen der Gebäudeleittechnik, der Automatisierungstechnik und der Sensorik die eine drahtlose Anbindung der in diesen Anwendungen eingesetzten Geräte erfordern. Praktisch alle in Frage kommenden Technologien sind aber für einen anderen Anwendungszweck entwickelt wurden. Bei WirelessLAN (IEEE802.11) beschreibt der Name den hauptsächlich Anwendungsfall. Bluetooth wurde primär für die Sprach- und Datenübertragung zwischen portablen Geräten – besonders Mobiltelefonen und PDA – und die Anbindung mobiler Clients (z.B. PDA) an Access Points ausgelegt. Industrielle Anwendungen mit Bluetooth lassen sich nur sehr aufwendig, nicht immer konform zum Standard und kaum kostengünstig realisieren. Ältere Technologien wie 433 und 868 MHz unterstützen nur geringe Datenraten und sind nur für Punkt-zu-Punkt Verbindungen ausgelegt. Eine Interoperabilität ist bei diesen Systemen nur bedingt gewährleistet. Die Entwicklung eigenen spezifischer Lösungsansätze bringt neben hohen Entwicklungsaufwendungen das Problem fehlender Interoperabilität mit sich. Daraus leitet sich das Interesse an einem offenen Standard für solche Anwendungen ab.

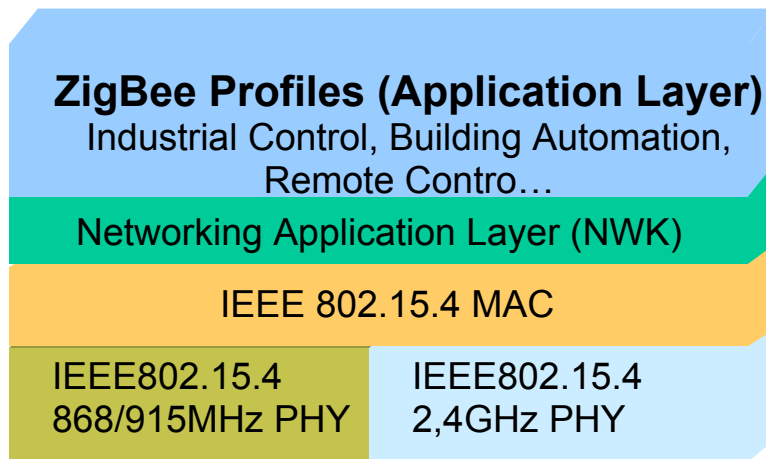
#### 3.1 ZigBee Protokolle und Profile

PHY und MAC basieren auf dem IEEE802.15.4 Standard, der LLC auf dem 802 Standard. Die PHY und MAC Layer werden vom Hersteller als Teil des ZigBee Chip geliefert. Die Software oberhalb dem Data Link Layer (MAC/LLC) ist der eigentliche ZigBee Protokollstack. Der ZigBee Protokollstack besteht aus dem Networking Layer und den ZigBee Profilen (Application Layer). Der NWK Layer verwaltet die entsprechende Netztopologie (Stern, Cluster-Tree...) und ist zuständig für den Aufbau eines Netzwerkes, die Teilnahme an einem Netzwerk, das Routing, Security Funktionen und die Verwaltung der unterstützten Geräte bzw. deren Eigenschaften.

Oberhalb des NWK Layer stehen Funktionen für die Suche (Discovery) von Geräten und Services, sowie das Binding von Geräten untereinander zur Verfügung.

Ähnlich wie Bluetooth definiert ZigBee mittels eines Satzes von definierten Funktionen Profile. Die ZigBee Alliance hat diverse Profile (u. a. Home Lightning) für die Industrieautomatisierung, die Gebäudeautomatisierung und die Fernsteuerung entwickelt. Dabei werden auch Funktionen wie z.B. die Sicherheit und das Verhalten des jeweiligen Gerätes definiert.

Auf dieser Ebene stehen auch die Funktionen für die Suche (Discovery) von Geräten und Services zur Verfügung. Jedes ZigBee Device hat bis zu 32 (0-31, 0 ist für das jeweilige Device reserviert) Endpoints. Endpoints unterstützen mehrere Anwendungen in einem ZigBee Device. Jeder Endpoint kann bis zu 8 Interfaces besitzen. Damit können auf einem Endpoint bis zu 8 Profile laufen. ZigBee unterstützt ausdrücklich das Konzept von kundenspezifischen Profilen.



**Bild 6** ZigBee Protokollstack mit Profillayer.

Ein ZigBee Protokollstack ist je nach Gerät zwischen ca. 6-32 KByte groß. Die Größe hängt sehr stark von der gewünschten Gerätekonfiguration (s. u.) ab.

### 3.2 ZigBee Systemarchitektur, Verbindungsaufbau und Datenübertragung

ZigBee und der IEEE802.15.4 Standard stellen dem Entwickler vier verschiedene Arten von Geräten (ZigBee Devices) zur Verfügung. Mit diesen Geräten wird das ZigBee Personal Area Network (PAN) aufgebaut.

- **Reduced Function Device (RFD)**  
Ein RFD verbindet sich nur mit einem Router FFD oder einem PAN Coordinator FFD. Arbeitet als End Device in einem Star oder Cluster-Tree Netz. Unterstützt nicht Mesh-Routing.
- **Full Function Device (FFD)**  
Verbindet sich mit einem PAN Coordinator FFD, Router FFD oder einem anderem FFD. Unterstützt Mesh-Routing.
- **Router FFD**  
Erlaubt den Einsatz eines RFD oder eines FFD als ein IEEE 802.15.4 Coordinator in einem PAN mit Cluster-Tree Konfiguration. Unterstützt Mesh-Routing.
- **Personal Area Network Coordinator (PAN) FFD**  
Erlaubt den Aufbau eines PAN und die Verbindung von RFD, FFD oder Router FFDs in einer Star und Cluster-Tree Konfiguration. Unterstützt Mesh-Routing.

Jedes ZigBee Netzwerk muss mindestens einen RFD oder FFD und einen Network Coordinator haben. Die meisten Sensoranwendungen sind RFD. Geräte mit einer Router Funktionen bzw. übergeordneten Aufgaben arbeiten als FFD und Network Coordinator. Damit lassen sich besonders für einfache Anwendungen sehr kostengünstige Implementierungen realisieren.

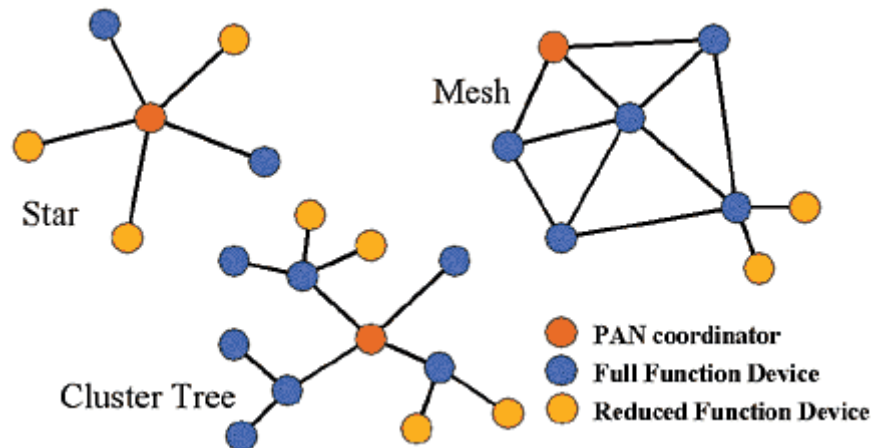
Ein wesentlicher Vorteil von ZigBee und den drei verschiedenen Gerätevarianten ist auch die Umsetzung verschiedener Netzwerk-Topologien (Star, Cluster-Tree und Mesh). Damit ist die Abbildung der jeweiligen Anwendung (große Sensorinstallationen usw.) sehr gut möglich.

Die **Star** Konfiguration ist die am häufigsten eingesetzte Konfiguration. Sie hat eine geringe Verzögerung. Es gibt einen PAN Coordinator und eines oder mehrere End Devices (maximal bis zu 65536).

Für größere Systeme ist die **Cluster-Tree** Konfiguration ein guter Ansatz. Beim Cluster-Tree werden mehrere Stern-Netze zu einem großen Netz zusammengefasst. Es wird ein „Netmask“ ähnliches Routing.

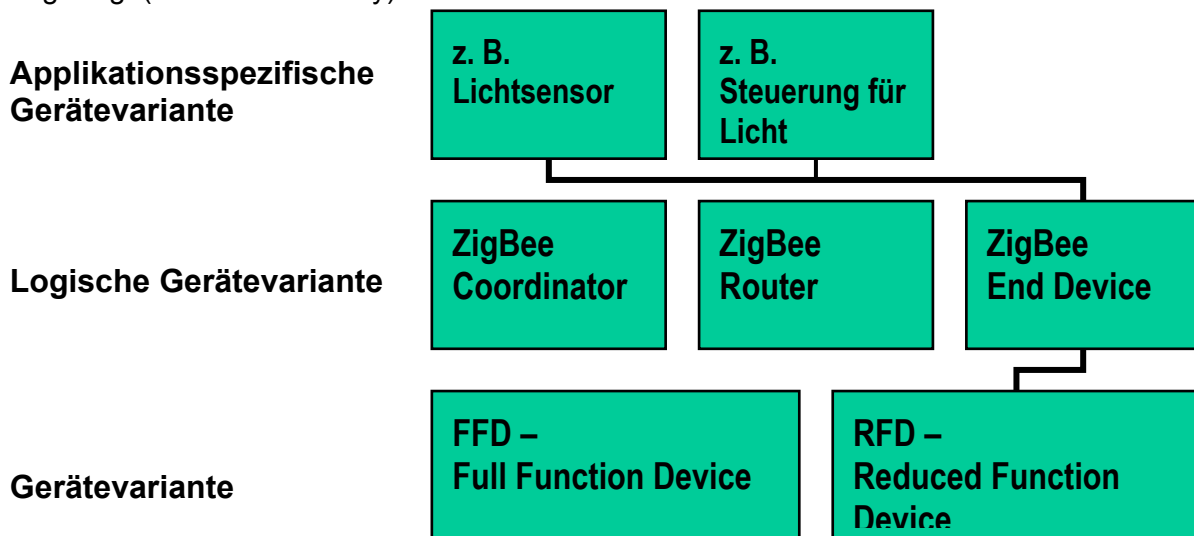
Die **Mesh** Konfiguration ist gut geeignet für Netzwerke in denen Nodes hinzugefügt bzw. entfernt werden und in denen eine Routing-Flexibilität verlangt wird. Mesh verwendet eine Version des Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing (AODV) Algorithmus (Beitrag der IETF für das Mobile Ad Hoc Networking (MANET)).

**Bild 7** zeigt das ZigBee Netzwerkmodell mit den unterschiedlichen Geräteklassen und Netzwerkkonfigurationen.



ZigBee Geräte können auch über deren Verhalten definiert werden. Ein Coordinator will ein PAN aufbauen. Der Router sucht einen aktiven Kanal/aktives Device mit dem er sich verbinden kann. Wenn er keinen findet baut ein Router sein eigenes PAN auf. End Devices versuchen immer an einem PAN teilzunehmen.

Geräte finden andere Geräte über einen Channel Scan. Dabei werden Beacon Frames von 15ms Länge erkannt. Die gefundenen Geräte werden nach Ihren unterstützten Services abgefragt (Service Discovery).



**Bild 8** ZigBee Gerätevarianten und Abhängigkeiten.

Die Merkmale eines ZigBee Gerätes werden durch Service Deskriptoren beschrieben. Diese beinhalten Angaben zur logischen Adresse, der erweiterten Adresse, Unicast Unterstützung, Broadcast Unterstützung usw.

Interessant ist auch, dass ZigBee auch einen Management Layer und Netzwerkmanagement für die Verwaltung von ZigBee Nodes definiert. Damit lassen sich sehr große Netze mit Geräten unterschiedlicher Hersteller gut verwalten.

Der ZigBee MAC Layer hat 26 Services (bei Bluetooth sind es 131 und 32 Events). Der Zugriff auf den MAC Layer erfolgt mittels Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA). Superframes (optional) unterstützen die Übertragung zeitkritischer Daten.

Die Datenübertragung erfolgt mit PHY Paketen von 127 Byte Länge. Dabei können 0 bis 122 Byte Daten übertragen werden. Die Daten sind mit einer 16 Bit CRC geschützt.

Sicherheit wird bei ZigBee mittels einer 32-128 Bit AES Verschlüsselung erreicht. Authentication wird auch unterstützt.

### 3.3 ZigBee Physical Layer

ZigBee arbeitet auf 27 Kanälen in 3 Frequenzbändern (s. Tabelle 2). Dabei werden auf dem PHY Layer unterschiedliche Verfahren eingesetzt. In den 868/915 MHz Bändern sind das Binary Phase Shift Keying (BPSK), im 2,4GHz Band ist das Offset Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK). Beide Verfahren gewährleisten in den jeweiligen Frequenzbändern eine robuste Datenübertragung und ein Optimum bei der Signalgüte. Die Daten werden mit Direct Spread Spectrum auf den Träger übertragen.

	BAND	COVERAGE	DATA RATE	CHANNEL NUMBERS
2.4 GHz	ISM	Worldwide	250 kbps	11-26
868 MHz		Europe	20 kbps	0
915 MHz	ISM	Americas	40 kbps	1-10

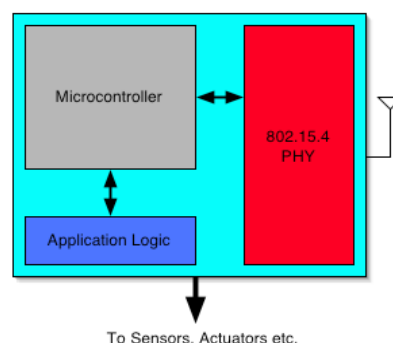
**Tabelle 2** Frequenzbänder und Bruttodatenrate von ZigBee.

Die Ausgangsleistung beträgt typisch ca. 1mW und ermöglicht Reichweiten von bis zu 20-30 Metern. Die Empfängerempfindlichkeit ist  $-85\text{dBm}$  (2,4GHz) und  $-92\text{dBm}$  (868/915MHz).

### 3.4 Hardware-Realisierung eines ZigBee-Systems

ZigBee Implementierungen werden in einem Single-Chip IC mit integrierten Data Link (MAC/LLC) und PHY Layer geliefert. Der Network Layer, die Profile und Security Funktionen werden hardwareunabhängig von Softwarefirmen angeboten. Der auf dem Chip notwendige Platz um die ZigBee Funktionalität zu realisieren ist gering. Die Chip-Preise werden deutlich unter denen von Bluetooth liegen. Single-Chip Implementierungen mit AD/DA Wandlern, Sensoren sind in der Entwicklung. Der RAM Bedarf liegt bei ca. 512 Byte (RFD) bis ca. 4 kByte (PAN Coordinator).

**Bild 9** ZigBee Chip mit integrierten PHY und MAC Layer.



ZigBee Schaltkreise sind ab dem 2. Quartal 2004 von diversen Firmen erhältlich. Dabei werden diese Bausteine mit integrierten MAC Layer geliefert.

Die Anwendung ist – im Vergleich mit Bluetooth – unproblematisch und schnell möglich. Konfigurationstools erlauben eine optimale Auslegung von ZigBee Netzen. Dabei kann auch direkt auf die Gerätekonfiguration Einfluss genommen werden.

## 4. IrDA

IrDA ist praktisch an jedem Mobiltelefon, PDA und Laptop vorhanden. Desktop PC können über einen IrDA COM- oder USB Port Adapter erweitert werden. IrDA ist sehr verbreitet. Mehr als 700 Millionen ausgelieferte IrDA Schnittstellen sind in Geräte integriert wurden.

Die Entwicklung von IrDA basiert im Wesentlichen auf Vorarbeiten und Entwicklungen bei der Firma Hewlett-Packard. HP hatte bereits 1979 eine Infrarot (IR) - Schnittstelle in ihren Taschenrechner für die Verbindung zu einem Drucker eingesetzt. Anfang 1990 brachte HP eine Reihe von Desktop – PC mit integrierter IR - Schnittstelle auf den Markt.

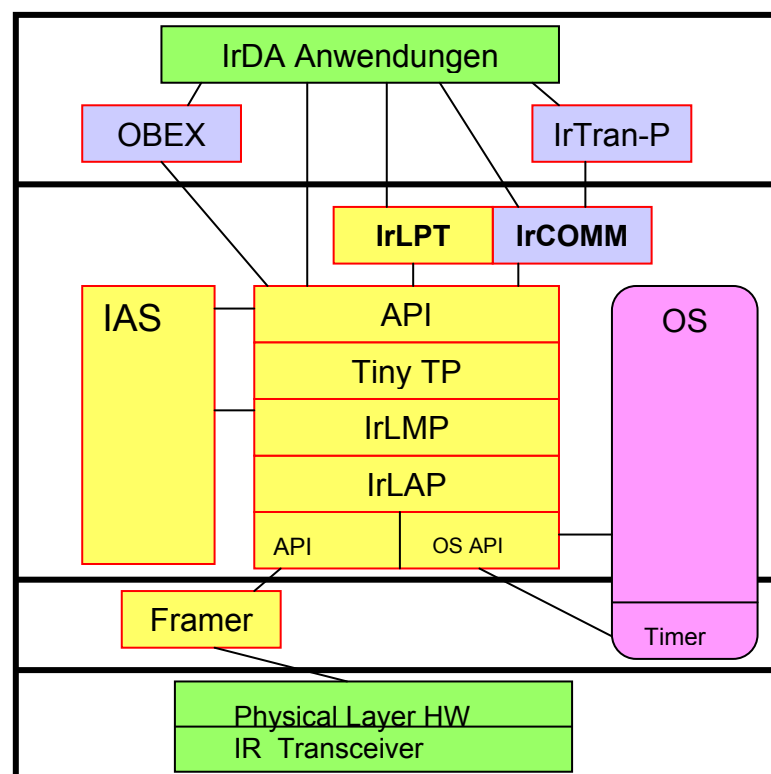
Fehlende Standards hatten ein Zusammenspiel der einzelnen Geräte aber unmöglich gemacht. Deswegen wurde im August 1993 von ca. 30 Firmen die **Infrared Data Association** (IrDA) gegründet. Schnell gelang die Einigung auf ein Protokoll für die Datenübertragung mittels IR - Strahlung. Die erste Version des Standards wurde SIR (Serial IR) genannt. Im Oktober 1995 erfolgte die Vorstellung der 1.1 Spezifikation. Damit wurde u. a. die Geschwindigkeit von 115 KBits/s auf 4 MBit/s erhöht.

### 4.1 IrDA Physical Layer und Protokoll

Der IrDA 1.0 Standard wurde besonders für Anwendungen entwickelt, welche eine temporäre bzw. eine IR - Verbindung benötigen. Viele der Handheld Anwendungen brauchen keine permanente Verbindung über IR zu einem PC. Die Verbindung selbst kann unbeabsichtigt, z.B. durch in die Verbindungslinie gebrachte Gegenstände unterbrochen werden. IR Kanäle müssen diesen Umständen Rechnung tragen. Die Verbindung über IR muss bei erstmaliger und wiederholter Verbindungsaufnahme schnell etabliert werden. Um die „Ad-hoc“ Natur dieser Verbindungen effektiv zu unterstützen, wurden bei IrDA im Protokoll entsprechende Vorkehrungen getroffen.

Die erste Version (1.0) der IrDA Spezifikation unterstützt Geschwindigkeiten von 9600 Bits/s bis zu 115 KBit/s. IrDA 1.1 beinhaltet einen erweiterten Physical Layer mit drei neuen Geschwindigkeiten: 576 KBit/s, 1.152 MBit/s und 4 MBit/s. Eine Erweiterung des IrDA Protokolls war die Einführung von IrCOMM und IrOBEX. IrCOMM ist ein Layer auf der Anwendungsebene für die Emulation von seriellen und parallelen Protokollen. IrOBEX wird für die Übertragung von Files verwendet.

**Bild 10** IrDA Protokoll und Hardware



Der **physikalische Layer** spezifiziert u. a. die Entfernung, den Abstrahlwinkel, die Strahlungsintensität und das Encoding.

Die IrDA Verbindung selbst ist für eine Entfernung von bis zu 1 Meter, vereinzelt werden auch Entfernungen von bis zu 3 Meter überbrückt. Der Abstrahlwinkel beträgt +/- 15% bis max. +/- 30%. Die Bit Error Rate beträgt bei IrDA 1.0 1 zu  $10^{-8}$  und ist besser als bei ISDN.

Die IrDA Bausteine sind für die Umsetzung der elektrischen Signale in Infrarotimpulse zuständig.

Die Übertragung auf dem Physical Layer erfolgt im Halb - Duplex. Die Verbindung basiert auf einem Master (Primary)/Slave (Secondary) Modell. Das Gerät, welches als erstes eine Verbindung aufbaut, ist i. d. R. das Primary Device. Die anderen Geräte arbeiten dann als Secondary Devices. Drucker arbeiten immer als Secondary Devices.

Bei der IrDA Spezifikation 1.0 für **SIR (Serial Infrared)** wurde ein asynchrones UART Interface mit 8 Datenbits, keine Parität, 1 Start Bit und 1 Stop Bit verwendet. Dieses Interface wurde mit IR Encoder/Decoder und IR Transceiver versehen. Damit ließen sich sehr preiswerte Interfaces aufbauen.

Das Encoding basiert auf RZI (Return to Zero Inverted). Ein Impuls mit einer Dauer von mindestens  $1,63\mu\text{sec}$  und maximal  $3/16$  der elektrischen Bitlänge entspricht einer logischen 0, eine logische 1 entspricht keinem Lichtimpuls. Das Bitintervall liegt zwischen  $417\mu\text{s}$  und  $8.7\text{ms}$ . Mit diesen kurzen Impulsen wird vor allem Energie gespart. Diese SIR genannte Übertragungsgeschwindigkeit ist heute praktisch in allen PDA und Mobiltelefonen integriert.

**Bild 11** Zeigt die Impulsformung bei SIR (9600 bis 115.200 KBit/s).

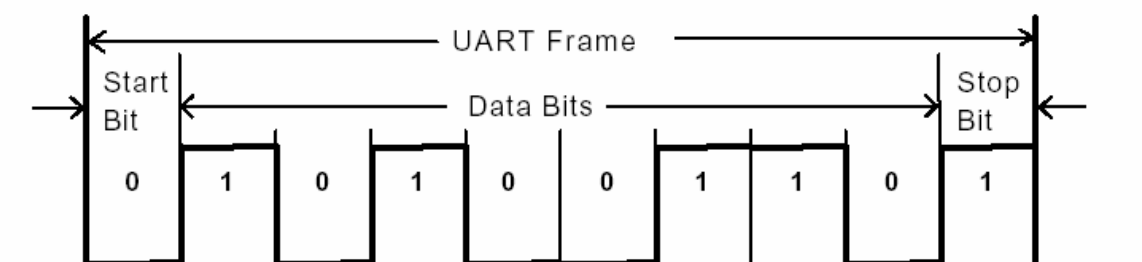


Figure 11a. UART Frame

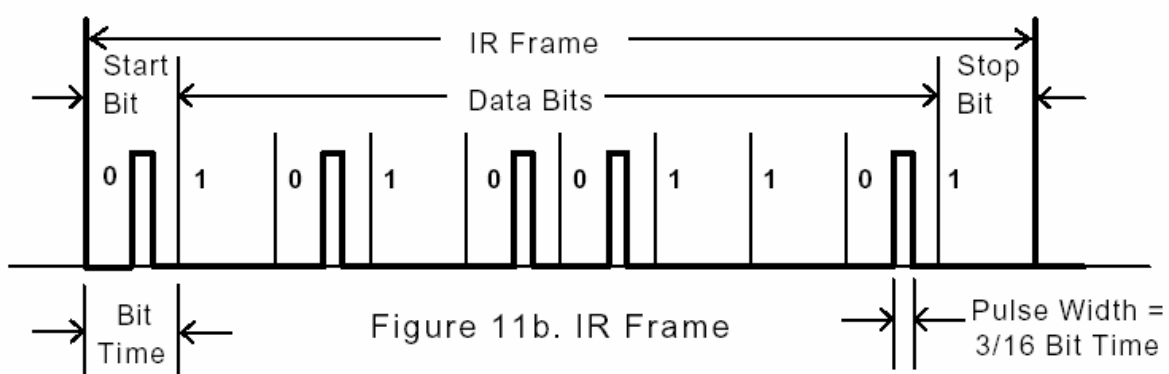


Figure 11b. IR Frame

Für die Unterstützung höherer Datenraten wurde in der IrDA 1.1 Spezifikation vom April 1995 die synchrone Datenübertragung mit  $0.576\text{ MBit/s}$  und  $1.152\text{ MBit/s}$  definiert. Diese **MIR (Middle Infrared)** genannte Übertragungsraten werden heute kaum verwendet. Darüber hinaus wurde bei IrDA 1.1 auch **FIR (Fast Infrared)** mit  $4\text{ MBit/s}$  und **VFIR (Very Fast Infrared)** mit  $16\text{ MBit/s}$  bei IrDA 1.4 definiert. FIR und VFIR basieren auf einer Phasenmodulation.

**FIR** ist in praktisch allen Laptops integriert. **VFIR** ist in Asien in Notebooks und externen IrDA Adaptern für den USB Port verbreitet.

Der Daten Link Layer bei IrDA wird durch das **IrLAP** (IrDA Link Access Protocol) realisiert. IrLAP stellt einen zuverlässigen Datentransfer unter Verwendung von Retransmission, Low-Level Flow Control und Fehlerkorrektur zur Verfügung.

Die Primary Station ist verantwortlich für den Aufbau der Verbindung und den Datentransfer, die Organisation und den Flow Control der Daten und die Behandlung von Data Link Fehlern. Typische Primary Geräte sind PCs, PDAs und Mobiltelefone.

Die Secondary Station sendet und antwortet nur wenn sie selbst angesprochen wird. Typische Secondary Geräte sind Drucker und Geräte mit geringen Systemressourcen. Secondary Implementierungen sind weniger komplex.

IrLAP definiert auch Services für die das Suchen und Finden (DISCOVERY) anderer IrDA Geräte. Dabei wird jeder Verbindungsaufnahme bei 9600 Bit/s durchgeführt. Nach erfolgter Verbindung wird auf die höheren Geschwindigkeiten umgeschaltet.

Die Verbindungsparameter wie Paketgröße (64 Byte bis 2 KByte bzw. 16 KByte bei VFIR) und Windows-Size (Größe der Sende- bzw. Empfangsbuffer) wird zwischen den beteiligten Geräten ausgehandelt.

**IrLMP** benötigt die von IrLAP ausgehandelte zuverlässige Verbindung. Die Funktionen von IrLMP sind u.a. Multiplexing (mehrere IrLMP Clients bzw. IrDA Anwendungen können einen IrDA Link benutzen), Beseitigung von Adressenkonflikten (wenn zwei Geräte die gleiche IrDA Adresse benutzen, erfolgt die Aufforderung an beide jeweils eine neue Adresse zu generieren) und **Information Access Service (IAS)**, eine Art „Yellow Service“ mit dem die auf dem jeweiligen Gerät verfügbaren Services beschrieben werden. Alle vorhandenen Dienste und Anwendungen müssen im IAS eingetragen werden. Diese Einträge werden dann für die Service Adresse (LSAP-SEL) verwendet. Eine vollständige IAS Implementierung besteht aus Client und Server. Der Client sendet seine Anforderungen mittels des Information Access Protocol IAP (IAP wird nur innerhalb IAS verwendet) an andere Geräte.

Der **Tiny TP** Layer ist für den Flow Control und die Segmentierung und das Reassembly der Anwendungspakete (IrCOMM und IrOBEX) notwendig. Flow Control arbeitet wie bei Bluetooth mit dem Empfänger mitgeteilten Credits.

**IrCOMM** Bei der Entwicklung der IrDA Standards waren eine Vielzahl unterschiedlicher Peripherie und PC mit V.24 und paralleler Schnittstelle am Markt eingeführt. Es war daher ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung des IrDA Stacks auch das Zusammenarbeiten mit diesen Schnittstellen zu ermöglichen.

Die Kommunikation bei IrDA unterscheidet sich signifikant von der Kommunikation über serielle oder parallele Schnittstellen die mit mehreren Signalleitungen arbeiten. Bei IrDA müssen alle Signale über einen IR Strahl übertragen und alle Informationen in das IrLMP verpackt werden.

Um die unterschiedlichsten Schnittstellen mit IrDA Funktionalität auszurüsten, wurden 4 verschiedene Profile/Varianten bei IrCOMM definiert:

- 3 Draht Raw Data (**IrLPT**, **Infrared Line Printer**), Emulation paralleler und serieller Schnittstellen für das Senden von Daten, keine Kontrollinformationen, kein Multiplexing, arbeitet direkt auf dem IrLMP
- 3 Draht, Emulation paralleler und serieller Schnittstellen, emuliert eine einfache V.24 Schnittstelle, minimale Verwendung von Kontrollinformationen, arbeitet mit Tiny TP
- 9 Draht, nur für die Emulation serieller Schnittstellen, emuliert eine vollständige V.24 Schnittstelle, verwendet Kontrollinformationen für den Status der V.24 Steuersignale, arbeitet mit Tiny TP
- Centronics, für die Emulation paralleler Schnittstellen, verwendet Kontrollinformationen für den Status der Centronics Steuersignale, verwendet Tiny TP

Bei IrCOMM werden Kontrollservices bereitgestellt Diese emulieren Hardware Handshaking Signale (z.B. DTR, DSR usw.).

**IrTRAN-P** ist ein Protokoll was in einigen Digitalkameras für die Übertragung der Bilder mittels IrDA verwendet wird.

Das **Object Exchange** Protokoll **IrOBEX** ist für den Austausch von Daten in unterschiedlichen Formaten ausgelegt. Dabei werden die zu übertragenden Daten, z.B. Daten von Handheld Geräten usw. als Objekte behandelt. Die Funktionen und die Arbeitsweise von IrOBEX ist ähnlich der von HTTP. Mit IrOBEX wird eine drastische Vereinfachung des Transfers verschiedener Daten erreicht, ohne dass der Anwender sich um unterschiedliche Formate kümmern muss. OBEX arbeitet mit den Operationen PUT (Senden) und GET Abholen).

IrOBEX ist in praktisch allen Mobiltelefonen, PDA und PC mit Windows2000/XP integriert. Die Version 1.2 des bei IrDA definierten IrOBEX ist auch Grundlage der OBEX Implementierung bei Bluetooth.

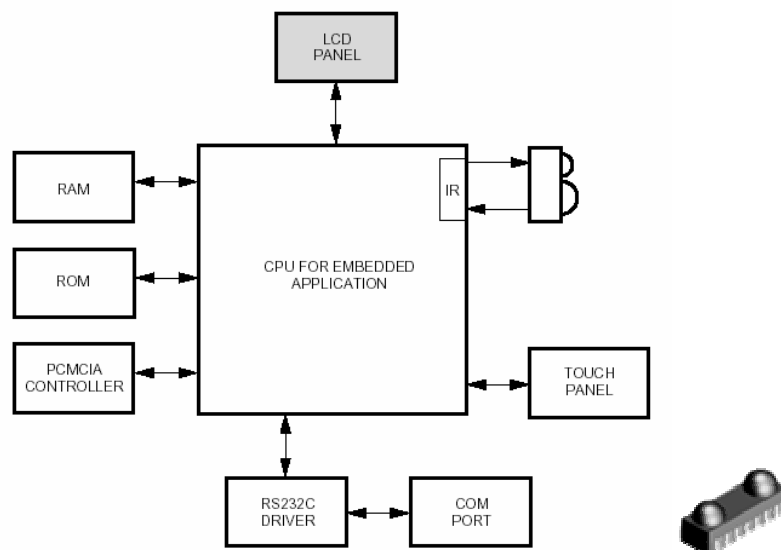
## 4.2 IrDA in embedded Systemen

Die Codegrößen für das eigentliche IrDA Protokoll liegt bei ca. 14-25 KByte. Dieser Wert hängt u. a. von der verwendeten Anwendung (IrCOMM oder IrOBEX), der Funktion (Primary/Secondary), dem Physical Layer (SIR oder FIR) ab. Der IrDA Stack benötigt sehr wenig Rechenzeit auf einer CPU. Für SIR Geschwindigkeit reicht eine 8 Bit CPU/ $\mu$ C.

## 4.3 IrDA Hardware

Die IrDA Hardware basiert auf dem eigentlichen Transceiver für die optischen Signale und einem Encoder/Decoder genannten Wandler. Dieser setzt die Datensignale in die Infrarotpulse (UART bzw. PPM) um. Viele Microcontroller unterstützen den IrDA Mode. Damit entfallen externe Encoder/Decoder.

**Bild 12** Embedded System ( $\mu$ C mit IrDA Interface) und Bild eines IrDA Transceiver.



## 5. Industrieforderungen an drahtlose Netzwerke

Da drahtlose Übertragungsverfahren mehr und mehr an Verbreitung gewinnen, stellt sich die Frage nach der Einsatzfähigkeit in der Industrie. Die von den aktuellen Technologien angebotenen Funktionen wie Sprachübertragung und hohe Datenübertragungsraten sind nicht oder nur von geringem Interesse. Für die Industrie interessante Funktionen sind – je nach Anwendung - die Unterstützung großer Netz (u. U. mehrere hundert Nodes), die schnelle Aktivierung der Datenübertragung u. U. auch nach längeren Sendepausen (z.B. für Geräte der Verbrauchsmessung für Elektrizität, Wasser usw.), die problemlose Kommunikation mit Standardgeräten (PC, PDA, Mobiltelefon) usw. Neben technischen Kriterien wie Reichweite, Energieverbrauch u. a. ist auch der notwendige Aufwand für die Integration, Zertifizierung aber auch die Dynamik des entsprechenden Standards wichtig. Auch der Preis der jeweiligen Lösung und die Folgekosten sind von wesentlicher Bedeutung.

Die Fragen für welche Anwendung wurde ein Wireless Standard entwickelt und welche Firmen treiben die Entwicklung für diesen Standard sind sehr wichtig. In vielen Fällen geben Sie Auskunft über die unterstützten Einsatzfälle und mögliche Weiterentwicklungen.

**Tabelle 3** ist der Versuch wesentliche Merkmale und Charakteristiken von Bluetooth, ZigBee und IrDA gegenüberzustellen. Die jeweiligen Merkmale haben je nach Anwendung u. U. eine andere Gewichtung und sollten im Einzelfall immer zusammen mit der Gesamtlösung betrachtet werden.

	<b>Bluetooth</b>	<b>ZigBee</b>	<b>IrDA</b>
<b>Bruttodatenrate</b>	Max. 1 MBit/s abhängig v. Paketen	20, 40 od. 250 KBit/s abhängig v. PHY	115,2 KBit/s, 4 oder 16 MBit/s
<b>Reichweite</b>	typ. 10m, max. 100m	60m/300m	0,5 – 2 m
<b>Anzahl der Geräte</b>			
<b>Energieverbrauch</b>	40-50mA	typ. 0,2mA	
<b>Batterie</b>	Aufladbar	Typ. nicht aufladbar 6-24M mit Batterien	Aufladbar
<b>Zeitverhalten bei</b>	7+1	65536+1	2 (Punkt-zu-Punkt)
<b>Suchen Gerät</b>	typ. 3-10s	30ms	100ms
<b>Sleep to Active</b>	typ. 2-3s	15ms	---
<b>Zugriff auf Device</b>	typ. 2ms (connected)	15ms	10ms
<b>Speicher für</b>			
<b>Stack inkl. Profil</b>	100-200 KByte	6-32 KByte	10-30 KByte
<b>RAM</b>	ca. 20 KByte	512 Byte bis 8 KByte	3-8 KByte
<b>Komplexität der</b>			
<b>Hardware</b>	Hoch	Mittel	Gering
<b>Software</b>	Hoch	Mittel	Mittel
<b>Integration</b>	Hoch	Gering	Gering
<b>Qualifizierungsk.</b>	Hoch	Mittel	---
<b>Sprache/Audio</b>	Ja	Nein	Nein
<b>TCP/IP</b>	Ja	Nein (Gateway)	Nein (Gateway)
<b>Netzwerkmanager</b>	Master	PAN Coordinator	---
<b>Systemkosten</b>	10-50 €	5-15 €	<5 €
<b>Definiert für:</b>	Mobiltelefone, PDA, PC...	Industrie	Mobiltelefone, PDA, Medizintechnik
<b>Typische Geräte</b>	Mobiltelefone, PDA, PC, Headset, Access Point...	Gebäudetechnik, Sensoren, Steuerungen,	Medizintechnik, PC, PDA, Sensoren, portable Datenerf.

## 6. Bluetooth, ZigBee und IrDA im PC, PDA und Mobiltelefon

Ein wesentlicher aber häufig nicht ausreichend beachtet Punkt beim Einsatz von drahtlosen Technologien ist das Zusammenspiel mit anderen, bereits vorhandenen Geräten. Hier lassen sich erhebliche Einsparungen bei Kosten und der Zeit erreichen. Bei optimaler Auslegung lassen sich kostspielige Entwicklungen für Gegenstellen bzw. spezielle Anpassungen und Treiber verzichten. Hier ein paar Anmerkungen für die einzelnen Technologien:

**Bluetooth** ist bei vielen Mobiltelefonen, PDA und PC entweder schon integriert oder über diverse Erweiterungskarten (CF) oder Adapter (USB) nachrüstbar. Bisher haben sich ca. 3 Anbieter den Bluetooth Markt für PDA und PC geteilt. Microsoft wird im SP2 für WinXP eine komplette Bluetooth Lösung anbieten. Es ist davon auszugehen, dass jede Bluetooth Lösung für WinXP und folgende Betriebssysteme nur auf Microsoft basiert. Andere Anbieter haben oder werden diesen Markt verlassen (müssen). Erste Anzeichen sind schon vorhanden. Wenn mit dem PC kommuniziert werden soll, muss man die Profilspezifikation einhalten. MS legt nicht alle API für jeden Layer offen. Für einige Layer/Profile wird es kein API geben.

Die genaue Einhaltung des Standards ist dabei sehr zu empfehlen. Bei Mobiltelefonen ist die Situation ähnlich. Nur ein völliges Einhalten der Profile bringt ein ermöglicht eine problemlose Kommunikation. Mit den meisten Smartphones lassen sich problemlos Daten aus der Industrie oder von medizinischen Geräten empfangen.

Bei **ZigBee** ist die Situation anders. Im Wesentlichen kommunizieren die entwickelten Geräte untereinander, z. B. eine Steuerung mit den entsprechenden Sensoren oder Aktoren. Der PC bzw. PDA wird bei ZigBee als Management System oder Abfrageeinheit eingesetzt. Dafür gibt es bereits entsprechende Software am Markt. Da ZigBee bei Profilen dem Entwickler mehr Eingriffe erlaubt, gestaltet sich die Abhängigkeit vom PC nicht so groß.

Bei **IrDA** ist die Situation ziemlich einfach. Als Standardanwendung wurde IrOBEX definiert. IrOBEX ist praktisch in allen Laptops, PDA und vielen Mobiltelefonen enthalten. Ab Windows2000 ist in allen MS Betriebssystemen eine OBEX Client und Server enthalten. Damit können – ohne das irgendeine Entwicklung auf dem PC/PDA notwendig ist – problemlos Files zwischen einem Standard PC und z.B. einer Datenerfassungseinheit oder einem medizinischen Gerät zu einem PC übertragen werde. Entwicklungsarbeiten fallen dabei nicht an. Bei IrCOMM ist das nicht ohne weiteres möglich. MS lässt nur noch eine Verwendung von IrCOMM als Modemschnittstelle zu.

## 7. Zusammenfassung

Wenn man die wesentlichen Merkmale der besprochenen Technologien vergleicht, kann zusammenfassend kann gesagt werden, dass **Bluetooth** sehr gut geeignet für:

- Ad-Hoc Netzwerke
- Systeme mit relativ hohen Datenraten
- Unterstützung von Sprache und Audio (i. Z. Video) und Filetransfer
- Kommunikation zwischen mit Mobiltelefonen, PDA, PC, USB Adaptern u. ä...

**ZigBee** ist sehr gut geeignet für:

- Anwendungen in der Industrie
- Systeme mit einer mittleren Datenrate
- Lange Batterielebensdauer
- Größere Netzwerke mit hunderten oder tausenden Nodes (Netzwerk Management)

**IrDA** ist sehr gut geeignet für:

- Einsatz von Funk nicht möglich oder gewünscht
- Sehr kostensensitive Anwendungen
- Nur 2 Teilnehmer bzw. nie mehr als 2 Teilnehmer gleichzeitig
- Einfache Kommunikation mit dem PC

## Literatur

Spezifikationen von Bluetooth, IEEE802.15.4, ZigBee und IrDA.

## Links

[www.bluetooth.org](http://www.bluetooth.org)

[www.zigzigbee.org](http://www.zigzigbee.org)

[www.ieee802.org/15/pub/TG4.html](http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html)

[www.irda.org](http://www.irda.org)

## ARS Software GmbH

Starnberger Str. 22

D-82131 GAUTING/München

Telefon: 089-893 4130

E-Mail: [info@ars2000.com](mailto:info@ars2000.com)

[www.ars2000.com](http://www.ars2000.com)