

# Internet Protocols II

---

*Thomas Fuhrmann*



Network Architectures  
Computer Science Department  
Technical University Munich

---

# *IEEE 802.15.1 – Bluetooth*



# Bluetooth – Radio and Link Manager

## Radio & Baseband

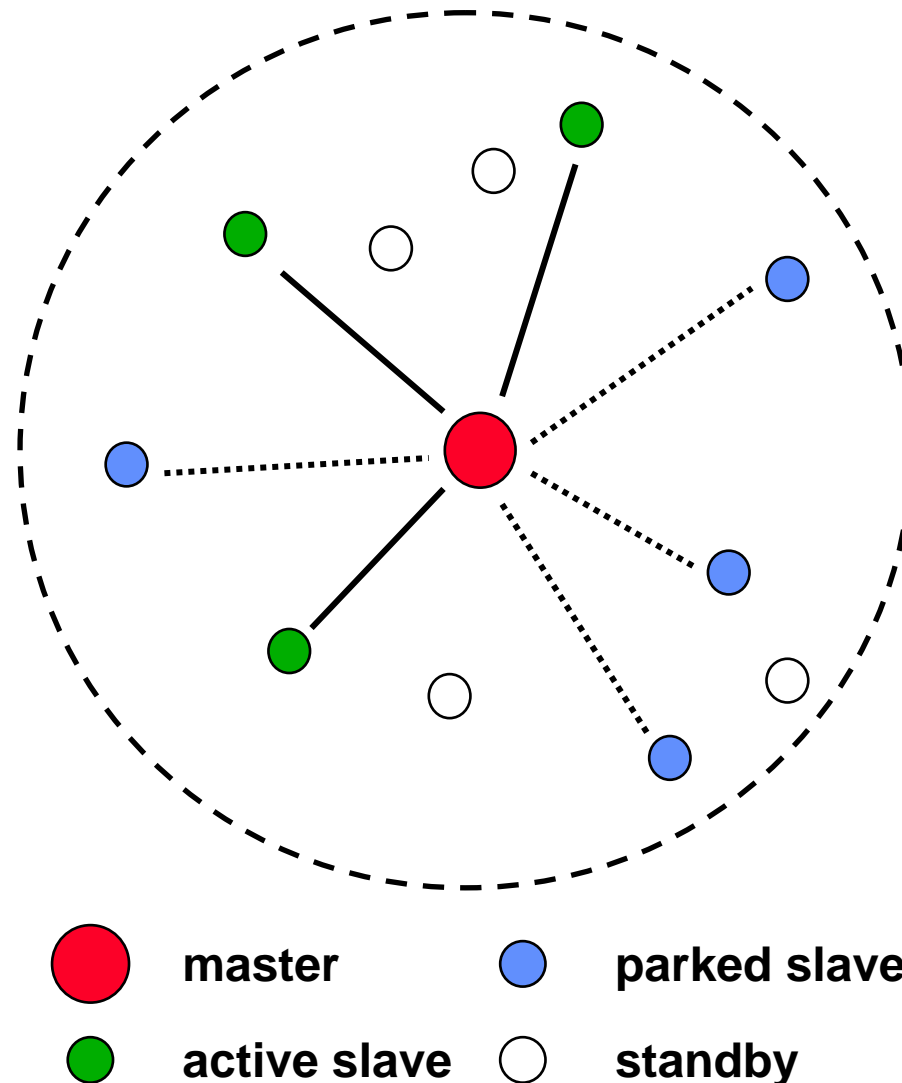
- Global 2.4 GHz ISM band (2.402 - 2.480; 79 channels)
- 1M symbol / s
- 2 FSK modulation
  - 432 kbit/s bidirectional
  - 721 kbit/s asymmetrical
- Low power : 0 dBm (optional: +20 dBm with Power Control)
- Range approx. 10 m
- Fast FHSS (1600 hops/s)
- Long switching time (220  $\mu$ s)

## Link Manager

- Piconet management
  - Attach and detach slaves
  - Master-slave switch
  - Establishing ACL and SCO links
  - Handling of low power modes: Hold, Sniff, Park
- Link configuration
  - Supported features
  - Quality of Service, usable packet types
  - Power Control
- Security Functions
  - Authentication
  - Encryption including key management
- Link Information

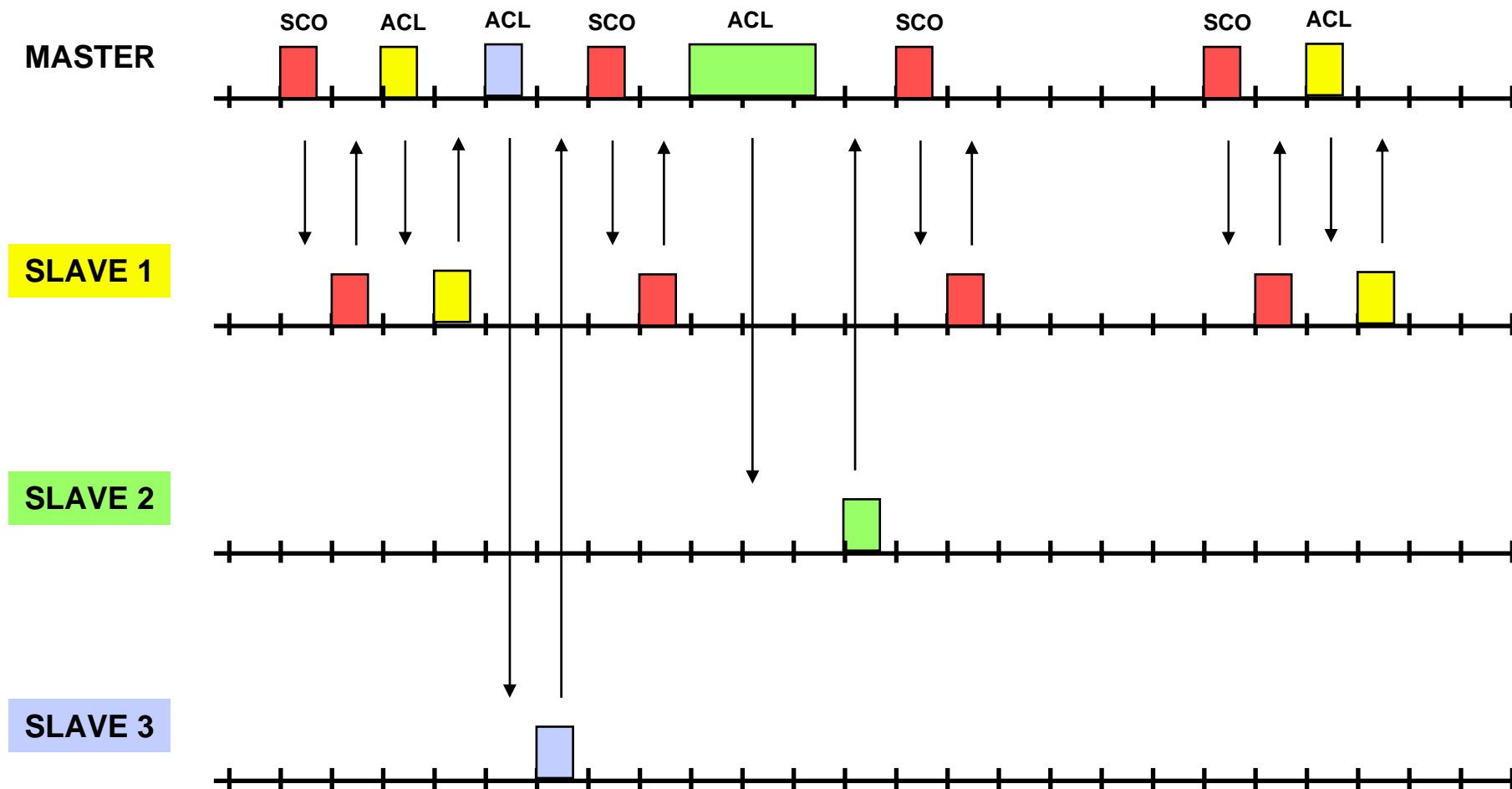
# Bluetooth – Piconet

- Star Topology
  - 1 Master, up to 7 active slaves
  - Unlimited number of parked slaves
- Master:
  - determines hopping scheme and timing
  - Administers piconet (polling)
- Logical Channels
  - Asynchronous, packet oriented
  - Synchronous, connection-oriented (voice, slot reservation)



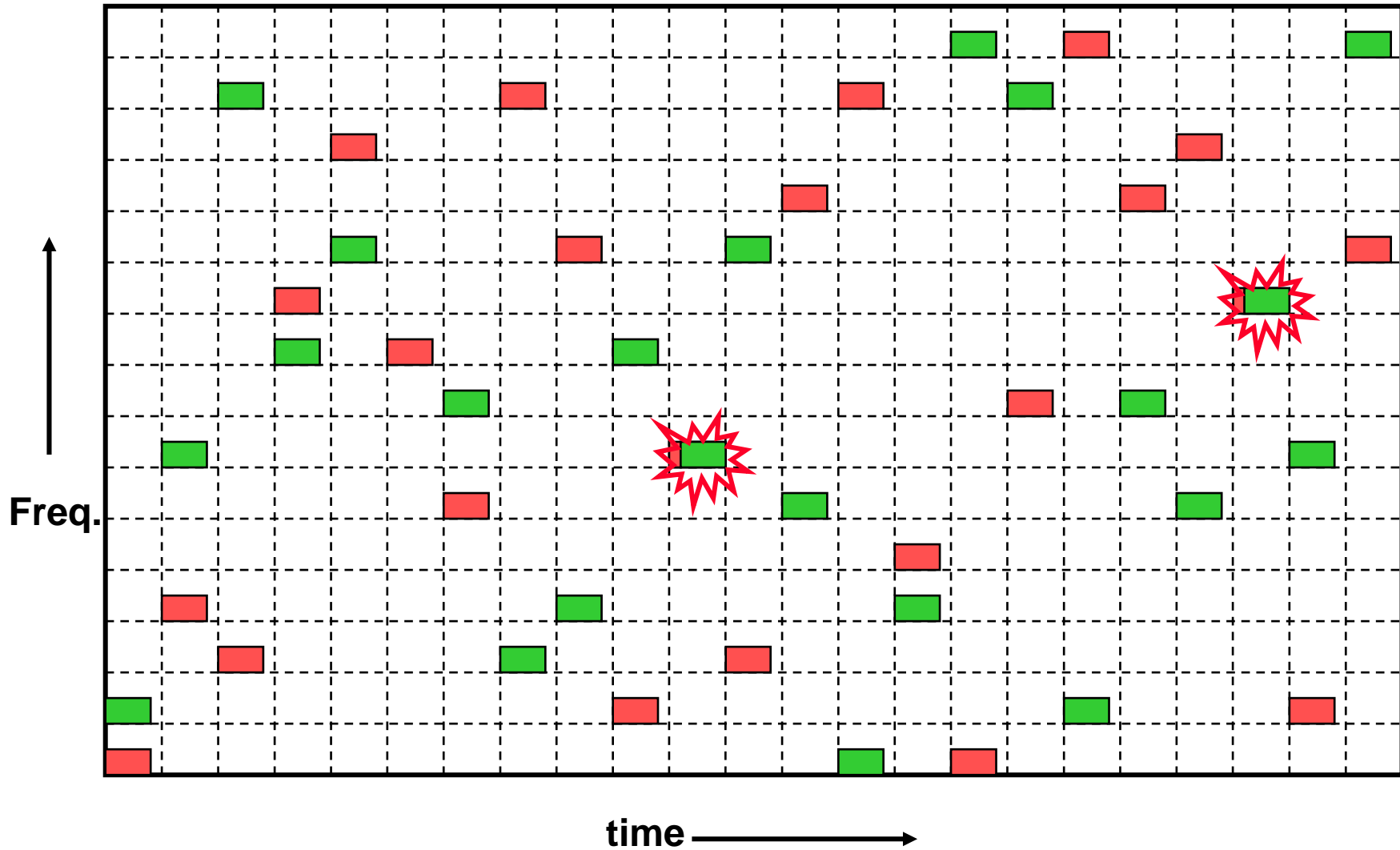
Quelle: Nokia

# Bluetooth – Link Access Example



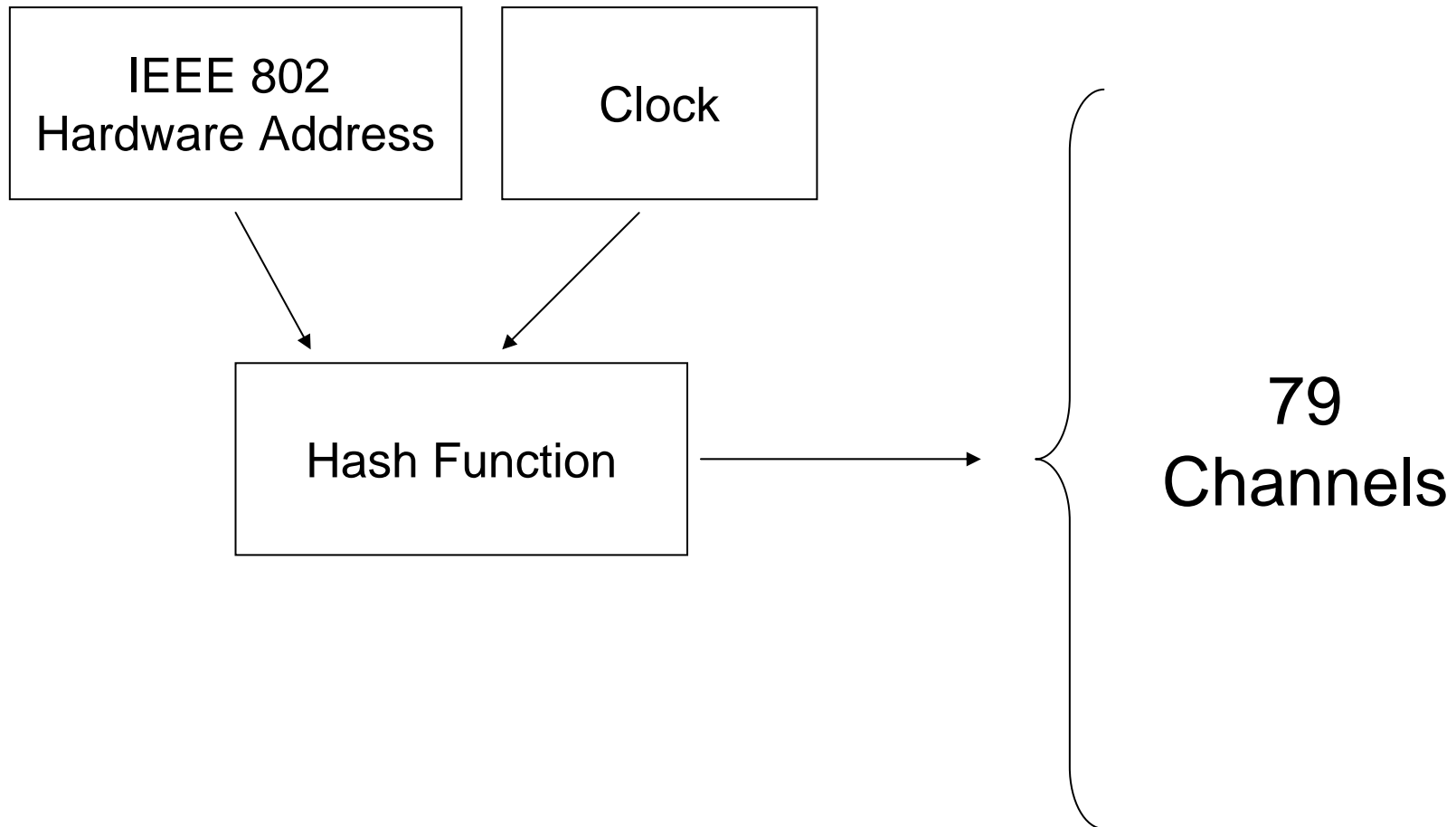
Quelle: Nokia

# Bluetooth – Spectrum Usage Example



Quelle: Nokia

# Bluetooth Hopping Sequence







---

# *IEEE 802.11 – Wireless LAN*



# 802.11 - MAC-Schicht (1)

## Verkehrsarten

- Asynchroner Datendienst (standard)
  - Datenaustausch auf „best-effort“-Basis
  - Unterstützung von Broadcast und Multicast
- Zeitbegrenzte Dienste (optional)
  - implementiert über PCF (Point Coordination Function)

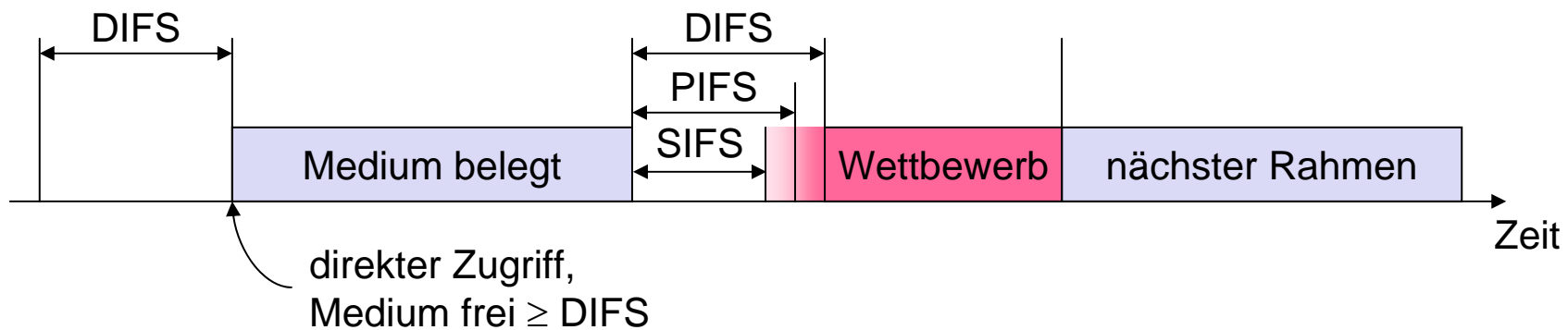
## Medienzugriff

- **Distributed Foundation Wireless MAC**
  - DFWMAC-DCF CSMA/CA (standard)
    - Kollisionsvermeidung durch zufälligen „backoff“-Mechanismus
    - Mindestabstand zwischen aufeinanderfolgenden Paketen
    - Empfangsbestätigung durch ACK (nicht bei Broadcast)
  - DFWMAC-DCF mit RTS/CTS (optional)
    - Distributed Foundation Wireless MAC
    - Vermeidung des Problems „versteckter“ Endgeräte (Hidden Terminal Problem)
  - DFWMAC-PCF (optional)
    - Polling-Verfahren mit einer Liste im Access Point

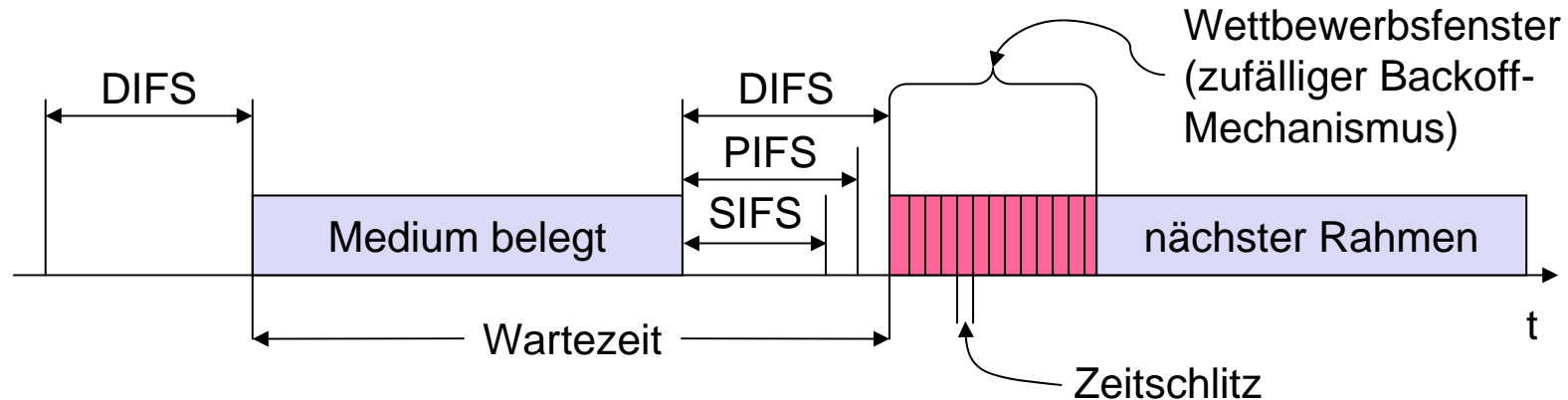
## 802.11 - MAC-Schicht (2)

### Prioritäten

- werden durch Staffelung der Zugriffszeitpunkte geregelt
- keine garantierten Prioritäten
- SIFS (Short Inter Frame Spacing)
  - höchste Priorität, für ACK, CTS, Antwort auf Polling
- PIFS (PCF IFS)
  - mittlere Priorität, für zeitbegrenzte Dienste mittels PCF
- DIFS (DCF IFS)
  - niedrigste Priorität, für asynchrone Datendienste



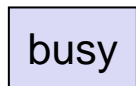
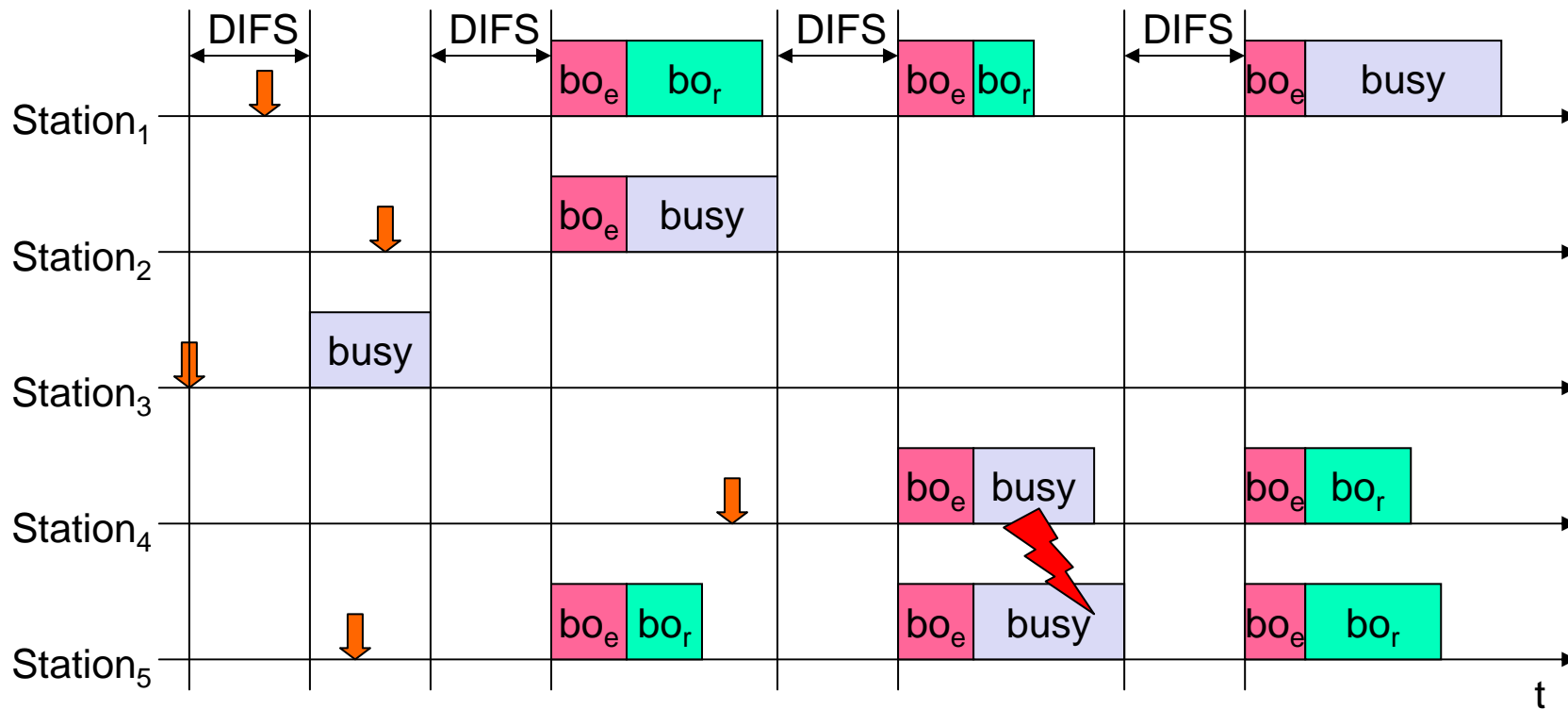
# 802.11 - CSMA/CA-Verfahren (1)



## CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance

- Sendewillige Station hört das Medium ab
- Ist das Medium für die Dauer eines Inter-Frame Space (IFS) frei, wird gesendet (IFS je nach Sendertyp gewählt)
- Ist das Medium belegt, wird auf einen freien IFS gewartet und dann zusätzlich um eine zufällige Backoff-Zeit verzögert (Kollisionsvermeidung, in Vielfachen einer Slot-Zeit)
- Wird das Medium während der Backoff-Zeit von einer anderen Station belegt, bleibt der Backoff-Timer so lange stehen

# 802.11 - Stationen im Wettbewerb



Medium belegt (frame, ack etc.)



verstrichene backoff Zeit



Paketankunft am MAC-SAP  
(Service Access Point)

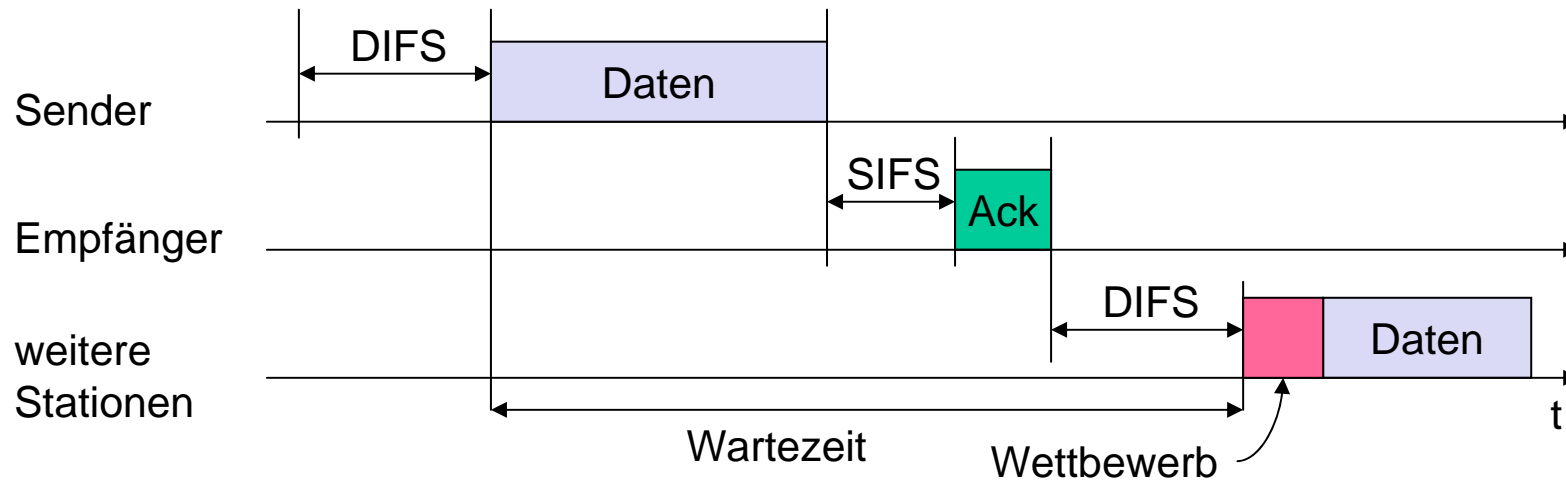


verbleibende backoff Zeit

# 802.11 - CSMA/CA-Verfahren (2)

## Senden von Unicast-Paketen

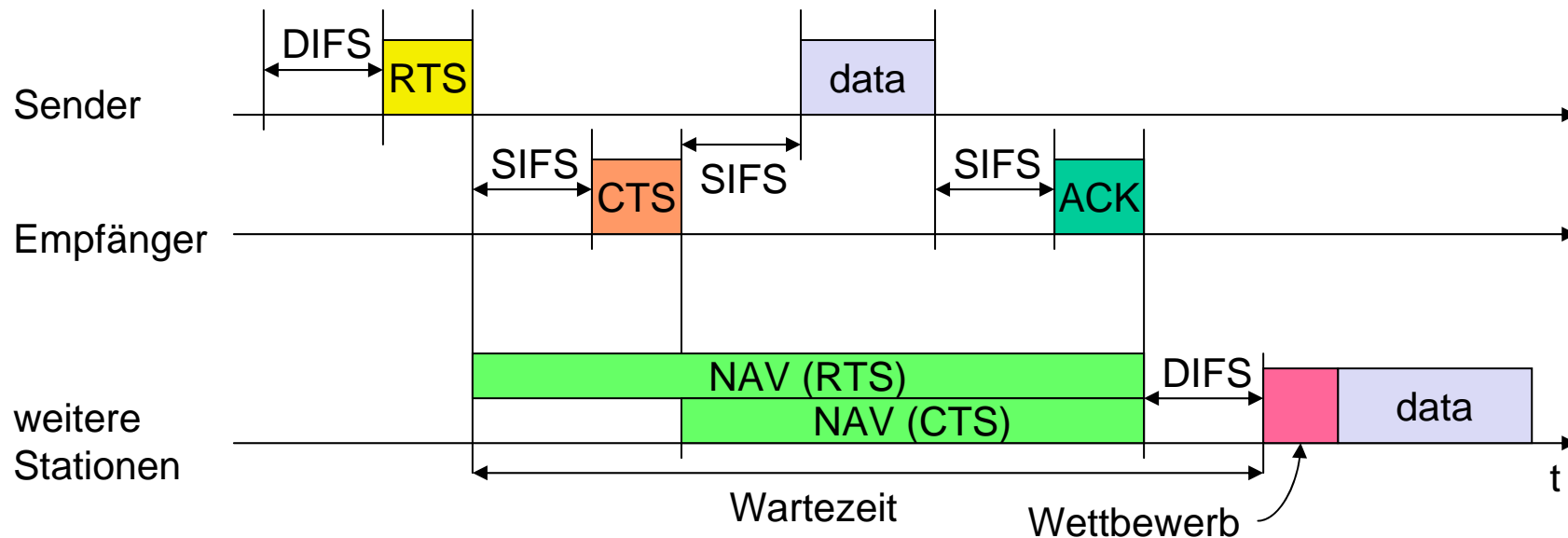
- Daten können nach Abwarten von DIFS gesendet werden
- Empfänger antworten sofort (nach SIFS), falls das Paket korrekt empfangen wurde (CRC)
- Im Fehlerfall wird das Paket automatisch wiederholt (neuer Wert für Backoff)



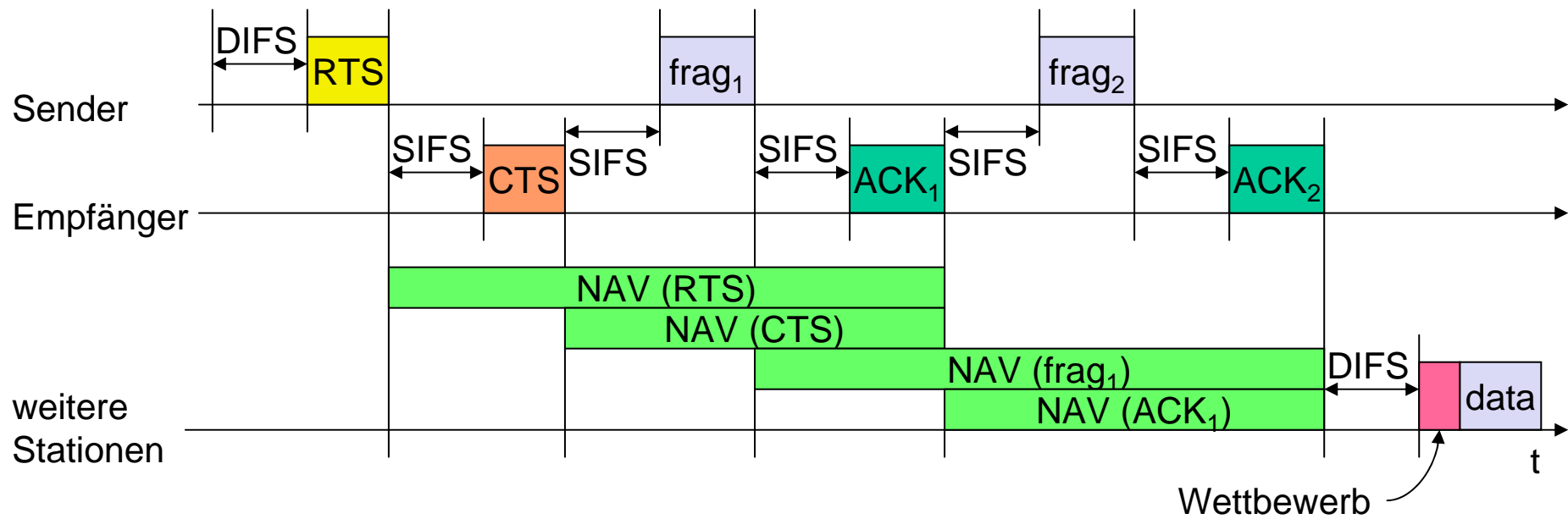
# DFWMAC mit RTS/CTS-Erweiterung

## Senden von Unicast-Paketen

- RTS mit Belegungsdauer als Parameter kann nach Abwarten von DIFS gesendet werden
- Bestätigung durch CTS nach SIFS durch Empfänger
- Sofortiges Senden der Daten möglich, Bestätigung wie gehabt
- Andere Stationen speichern die im RTS und CTS gesendete Belegungsdauer im Net Allocation Vector (NAV) ab → Virtuelle Reservierungen

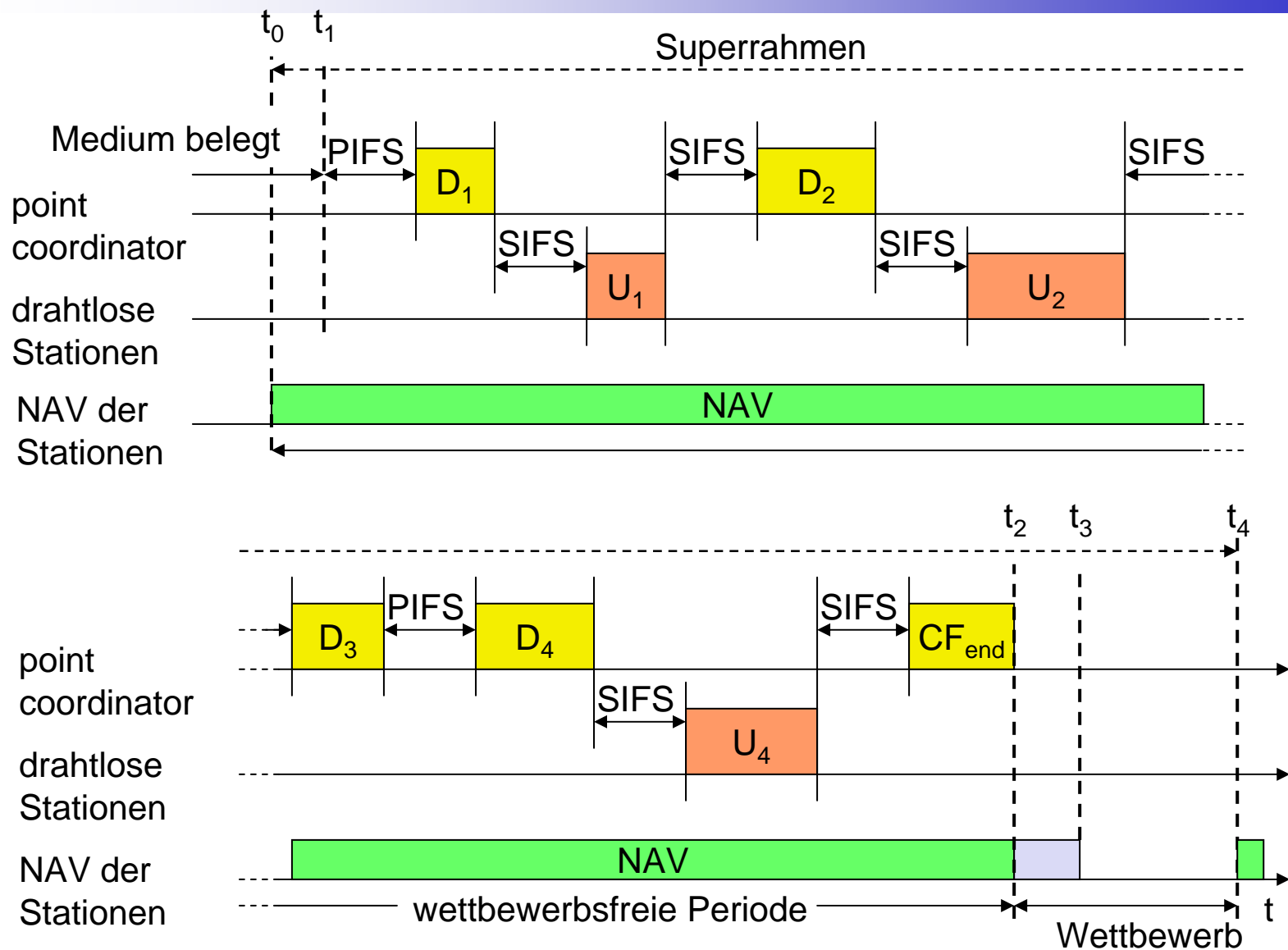


# Fragmentierung



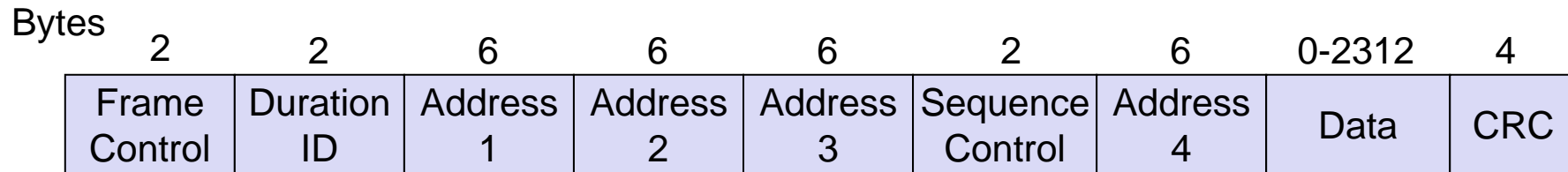


# DFWMAC-PCF



# 802.11 - Rahmenformat

- Typen
  - Steuerrahmen, Management-Rahmen, Datenrahmen
- Sequenznummern
  - wichtig für duplizierte Rahmen aufgrund verlorengangener ACKs
- Adressen
  - Empfänger, Transmitter (physikalisch), BSS Identifier, Sender (logisch)
- Sonstiges
  - Sendedauer, Prüfsumme, Rahmensteuerung, Daten




 Version, Typ, Fragmentierung, Sicherheit, ...

# MAC-Adressenformat

Paketart	to DS	from DS	Adresse 1	Adresse 2	Adresse 3	Adresse 4
Ad-hoc Netzwerk	0	0	DA	SA	BSSID	-
Infrastruktur Netzwerk, von AP	0	1	DA	BSSID	SA	-
Infrastruktur Netzwerk, zu AP	1	0	BSSID	SA	DA	-
Infrastruktur Netzwerk, im DS	1	1	RA	TA	DA	SA

DS: Distribution System

AP: Access Point

DA: Destination Address

SA: Source Address

BSSID: Basic Service Set Identifier

RA: Receiver Address

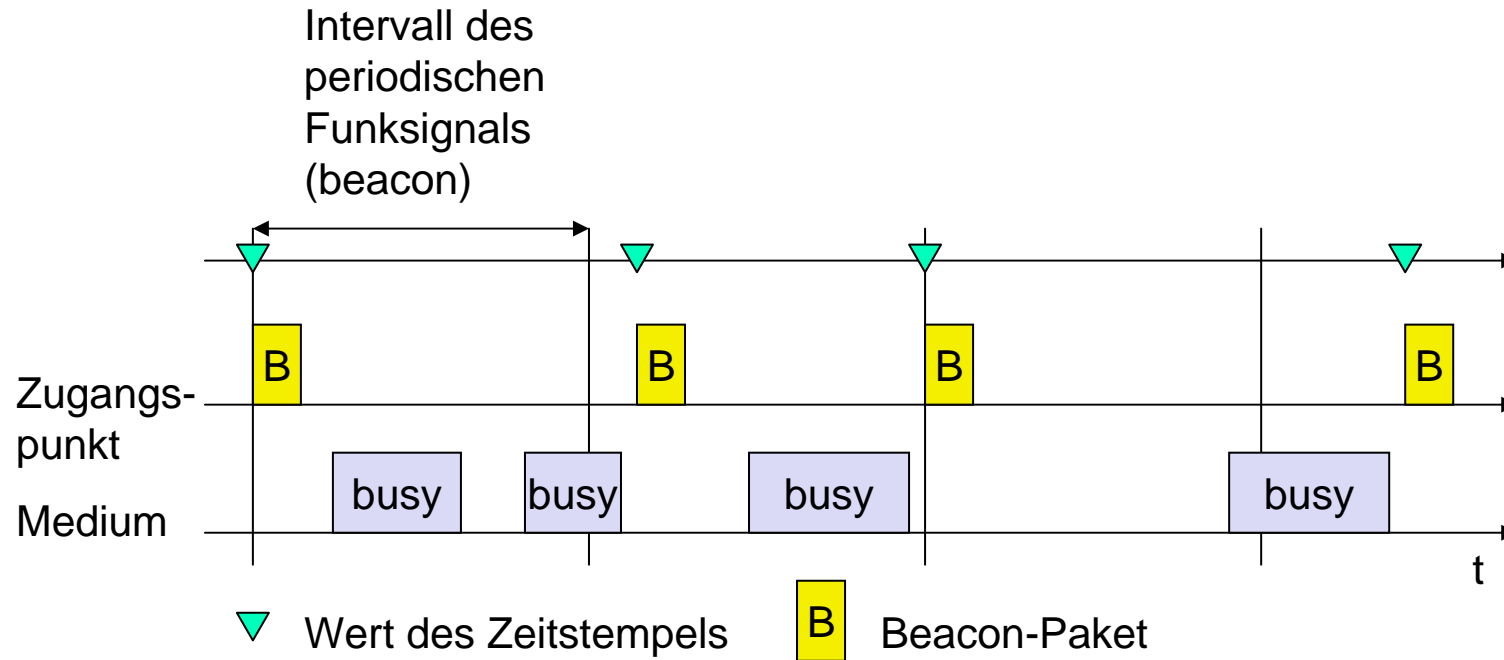
TA: Transmitter Address

# 802.11 - MAC Management

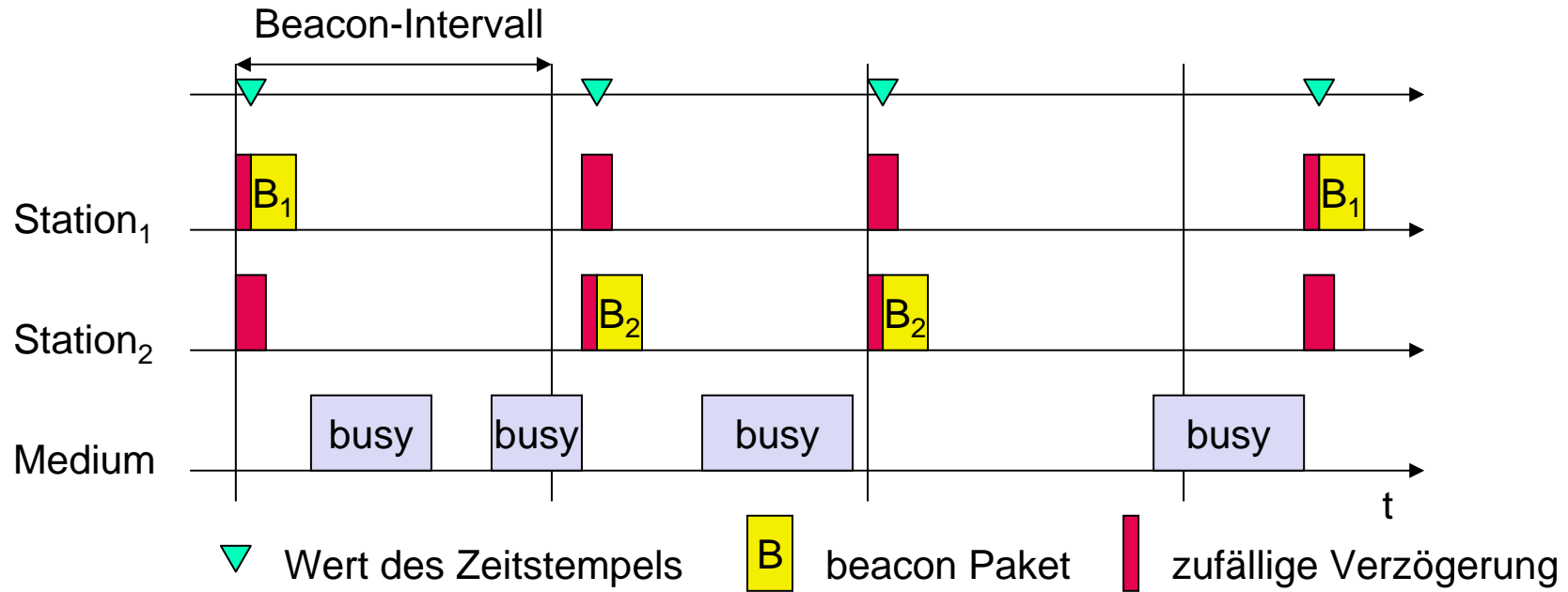
---

- Synchronisation
  - Finden eines LANs, versuchen im LAN zu bleiben
  - Timer etc.
- Power Management
  - Schlafmodus ohne eine Nachricht zu verpassen
  - periodisches Schlafen, Rahmenpufferung, Verkehrszustandsmessung
- Assoziation/Reassoziaton
  - Eingliederung in ein LAN
  - Roaming, d.h. Wechseln zwischen Netzen von einem Access Point zu einem anderen
  - Scanning, d.h. aktive Suche nach einem Netz
- MIB - Management Information Base
  - Verwalten, schreiben, lesen

# Synchronisation mit einem „Leuchtfener“



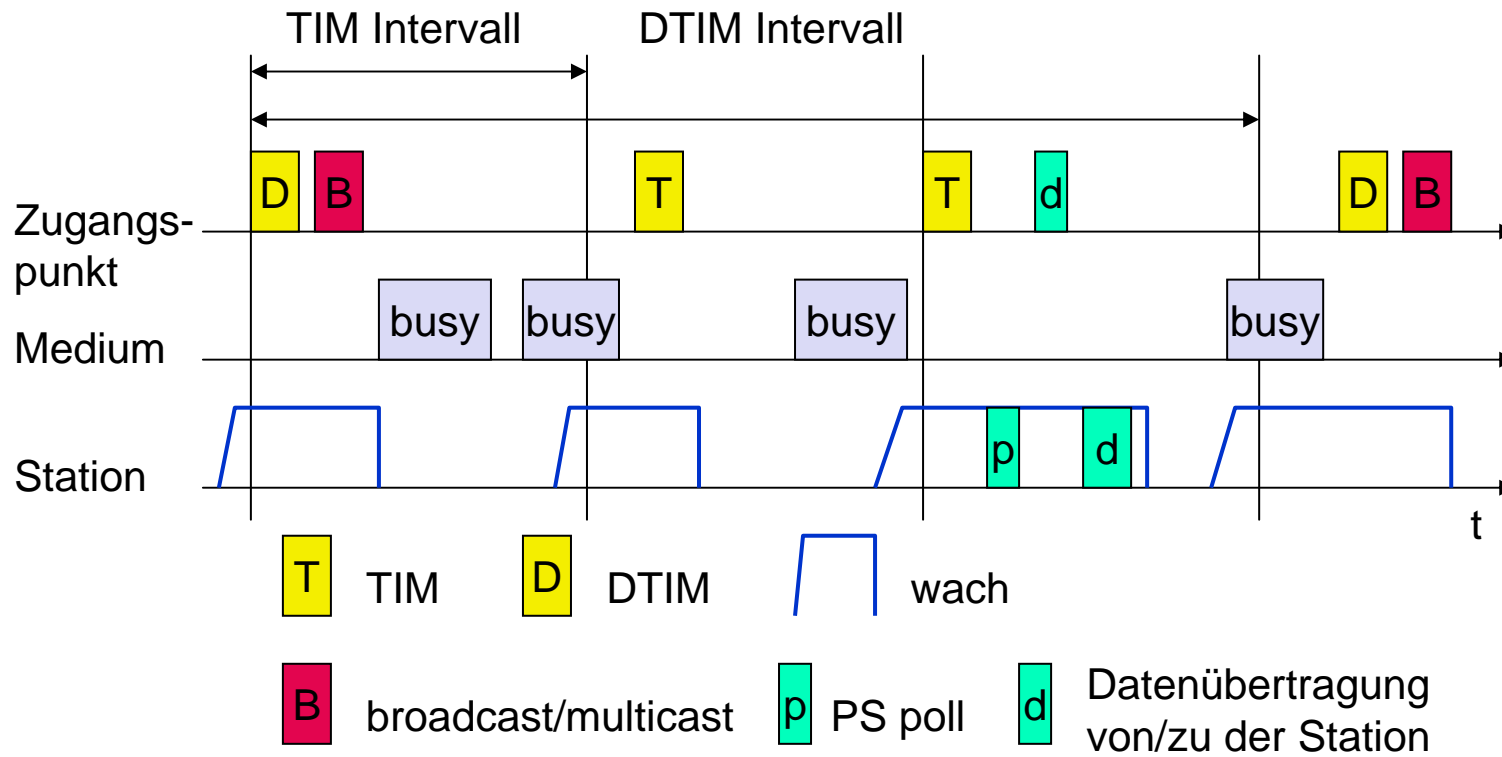
# Ad-Hoc Synchronisation mit „Leuchtfener“



# Steuerung der Leistungsaufnahme

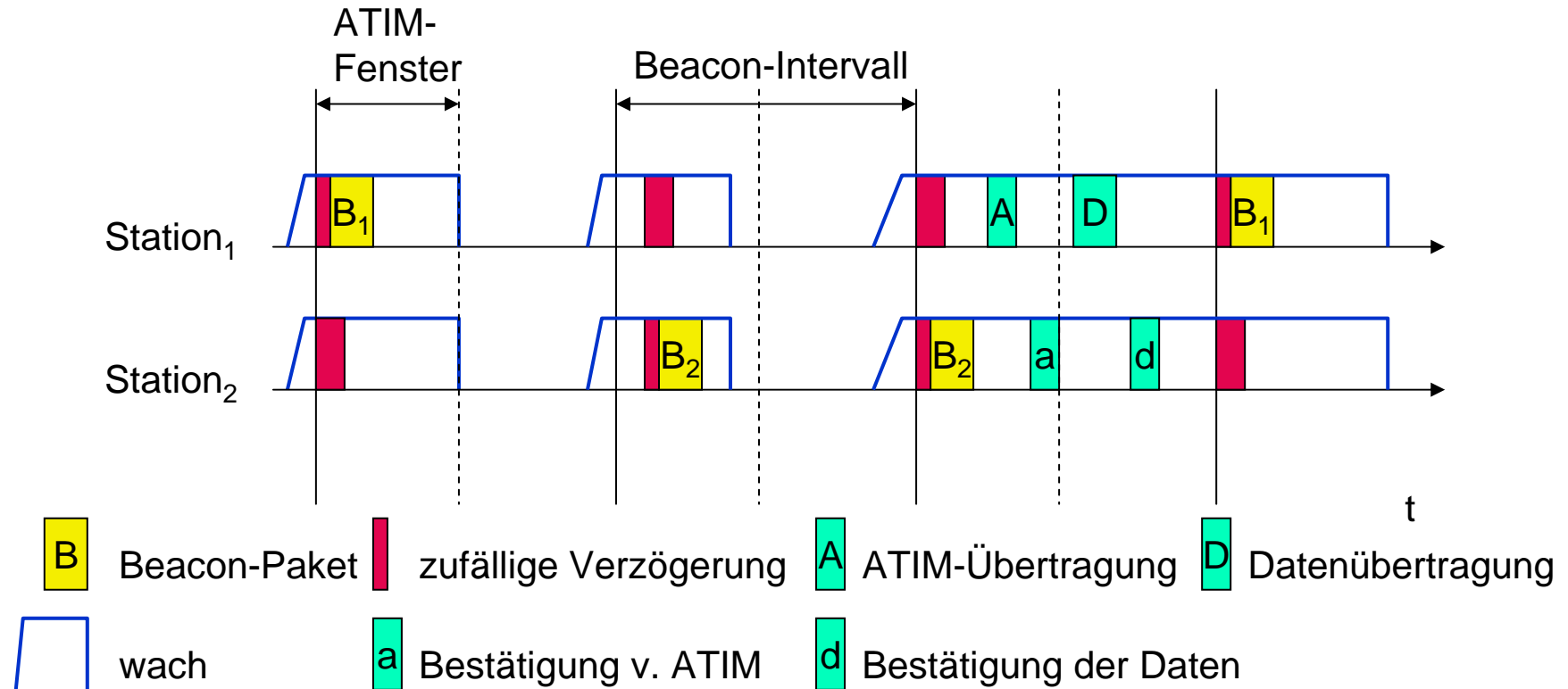
- Idee: Ausschalten der Sende/Empfangseinheit wenn nicht benötigt
- Zustände einer Station: schlafend und wach
- Timing Synchronization Function (TSF)
  - Sicherstellung, dass alle Stationen zur gleichen Zeit aufwachen
- Infrastruktur
  - Traffic Indication Map (TIM)
    - Liste von Unicast-Empfängern, von AP ausgesendet
  - Delivery Traffic Indication Map (DTIM)
    - Liste von broadcast/multicast-Empfängern, von AP ausgesendet
- Ad-hoc
  - Ad-hoc Traffic Indication Map (ATIM)
    - Bekanntmachung von Empfängern zwischengespeicherter Pakete durch die speichernden Stationen
    - komplexer, da kein zentraler AP
    - Kollisionen von ATIMs möglich (Skalierbarkeit?)

# Energiesparen mit Wachmustern (Infrastruktur)





# Energiesparen mit Wachmustern (ad-hoc)



---

# *IEEE 802.15.4 – ZigBee*

---

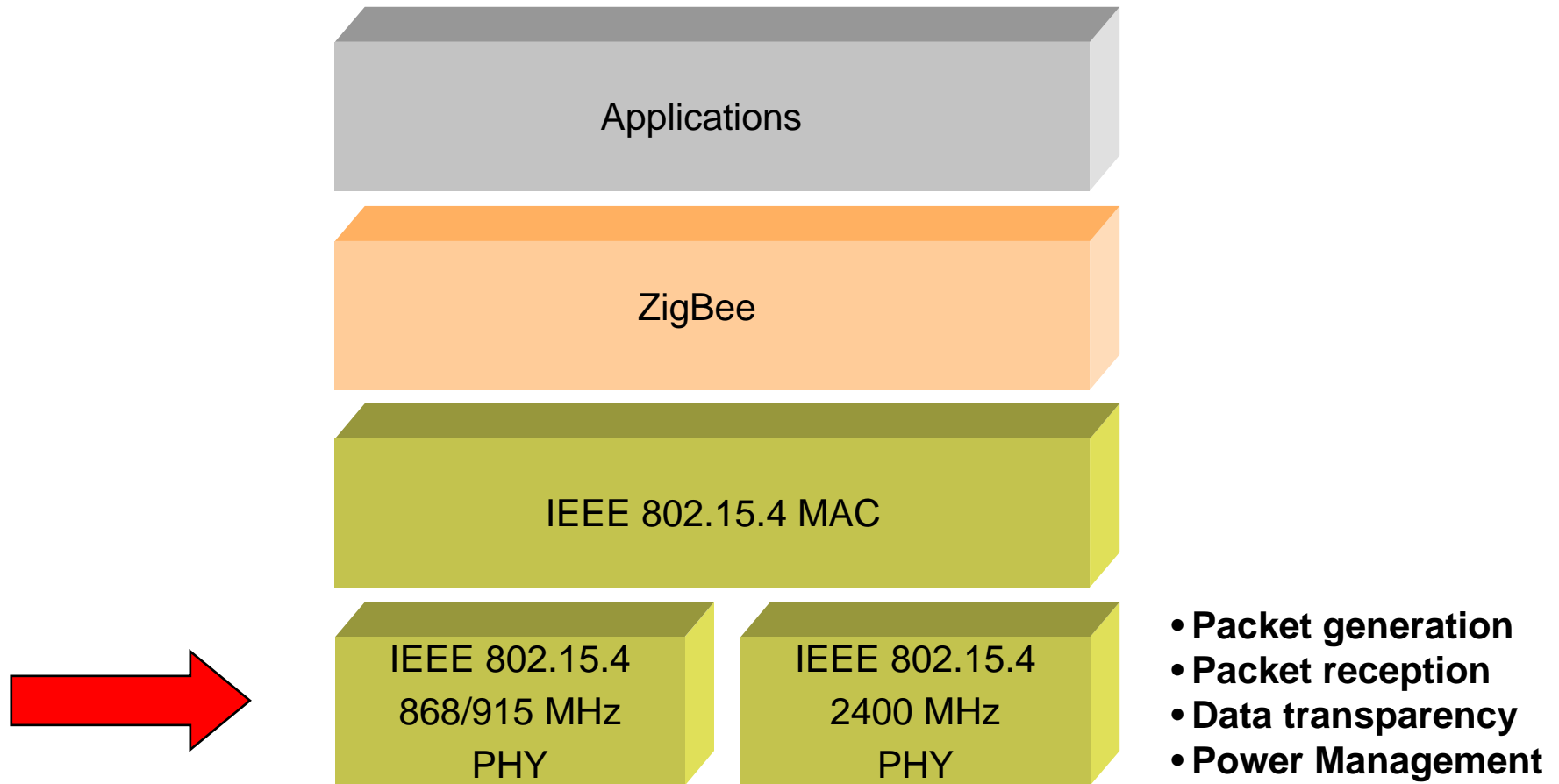
## 802.15.4 General Characteristics

---

- Data rates of 250 kb/s, 40 kb/s and 20 kb/s.
- Star or Peer-to-Peer operation.
- Support for low latency devices.
- Fully handshaked protocol for transfer reliability.
- Low power consumption.
- Frequency Bands of Operation
  - 16 channels in the 2.4GHz ISM\* band
  - 10 channels in the 915MHz ISM band
  - 1 channel in the European 868MHz band.

\* **ISM: Industrial, Scientific, Medical**

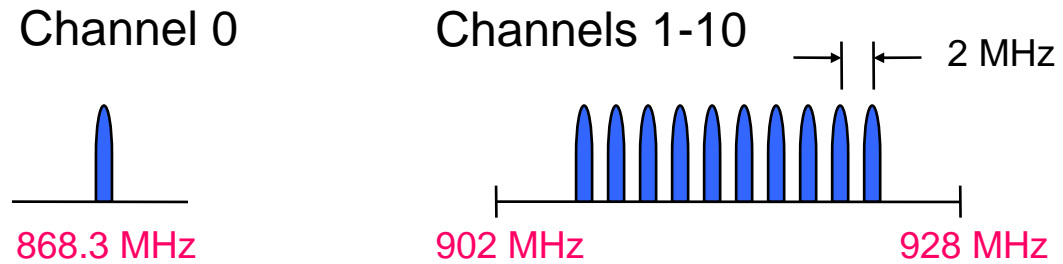
# 802.15.4 / ZigBee Architecture



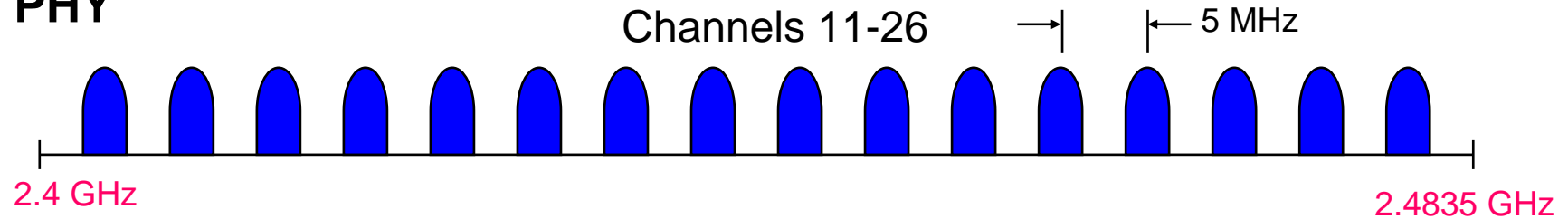
# IEEE 802.15.4 PHY Overview

## Operating Frequency Bands

### 868MHz / 915MHz PHY



### 2.4 GHz PHY

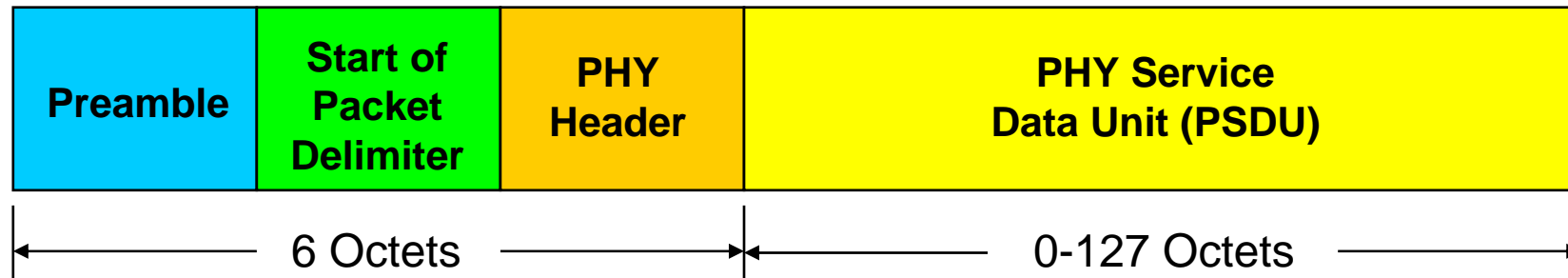


# IEEE 802.15.4 PHY Overview

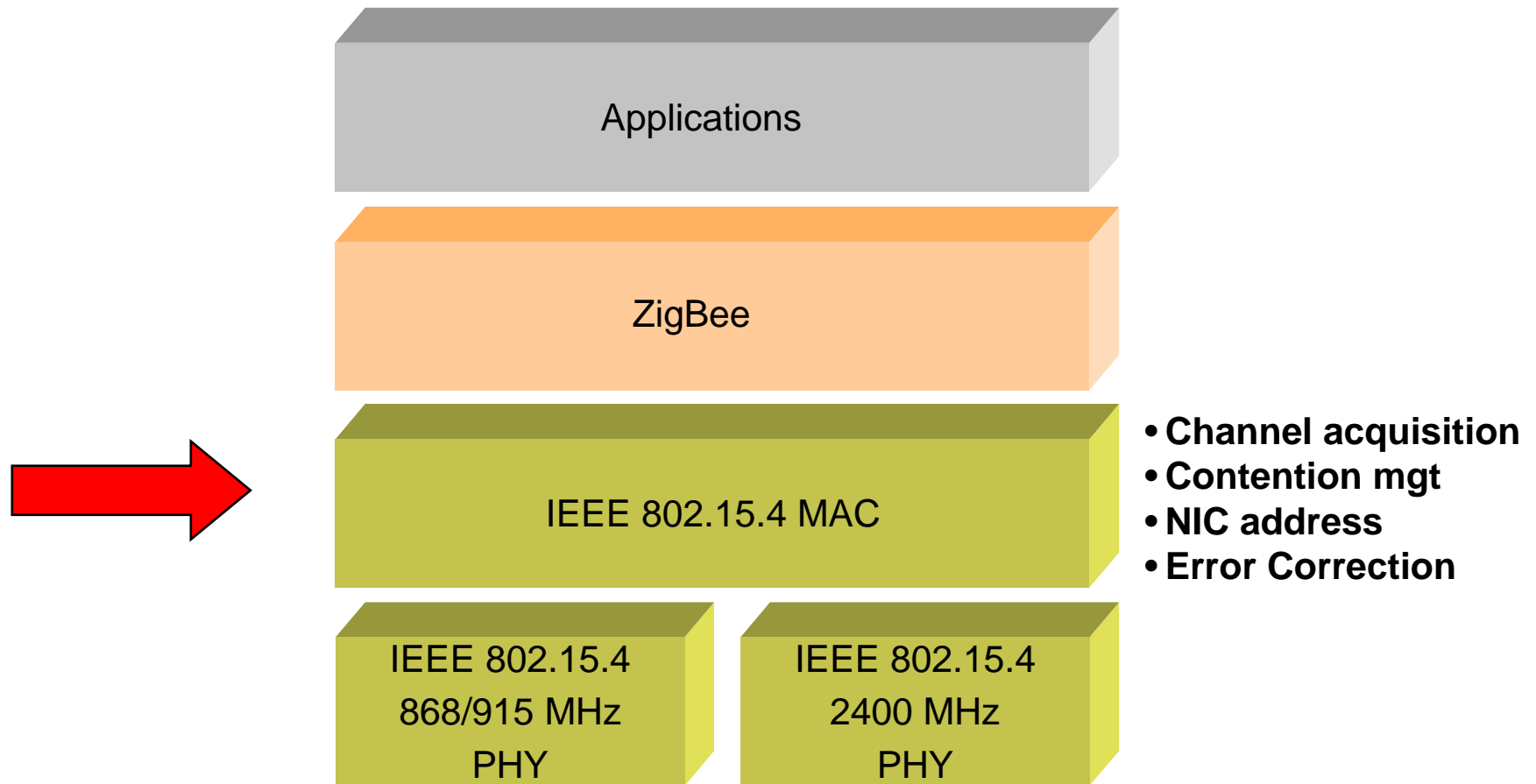
## Packet Structure

### PHY Packet Fields

- Preamble (32 bits) – synchronization
- Start of Packet Delimiter (8 bits)
- PHY Header (8 bits) – PSDU length
- PSDU (0 to 127 octets) – Data field



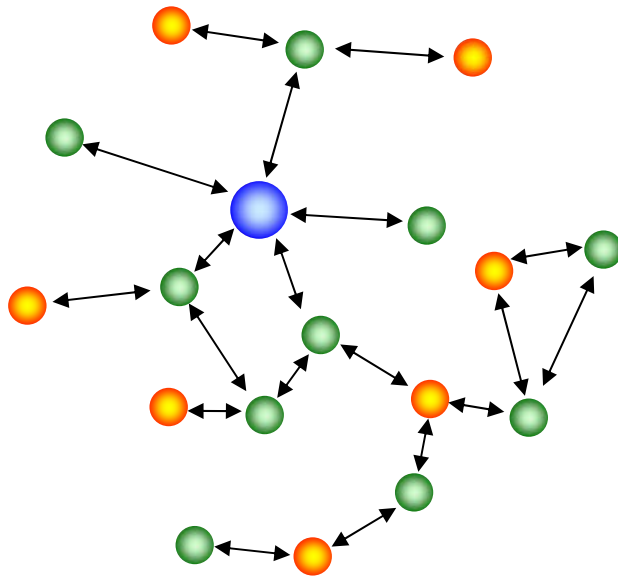
# 802.15.4 Architecture



# IEEE 802.15.4 MAC Overview

## Design Drivers

- Extremely low cost
- Ease of implementation
- Reliable data transfer
- Short range operation
- Very low power consumption
- **Simple but flexible protocol**



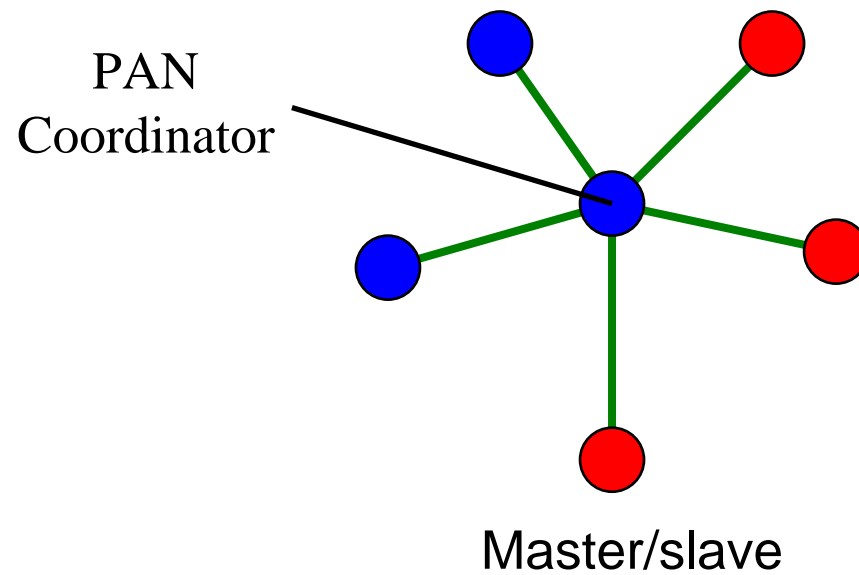
## Device Classes

- Full function device (**FFD**)
  - Any topology
  - Network coordinator capable
  - Talks to any other device
- Reduced function device (**RFD**)
  - Limited to star topology
  - Cannot become a network coordinator
  - Talks only to a network coordinator
  - Very simple implementation



# IEEE 802.15.4 MAC Overview

## Star Topology



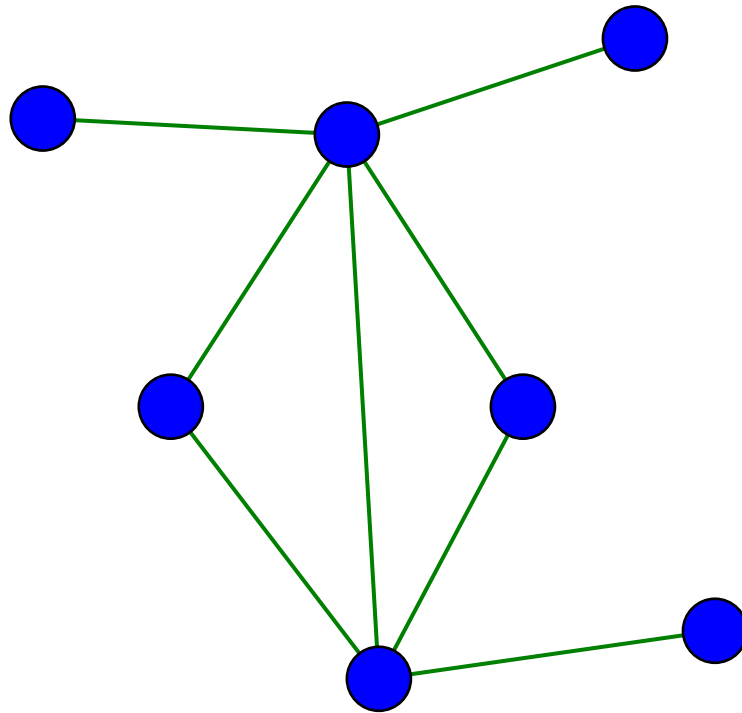
 Full function device

 Communications flow

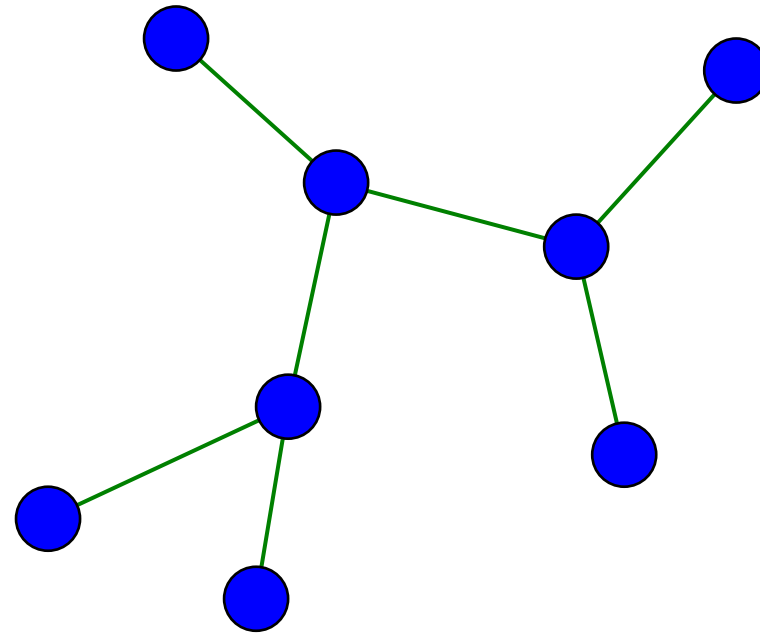
 Reduced function device

# IEEE 802.15.4 MAC Overview

## Peer-Peer Topology



Point to point



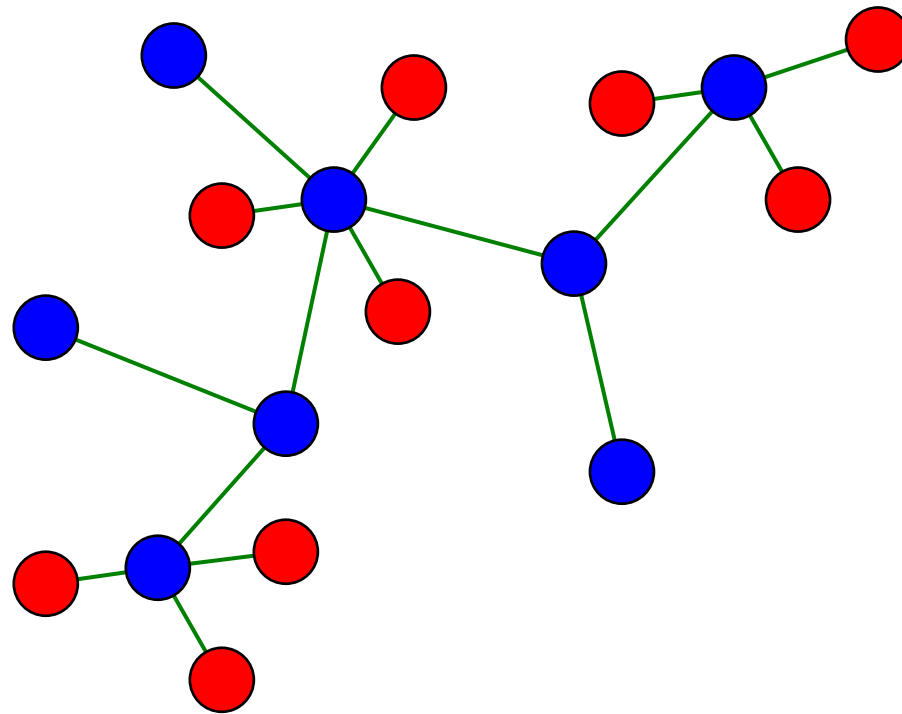
Cluster tree

 Full function device

 Communications flow

# IEEE 802.15.4 MAC Overview

## Combined Topology



*Clustered stars* - for example, cluster nodes exist between rooms of a hotel and each room has a star network for control.

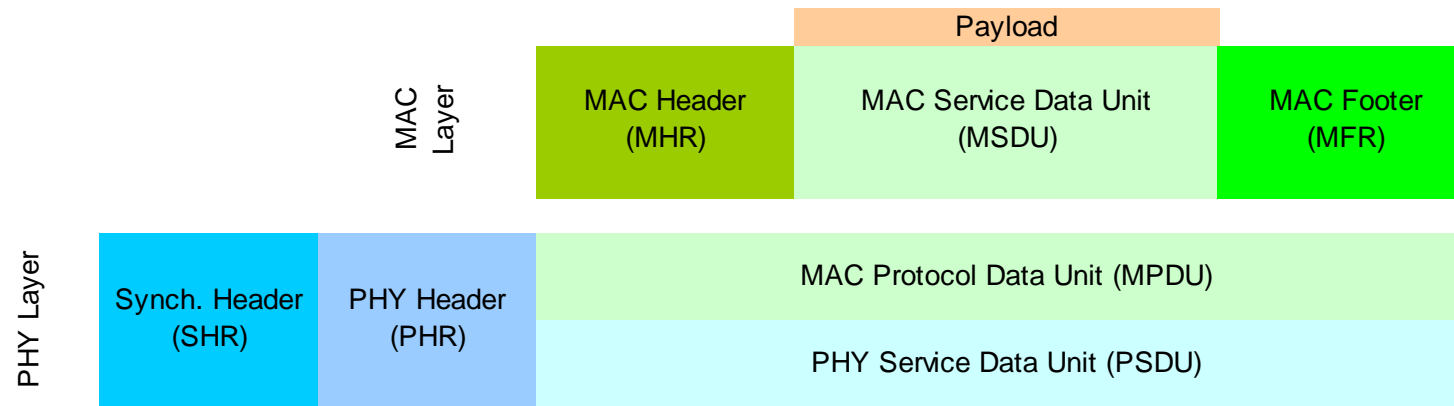
 Full function device

 Reduced function device

 Communications flow

# IEEE 802.15.4 MAC Overview

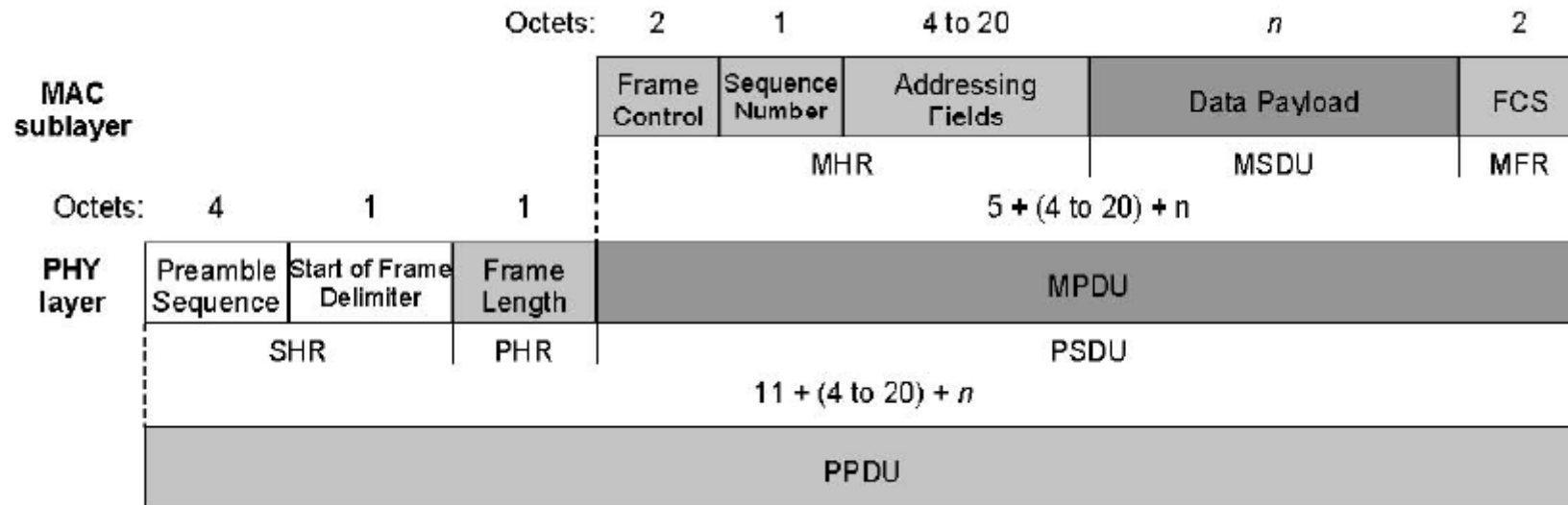
## General Frame Structure



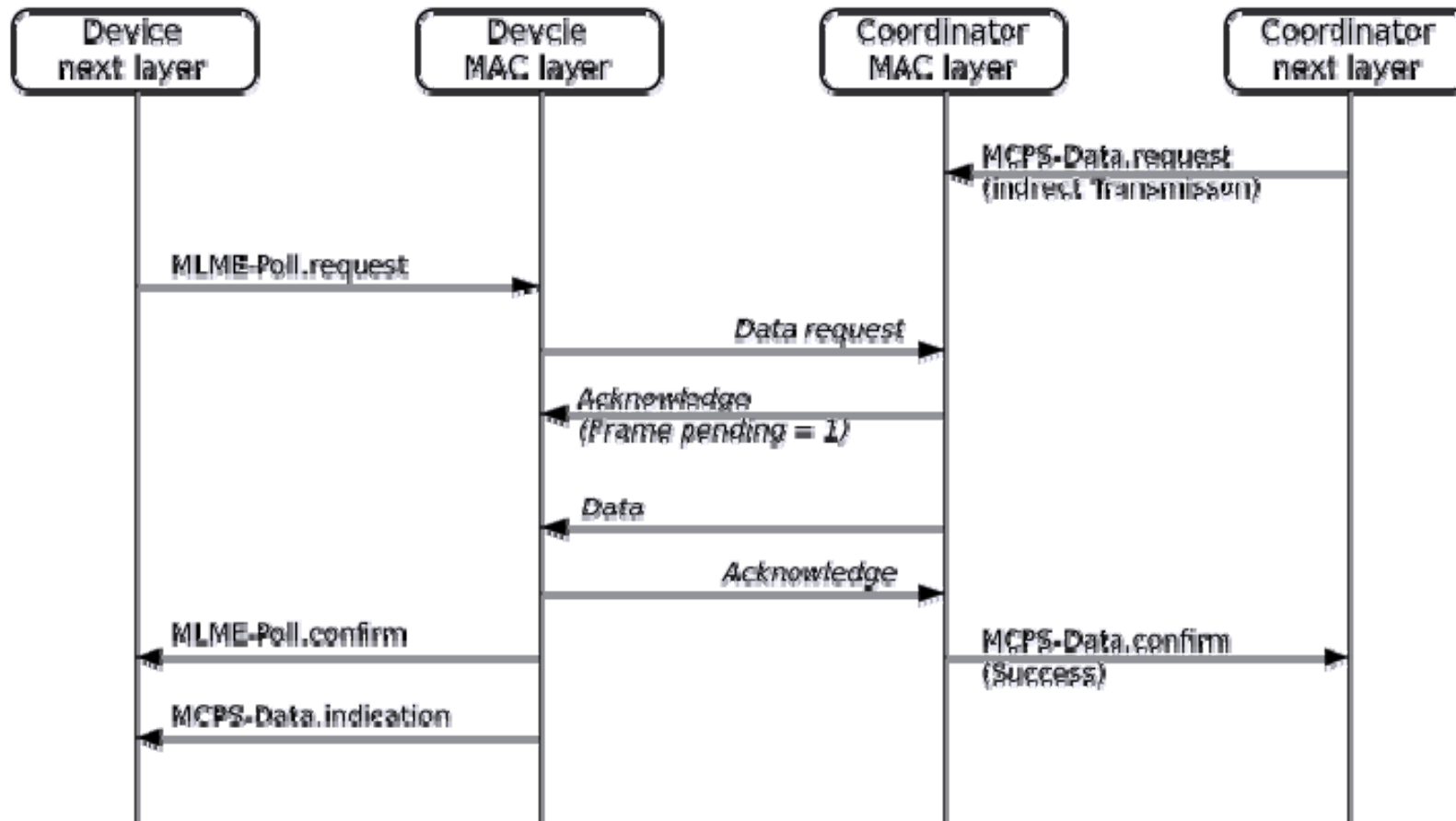
### 4 Types of MAC Frames:

- Data Frame
- Beacon Frame
- Acknowledgment Frame
- MAC Command Frame

# Frame and Super-Frame Structure

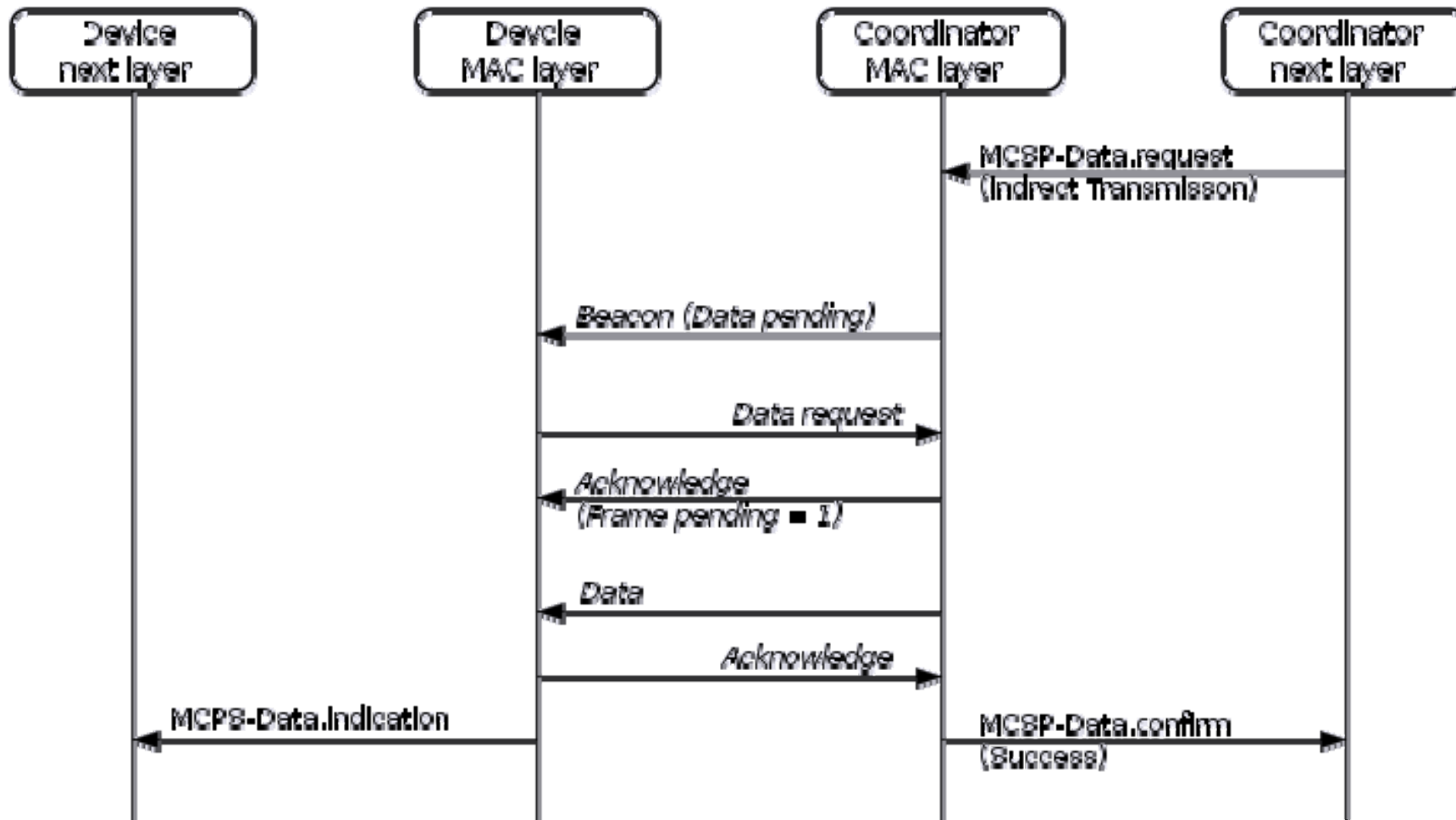


# 802.15.4 Unslotted Mode



Source: Wikipedia

# 802.15.4 Slotted Mode (beacon-enabled)

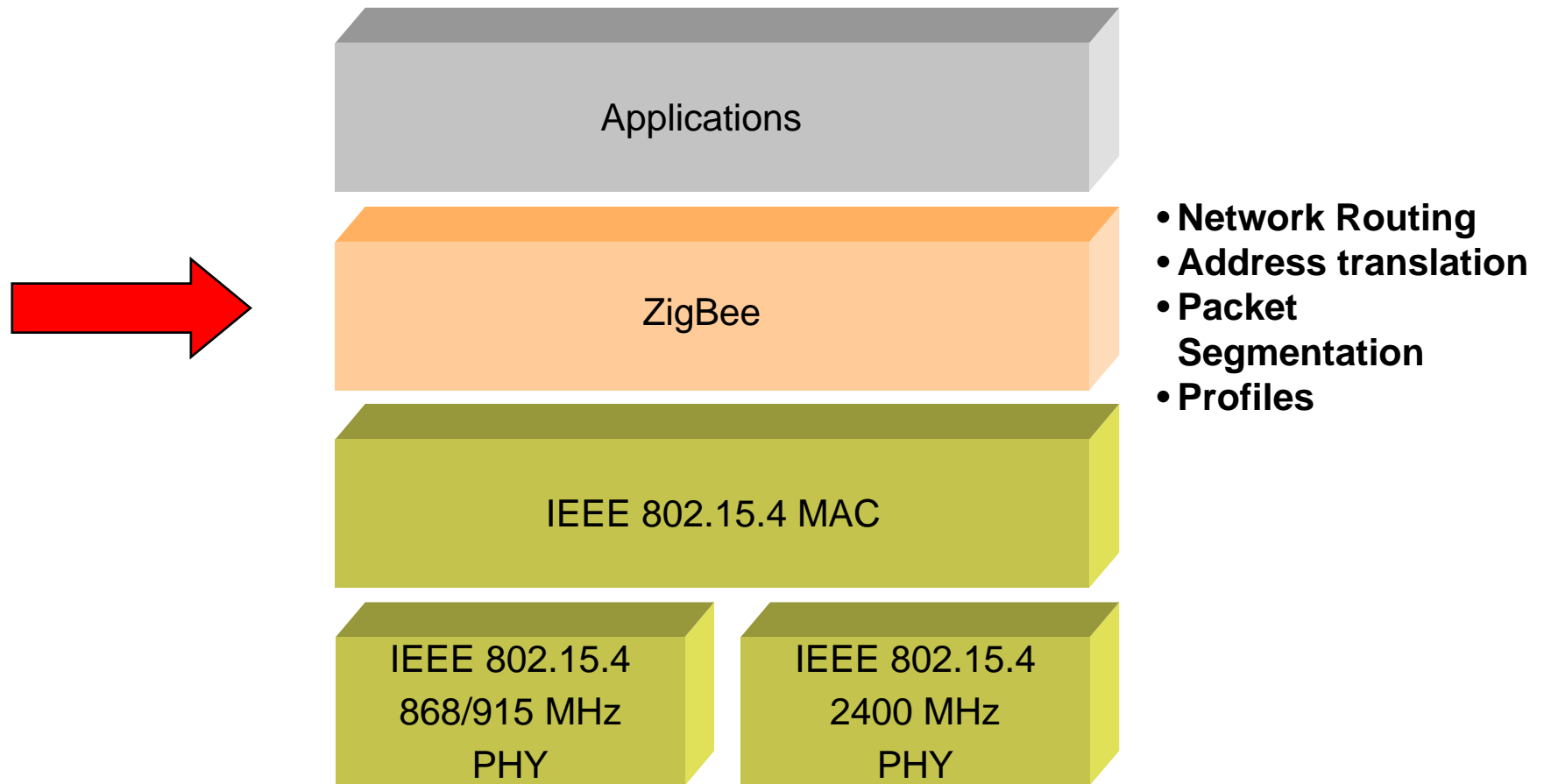


## Traffic Types

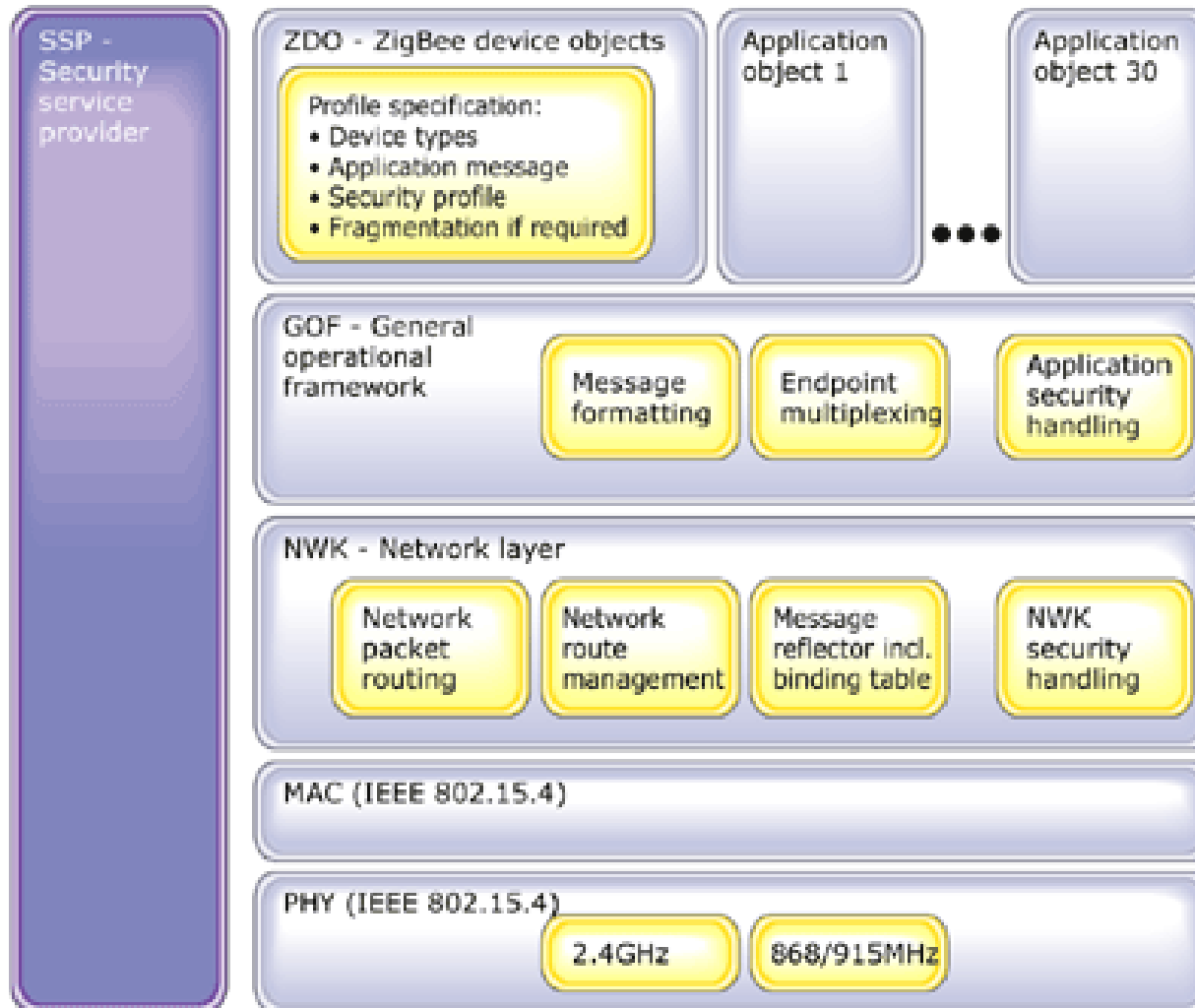
- Periodic data
  - Application defined rate (e.g. **sensors**)
- Intermittent data
  - Application/external stimulus defined rate (e.g. **light switch**)
- Repetitive low latency data
  - Allocation of time slots (e.g. **mouse**)



# 802.15.4 Architecture



# ZigBee Stack Architecture



# Wireless Technology Comparison Chart

Standard	Bandwidth	Power Consumption	Protocol Stack Size	Stronghold	Applications
Wi-Fi	Up to 54Mbps	400+mA TX, standby 20mA	100+KB	High data rate	Internet browsing, PC networking, file transfers
Bluetooth	1Mbps	40mA TX, standby 0.2mA	~100+KB	Interoperability, cable replacement	Wireless USB, handset, headset
ZigBee	250kbps	30mA TX, standby 356 $\mu$ A	34KB /14KB	Long battery life, low cost	Remote control, battery-operated products, sensors

---

# Questions?



Thomas Fuhrmann

Department of Informatics  
Self-Organizing Systems Group  
c/o I8 Network Architectures and Services  
Technical University Munich, Germany

[fuhrmann@net.in.tum.de](mailto:fuhrmann@net.in.tum.de)