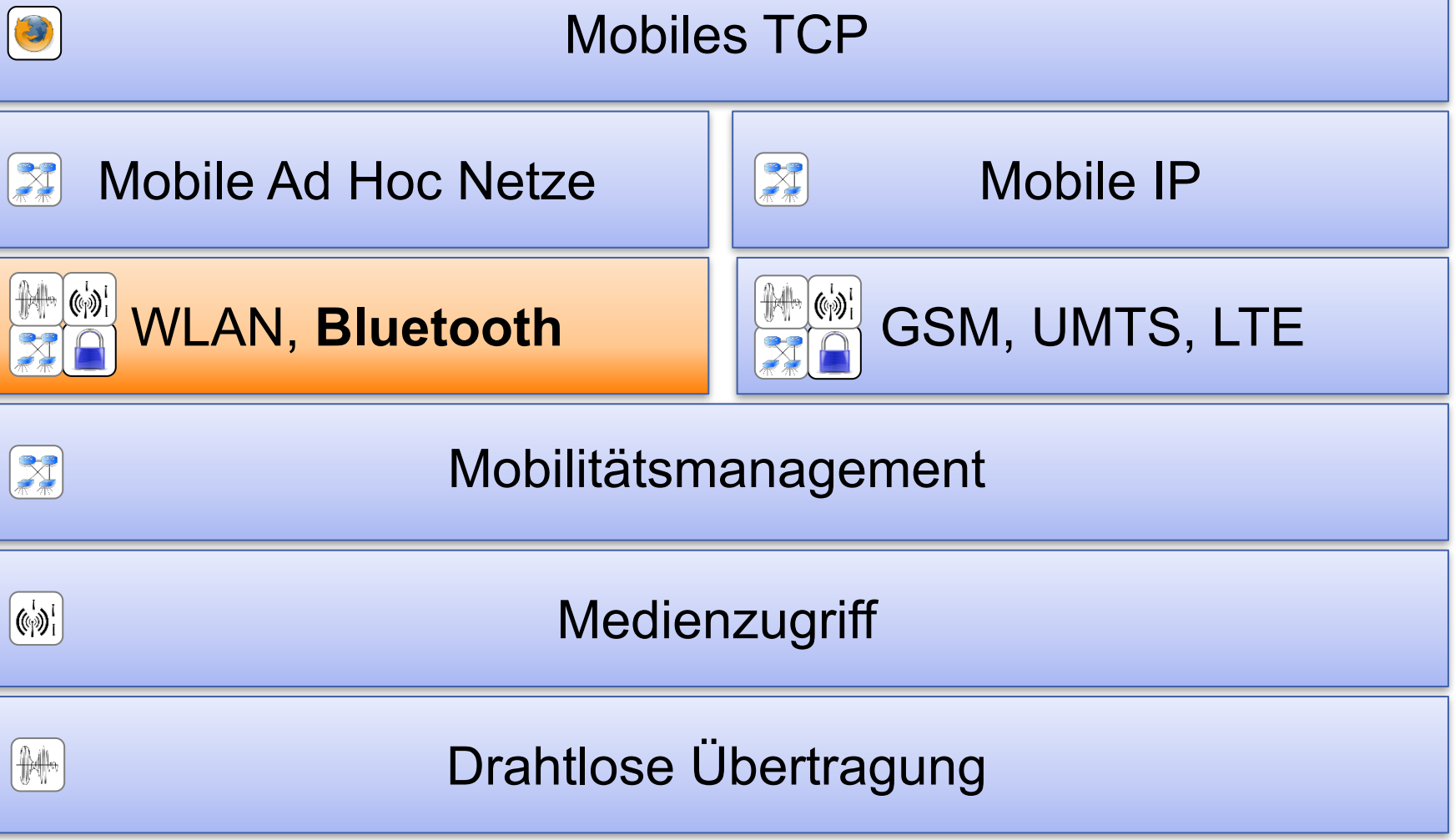
Karlsruher Institut für Technologie

Kapitel 6 – Bluetooth

Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2017/18
Prof. Dr. Oliver Waldhorst (HS Karlsruhe), Markus Jung

INSTITUT FÜR TELEMATIK

Gliederung

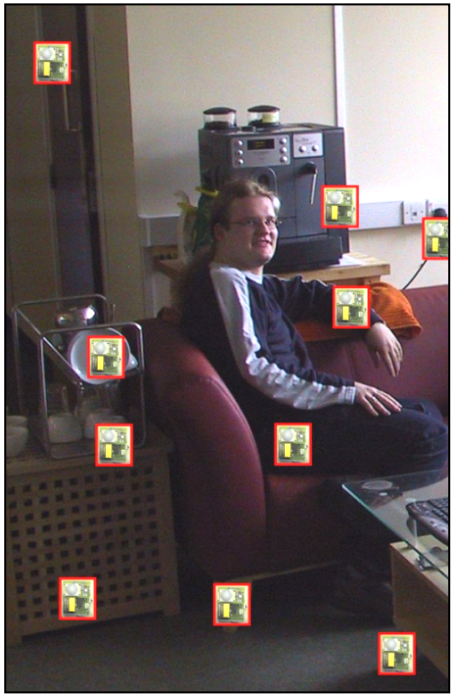

Mobiles TCP
Mobile Ad Hoc Netze
Mobile IP
WLAN, **Bluetooth**
GSM, UMTS, LTE
Mobilitätsmanagement
Medienzugriff
Drahtlose Übertragung

Motivation WPANs

- WPAN – Wireless Personal Area Network
  - Vernetzung von Geräten in einem relativ kleinen räumlichen Bereich um einen oder mehrere Menschen
- Beispiele

WPAN in Büroumgebung zur Vernetzung mehrerer fester und mobiler Geräte

WPAN in Heimumgebung zur Vernetzung verschiedener Geräte und Sensoren



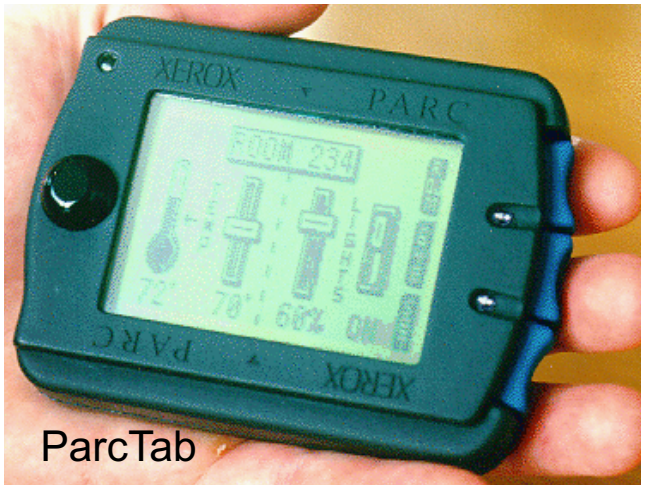
[6.7]

Charakteristika von WPANs

- Drahtlose Kommunikation
  - i.A. über Funk (oder Infrarot)
- Begrenzte Reichweite
  - Kommunizierende Geräte können meist keine große räumliche Distanz zueinander haben (i.d.R. bis zu wenigen 10 Metern)
- Begrenzte Batteriekapazität
  - Mechanismen zum Energiesparen kommt große Bedeutung zu
  - Geringe Sendeleistung und dadurch begrenzte Reichweite
- Automatische Konfiguration
  - Plug-and-Play
  - Ohne Systemadministrator und ohne manuelle Eingriffe
- Fehlende oder eingeschränkte Multipoint-zu-Multipoint-Fähigkeit
- Geräte haben evtl. reduzierte Fähigkeiten
- Kostengünstiges Hardwaredesign
  - Massenprodukte zu geringen Preisen

Verschiedene WPAN-Technologien

- …in ubiquitären Systemen
  - Häufig Entwicklung „eigener“ Technologien zur Vernetzung
    - Z.B. TeCO (Smart-Its), FU Berlin (ScatterWeb)
    - Laser, z.B. „Smart Dust“ (Berkeley)
- Standardisierte Technologien
  - RFIDs
  - Infrarot
    - Proprietär, ParcTab (Xerox PARC)
    - IRDA, z.B. iCricket (MIT)
  - Funk (IEEE Arbeitsgruppe 802.15)
    - Bluetooth
    - ZigBee



ParcTab

Bluetooth

- Vereinigung von Industriepartnern
  - 1998 schließen sich die Firmen Ericsson, Nokia, IBM, Intel und Toshiba zur Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) zusammen.
  - Ericsson verfolgte die Ideen bereits seit etwa 1994
- Ziel
  - Entwicklung eines kostengünstigen Standards für Funkübertragung über geringe Distanzen
  - Preis der Bluetooth-Chips sollte in Groß-Serien bei einigen Dollars liegen
    - Kostengünstige Massenproduktion

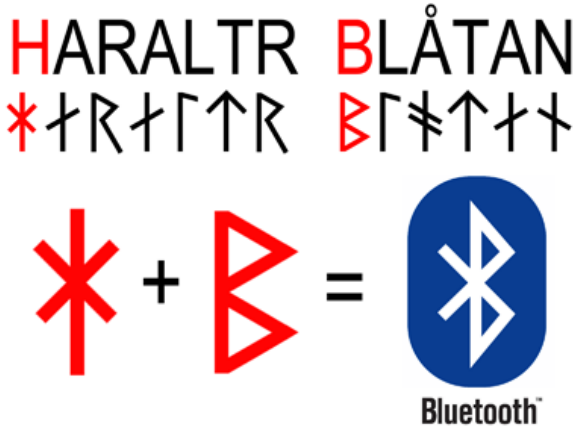
Verschiedene Bluetooth-Geräte

[6.3]

… zur Namensgebung

- Nach Harald dem I., Wikingerkönig von Dänemark, 911-970, genannt „Blauzahn“
  - Gerüchten zu folge litt er an einer chronischen Krankheit, die seine Zähne blau färbte …
  - Christianisierte Dänemark
  - Vereinte das Volk Dänemark

HARALTR BLÅTAN



- Bluetooth vereinigt Kommunikation verschiedener Kleingeräte
  - Mobiltelefone, PDAs, Sensoren etc.
- Bluetooth-Logo
  - Enthält die Runen „H“ und „B“

[6.11]

Anwendungsbeispiele

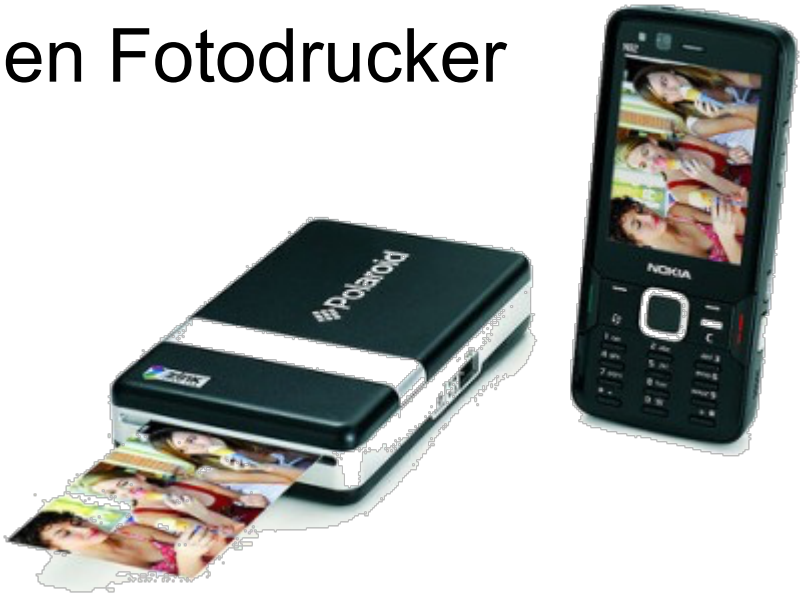
- Austausch von Visitenkarten
  - PDA versendet Visitenkarten an PDAs der Geschäftspartner
- Anforderungen
  - Drahtlose Übertragung
  - Keine Vorkonfiguration, einfach Bedienbarkeit
  - Geringe Bandbreite
  - Geringe Reichweite
  - Energiesparend, da Batteriebetrieb

Anwendungsbeispiele

- Drahtlose Kopfhörer
  - Kommunikation zwischen Handy und Kopfhörer
- Anforderungen
  - Robuste Kommunikation
  - Gute (Audio-)Qualität
  - Abhörsicherheit, Authentifizierung und Verschlüsselung
  - Geringe Reichweite
  - Energiesparend

Anwendungsbeispiele

- Übertragung von Fotos an den Fotodrucker
  - Kommunikation zwischen Handy oder Kompaktkamera und Fotodrucker



- Anforderungen
  - Drahtlose Übertragung
  - Fehlerfreie Übertragung
  - Automatische Konfiguration
  - Authentifikation, Zugriffsschutz
  - Geringe Reichweite
  - Energiesparend

Anwendungsbeispiele

- Viele andere Szenarien
  - u.a. zur Kommunikation zwischen PCs, PDAs über „Profile“ mit …
  - Bluetooth heute in Vielzahl von Geräten standardmäßig integriert

Handy, „Headset“

Drucker

HiFi

GPS-Empfänger

Gamepad

Tastatur,
Maus

Anforderungen an Bluetooth

- Anwendungsbeispiele führen direkt zu einigen wichtigen Anforderungen, die von Bluetooth erfüllt werden sollten.
  - Automatische Konfiguration
    - Auffinden von Geräten in Kommunikationsreichweite
    - Konfiguration von Bluetooth-Netzen
    - Auffinden von Diensten, welche die Geräte anbieten
  - Unterstützung unterschiedlicher Anwendungsanforderungen hinsichtlich Dienstgüte und Zuverlässigkeit
    - Garantierte Dienstqualität für Sprachkommunikation zwischen zwei Geräten
    - Einstellung von Dienstgüteparametern
  - Sicherheit der drahtlosen Kommunikation
    - Dienste zur Authentifizierung und Verschlüsselung

Übertragung/Netzarchitektur

- Verwendung des lizenzfreien ISM-Bands (2,4 GHz)
  - Aufteilung in 79 Kanäle (bis 2001 nur 23 in Frankreich, Spanien und Japan)
  - Teilt sich Medium mit u.A. WLAN oder Mikrowellen
    - Frequenzsprungverfahren zum Frequenzspreizen → sehr robust
- Datenrate (Bluetooth 1.1)
  - max. 1 Mbit/s brutto (723 kBit/s netto)
- Drei unterschiedliche Klassen
  - Klasse 1: 100 mW (Entfernungen bis 100 m)
  - Klasse 2: 2,5 mW (Entfernungen bis 10 m)
  - Klasse 3: 1 mW (Entfernungen bis 10 cm)

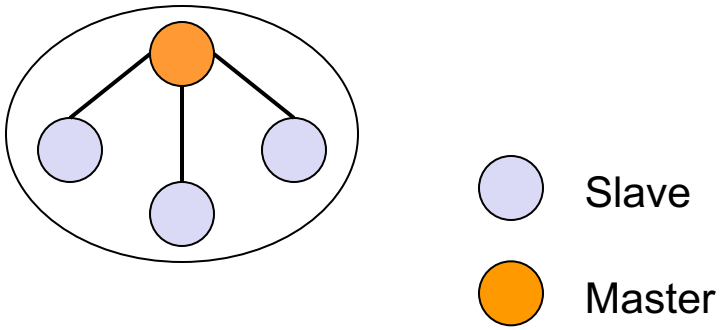
- Zusammenfassung

Eigenschaft	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Reichweite	100 m	10 m	10 cm
Ausgangsleistung	100mW	2,5 mW	1 mW
Frequenzen	2400-2483,5 MHz (ISM-Band)		
Datenraten	Brutto max. 1 Mbits/s, netto max. 723 kbit/s		

Netzarchitektur - Pikonetz

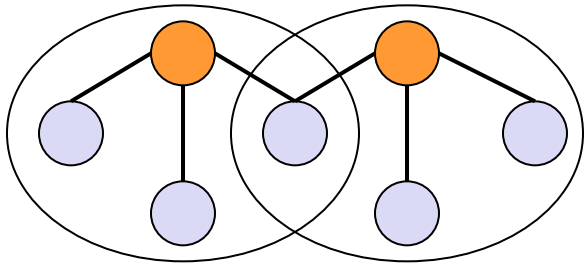
- Grundform: Pikonetz
  - 1 Master
    - verteilt Senderecht an die Slaves
  - 1 bis 7 Slaves
    - können nur über den Master miteinander kommunizieren
    - keine direkte Kommunikation zwischen Slaves möglich
  - Jedes Gerät im Pikonetz ist entweder Master oder Slave
    - Gerät, das ein Pikonetz aufbaut wird zunächst automatisch zum Master
    - Master kann während des Betriebs wechseln

Skizze eines Pikonetzes

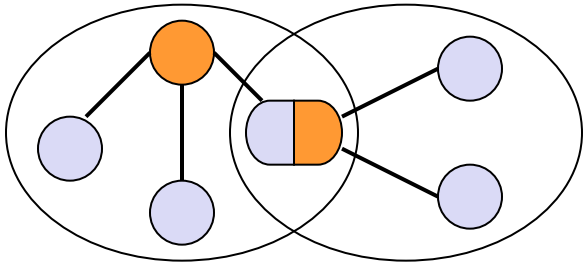


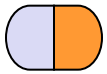
Netzarchitektur - Scatternetz

- Für größere Netze: Scatternetz
  - Überlappung mehrerer Pikonetze
    - Genau 1 Master pro Pikonetz !
  - 1 Koten kann
    - in mehreren Pikonetzen Slave sein



    - aber nur in einem Pikonetz als Master fungieren

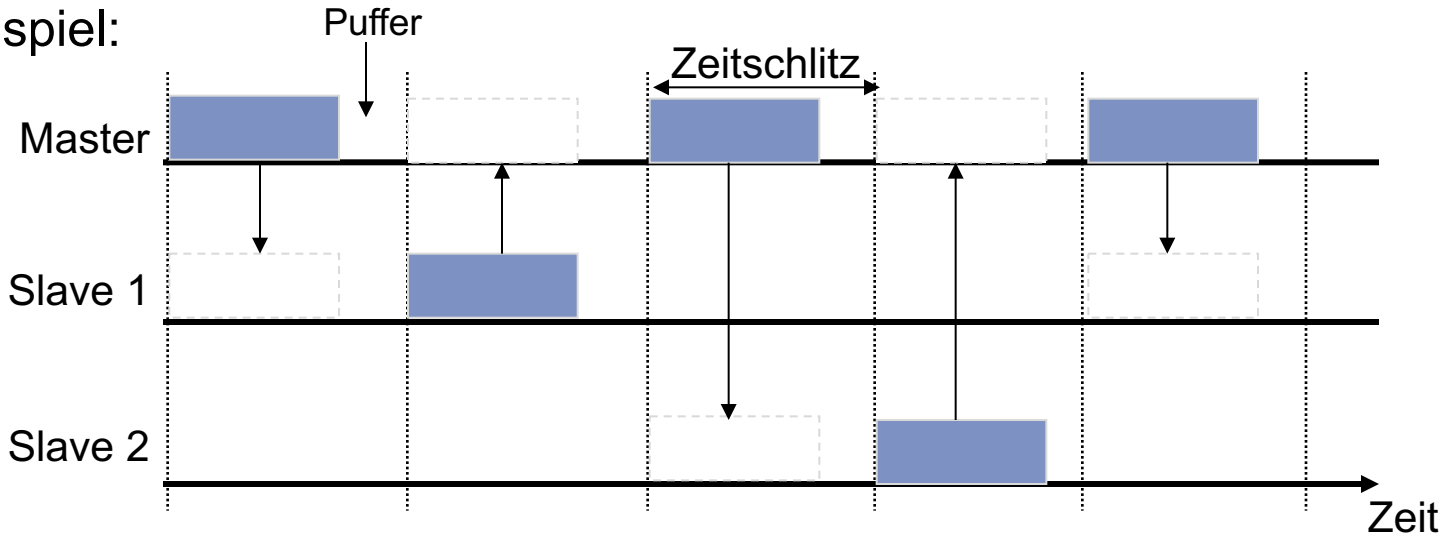




Slave in einem Pikonetz und Master in einem anderen

Master steuert Übertragung

- Verwendung von Time Division Duplex (TDD)
  - Variante von TDMA
  - Übertragung ist in Zeitschlitze gegliedert
    - Dateneinheiten beanspruchen typischerweise einen Zeitschlitz
    - Es existieren auch Dateneinheiten die 3 oder 5 Zeitschlitze benötigen
  - Zeitschlitze werden wechselweise von Master und Slave genutzt
    - Master nutzt ungerade Zeitschlitze, Slaves nutzen gerade Zeitschlitze
    - Slave darf erst antworten, wenn der Master ihn aufgefordert hat
      - So werden Kollisionen beim Medienzugriff vermieden
  - Master kann abwechselnd Daten an verschiedene Slaves schicken
- Beispiel:



FHSS in Bluetooth

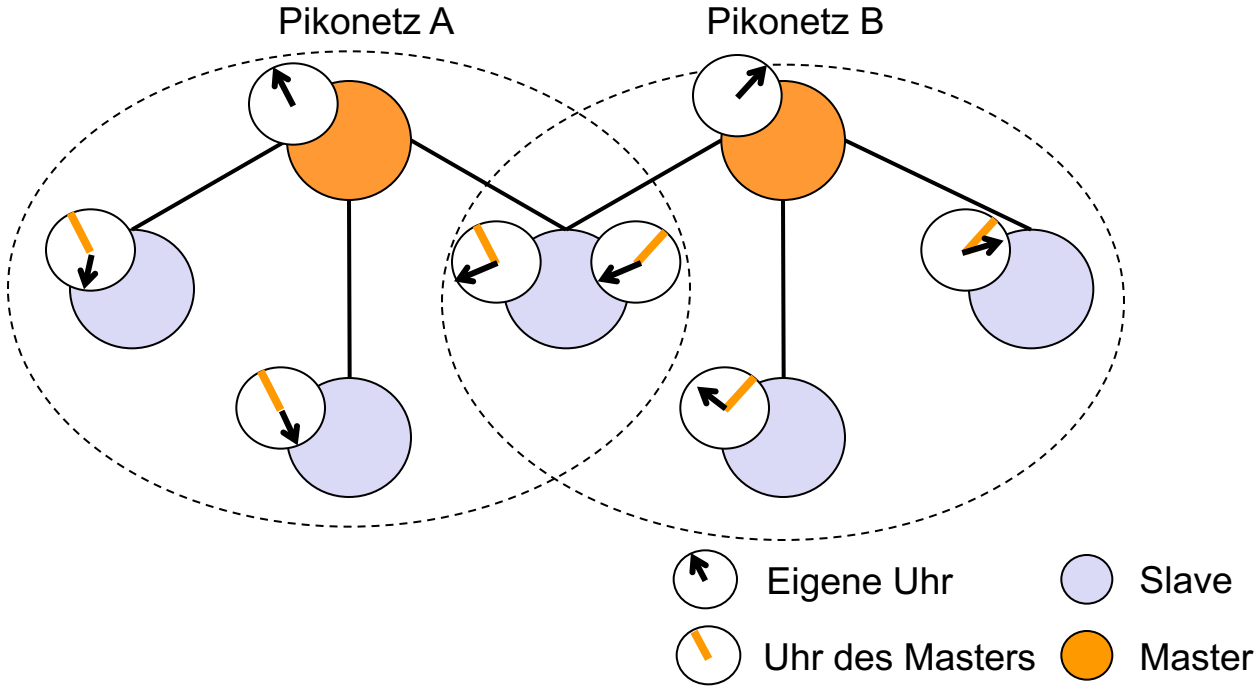
- Ziel
  - Robuste Kommunikation zwischen Bluetooth-Geräten
- Bandspreizen durch Frequency Hopping Spread Spectrum
  - Frequenzwechsel erfolgen zwischen Zeitschlitzen bzw. zwischen Dateneinheiten
    - Bei Dateneinheiten, die länger als ein Zeitschlitz sind, wird die Frequenz beibehalten. Ansonsten wechselt die Frequenz nach jeder Dateneinheit.
    - Dabei wird ursprüngliches Schema beibehalten
      - Bei einer Dateneinheit von 3 Zeitschlitzen wird danach von der Frequenz f_k zu Beginn der Übertragung auf die Frequenz f_{k+3} gewechselt
      - Vorteil: Alle Stationen können an ihrer gewohnten Sequenz festhalten und müssen nicht über die Übertragung längerer Dateneinheiten informiert sein.
  - Häufigkeit der Frequenzwechsel: 1600-mal pro Sekunde
    - 1 Zeitschlitz dauert also 1/1600 s = 625 µs
- Vorteil
  - Einzelne gestörte Frequenzen stören nicht die gesamte Übertragung
  - Ab Bluetooth 1.2 durch adaptives Frequenzspringen weiter verbessert, da es sich an Störungen anpassen kann.

Frequenzspringen

- Problem: Welche Sequenz von Frequenzen wird genutzt?
  - Master und Slave müssen synchronisiert sein, d.h.
    - gleiche Sequenz der Frequenzen und
    - gleiche Phase innerhalb der Sequenz
  - Sequenz selbst vom Master vorgegeben
    - Abfolge der Frequenzen (Sprung-Sequenz oder „Hopping-Sequenz“) ist eine Pseudo-Zufallszahlenfolge
    - Sprung-Sequenz berechnet aus der Geräteadresse des Masters
    - „Phase“ innerhalb der Sequenz bestimmt durch die Uhr des Masters
      - Damit kennen Master und Slave jeweils dieselbe aktuelle Frequenz
  - Die Sprung-Sequenzen in verschiedenen Pikonetzen unterscheiden sich
    - … Master kann also nicht in zwei oder mehr Pikonetzen agieren sondern ist auf eines beschränkt!

Synchronisation in Scatternetzen

- Zur Phasenerkennung der Sprung-Sequenz, muss jeder Slave die Uhren aller seiner Master kennen



- Problem unterschiedliche Sprungfrequenzen: Ein Slave kann immer nur in einem Pikonetz aktiv sein
  - Abmelden im alten Netz
  - Anmelden im aktiven Netz

[6.8]

Wie werden Pikonetze gebildet?

- Aufbau von Pikonetzen in zwei Phasen
  - Kennenlernen der Geräte in Reichweite
    - Prozess: Inquiry-Prozedur
    - Kennenlernen der Geräteadressen und Uhren
  - Einladen eines (bereits bekannten) Gerätes ins Pikonetz
    - Prozess: Paging-Prozedur
    - Verbindungsaufbau, Vergabe der Adressen im Pikonetz, …

Inquiry-Prozedur

- Aufgabe: Finden von anderen Geräten
- Probleme
  - Neue Geräte, die nicht Mitglied im Pikonetz sind, können nicht der dortigen Sprung-Sequenz folgen
  - Sie kennen auch nicht die aktuelle Phase innerhalb der Sprung-Sequenz
- Vorgehensweise
  - Geräte folgen speziellen Inquiry-Sprungsequenzen
    - Besteht aus 32 Frequenzen (bzw. 16 davon für Spanien …)
      - Sind allen Geräten auch ohne Mitgliedschaft in einem Pikonetz bekannt
    - Alle Geräte hören auf Untermenge aus 16 dieser Frequenzen mit ihrer speziellen Sequenz
      - Sequenz wird durch jeweilige Geräteadresse bestimmt

Inquiry-Prozedur

- Suchende und hörende Geräte nutzen unterschiedliche Häufigkeiten des Springens
  - Suchendes Gerät sendet Inquiry-Dateneinheiten mit hoher Frequenz
    - Wählt alle 312,5 µs eine neue Frequenz
    - D.h. 2 Inquiry-Dateneinheiten pro Zeitslot
  - Hörende Geräte wählen alle 1,28 s eine neue Frequenz
    - Hören dort jeweils für 18 Zeitschlitze, also 11,25 ms
- Hörende Geräte antworten unter anderem mit ihrer Geräteadresse, ihrer Uhr und ihrer Geräteklasse
  - Dadurch gelingt späteres Paging schneller

… immer sichtbar?

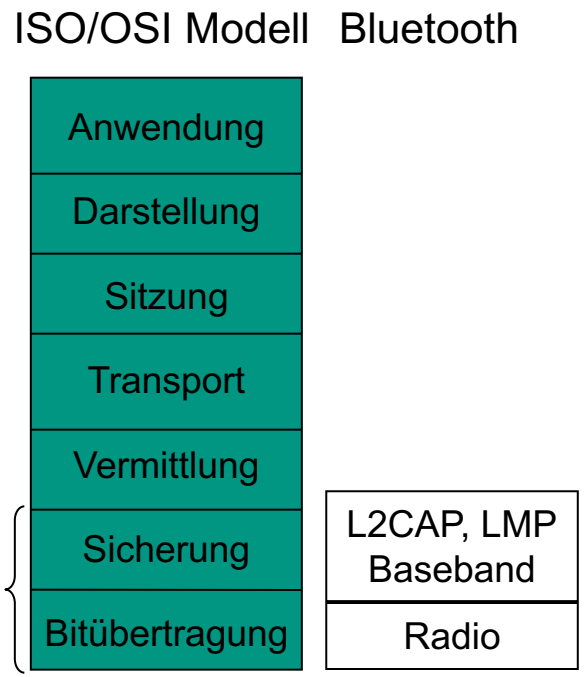
- Beobachtung
  - Die Inquiry-Prozedur erfordert, dass das Bluetooth-Gerät sichtbar ist … wollen wir das immer?
    - Privatsphäre
    - Angriffe auf Fehlerhafte Bluetooh-Implementierungen, z.B. BlueSnarf, Chaos, BlueBug, …
      - Auslesen von Adressbüchern
      - Initiieren von Telefongesprächen
      - …?
- …don´t panic
  - Anwender kann das Verhalten seines Bluetooth-Gerätes beeinflussen
  - Bluetooth-Geräte ermöglichen Unsichtbarkeit
    - Keine Antwort auf Inquiries
    - Verbindungsaufbau über Paging dennoch möglich
    - Keine Sicherheitsgarantie! Geräteadresse kann man erraten…

Paging-Prozedur

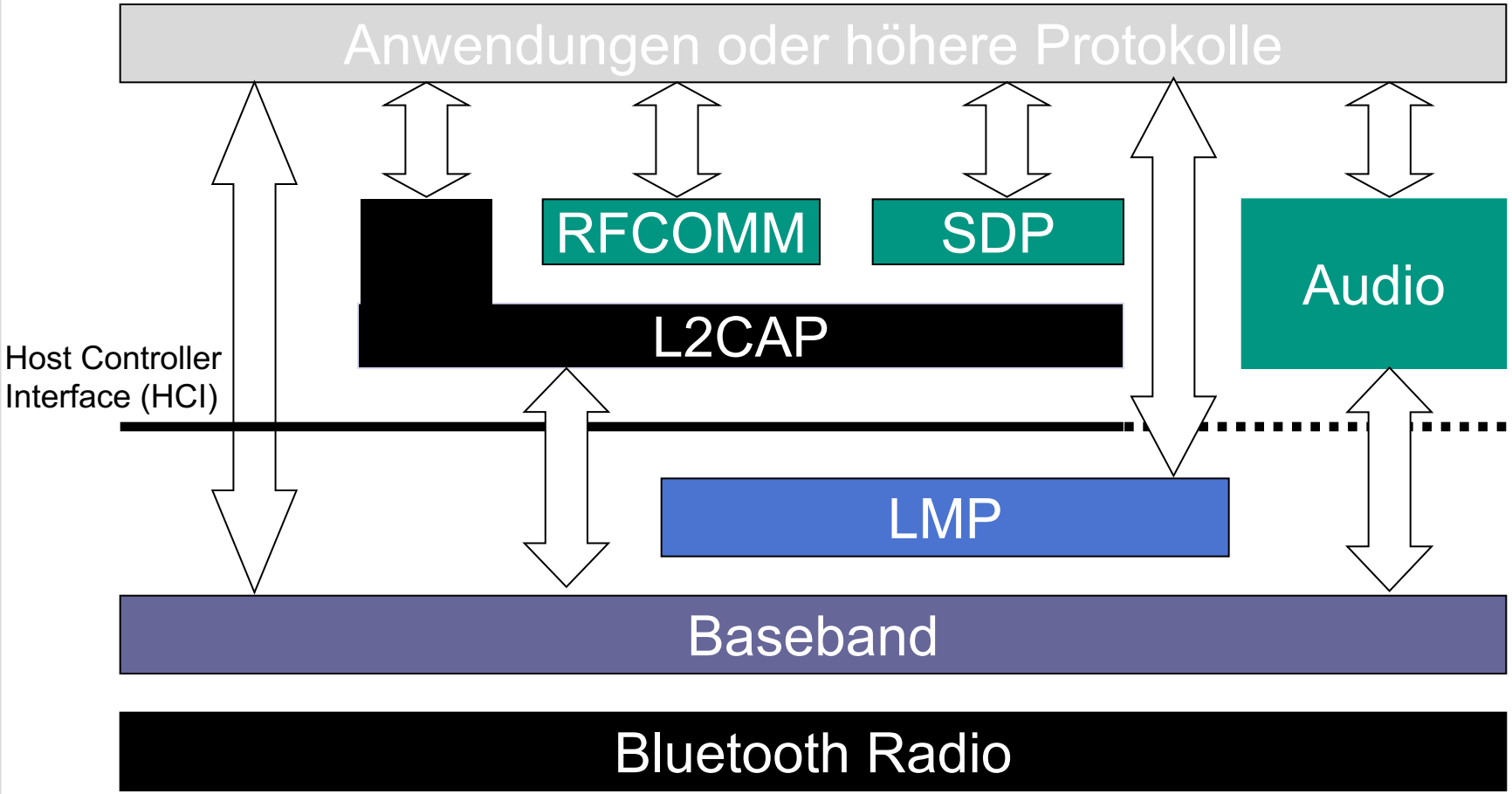
- Aufgabe: Ein Gerät soll in ein Pikonetz eingeladen werden
- Voraussetzung
  - Geräteadresse des einzuladenden Gerätes ist bekannt
    - Hierfür sorgt die Inquiry-Prozedur
    - Bekannte Uhrzeit beschleunigt Paging-Prozedur
- Ablauf
  - Einladendes Gerät berechnet Sprungsequenz aus Geräteadresse des einzuladenden Gerätes
    - Besteht aus 32 Frequenzen (bzw. 16 für Spanien …)
  - Einladendes Gerät berechnet Phase aus (geschätzter) Uhr des einzuladenden Geräts
    - Uhren „driften“ immer etwas auseinander
    - Wenn Uhrzeit (und damit Phase) falsch geschätzt, dann wird in Phase(n) „danach“ oder „davor“ gesucht
  - Beide Geräte nutzen unterschiedliche Wechselgeschwindigkeiten für die Sprungsequenz
    - Einladendes Gerät wählt alle 312,5 µs eine neue Frequenz und sendet Paging-Dateneinheiten
    - Eingeladenes Gerät wählt alle 1,28 s eine neue Frequenz, hört dort für 11,25 ms
  - Das einladende Gerät wird Master der Verbindung

Protokollstapel

- Vielzahl von Protokollen spezifiziert.
  Kernspezifikationen
  - Protokolle der physikalischen Schicht und der MAC-Schicht
    - Regeln Zugriff auf das drahtlose Kommunikationsmedium (s. vorne)
    - Gliedern sich in die Schichten „Radio“ und „Baseband“
  - Link Manager Protocol (LMP)
    - Verwaltung von physikalischen Links
    - Regelt Pairing und Verschlüsselung für einen Link
    - Gleicht Uhren ab
    - Führt Master-Slave Rollenwechsel durch
    - Stellt Sendeleistung ein
  - Logical Link Control and Adaption Protocol (L2CAP)
    - Stellt pro Link mehrere Kanäle zur Verfügung
    - Segmentierung und Reassemblierung großer Daten
    - Regelt Dienstgüte
  - Profilspezifikationen
    - Protokolle und Funktionen zur Anpassung an Anwendungen



Protokollstack im Überblick

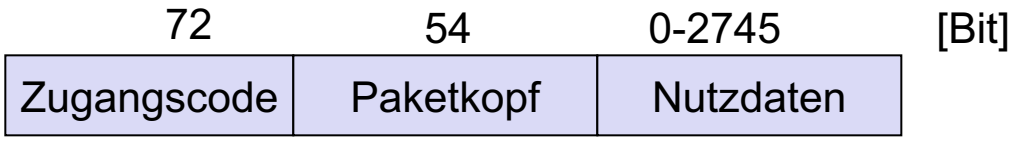


Weitere Elemente des Protokollstapels

- SDP (Service Discovery Protocol)
  - Suche nach Diensten anderer Geräte
  - Feststellung von Dienstparametern (z.B.: L2CAP PSM, RFCOMM Channel)
  - Standardisierte Dienste werden in Profilen beschrieben
- RFCOMM
  - Emulation serieller Schnittstellen
  - In der Regel Grundlage weiterer Protokolle (OBEX, PPP, ...)

Basisband-Dateneinheit

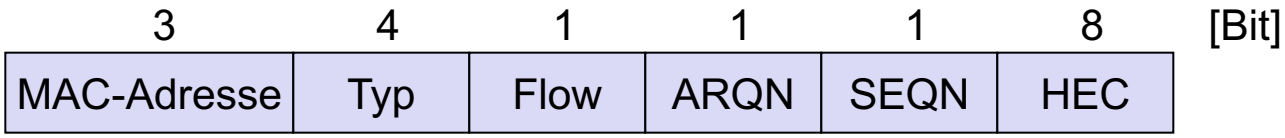
- Format der MAC-Dateneinheit, die in einem Zeitschlitz gesendet wird



  - Unterschiedliche Typen sind möglich
    - Nur Zugangscode, Einsatz z.B. beim Inquiry
    - Zugangscode und Kopf, beim Paging
    - Zugangscode, Kopf und Nutzdaten, bei Datenaustausch
  - Zugangscode
    - Identifiziert Pikonetz
    - Ist abgeleitet von der Gerätekennung des Masters
    - Besteht aus
      - Präambel zur Synchronisierung
      - Synchronisationsfeld, das u.A. Zweck der Dateneinheit darstellt
        - Z.B. Inquiry, Paging, normaler Datenaustausch
      - Adresse des Masters bzw. Slaves
      - Anhang, nur vorhanden, falls Nutzdaten folgen

Basisband-Dateneinheit

- Paketkopf
  - *MAC-Adresse*: 3 bit Active Member Address
    - Geräten wird im Pikonetz diese temporäre Adresse zugeordnet
    - max. 1 Master- und 7 Slaves adressierbar
  - *Typ*: Verbindungstyp, synchron oder asynchron (siehe später!)
  - *Flow*: Halt und weiter (Flusskontrolle)
  - *ARQN*: ACK bei Anwendung von ARQ-Verfahren
  - *SEQN*: Sequenznummer zur Filterung doppelter Pakete
  - *HEC*: Prüfsumme über Paketkopf



  - Senden mit 1/3 Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC)
    - Jedes Bit wird dreimal gesendet
      - 3 x 18 Bit = 54 Bit

Verbindungsverwaltung

- Aufgabe des Link Manager Protocols (LMP)
  - Höheren Schichten werden unterschiedliche Typen von Verbindungen bereitgestellt
- Synchronous Connection-Oriented Link (SCO)
  - Symmetrisch, Punkt-zu-Punkt, nur zwischen Master und einem Slave
  - Datenrate immer 64 kbit/s (z.B. Sprachverbindungen)
  - Master reserviert Zeitschlitze („Slots“) in festen Intervallen
  - Verschiedene Typen möglich – Unterschied liegt in Vorwärtsfehlerkorrektur
    - *High Rate Voice 1 (HV1)*: Forward Error Correction (FEC) mit 1/3 Coderate, alle 2 Zeitschlitze ist ein Zeitschlitz reserviert
    - *HV2*: FEC mit 2/3 Coderate, alle 4 Zeitschlitze ist ein Zeitschlitz reserviert
    - *HV3*: ohne FEC, alle 6 Zeitschlitze ist ein Zeitschlitz reserviert
  - Damit selbst bei starker Störung Übertragung möglich

Mögliche Verbindungen

- Asynchronous Connectionless Link (ACL)
  - Punkt-zu-Mehrpunkt, Master fragt mehrere Slaves ab (polling)
  - symmetrisch oder asymmetrisch
    - Datenraten bis zu 721 kbit/s
  - Verschiedene Typen
    - *Data Medium Rate x (DMx)*: FEC mit 2/3 Coderate; *Data High Rate x (DHx)*: kein FEC
    - X steht für Anzahl aufeinanderfolgender Zeitschlitze, die eine Dateneinheit einnehmen darf (bis zu 5)
    - Es findet kein Frequenzwechsel zwischen diesen Zeitschlitzen statt

LMP – Link Management Protocol

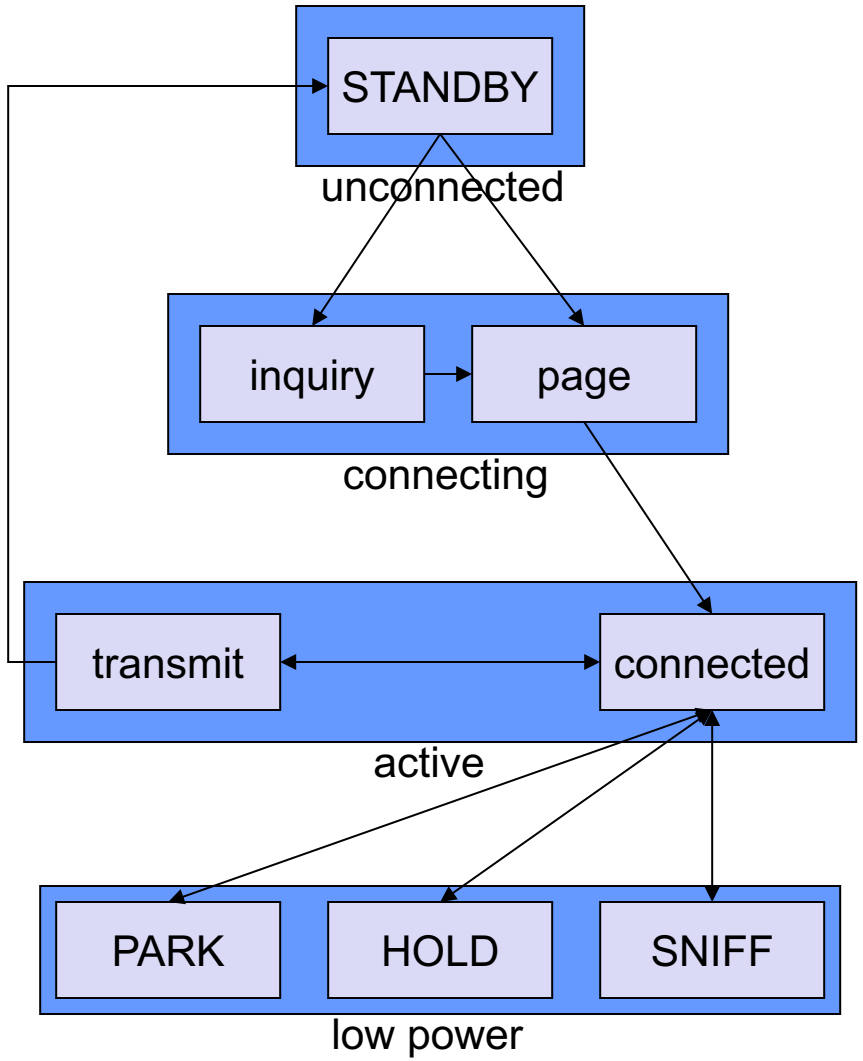
- Authentifikation und Verschlüsselung
  - Authentifikation des Kommunikationspartners („Pairing“), da Daten von dritter Seite über die Luftschnittstelle gesendet werden können
    - Basierend auf Challenge-Response-Verfahren
    - Aus „Shared Secret“ (PIN) wird gemeinsamer Schlüssel berechnet
    - Challenge ist 16-Byte-Zufallszahl
  - Verschlüsselung der Daten, da diese bei der Übertragung abgehört werden können (optional)
    - Symmetrische Verschlüsselung über SAFER+ (Secure And Fast Encryption Routine)
    - Schlüssel ist variabler Länge (<128 bit) und basiert auf Schlüssel zur Authentifikation

LMP – Link Management Protocol

- Abgleich lokaler Uhren
  - für Frequenzsprung wird exakte Zeitmessung benötigt
  - Für jedes Gerät wird zeitlicher Offset (Unterschied zu eigener Uhr) gespeichert
- Tausch der Master/Slave-Rollen
  - Master wird durch Zusatzaufgaben stärker belastet als der Slave
    - Batterie des Masters wird stärker belastet
- Ändern der Sendeleistung
  - RSSI (Receiver Strength Signal Indicator) misst Empfangspegel
  - ggf. kann Kommunikationspartner aufgefordert werden die Sendeleistung zu erhöhen oder zu drosseln
- Einstellen von Dienstgüte-Parametern (Quality of Service, QoS)
  - Änderung der Dienstgüteparameter als Reaktion auf die Übertragungsqualität
    - z.B. Wahl eines Pakettyps mit höherer FEC-Rate
- Ändern der Betriebsmodi
  - Wechsel zwischen Connected Mode, Sniff Mode, Hold Mode und Park Mode

LMP-Betriebsmodi

- Low-Power-Modi können durch Master forciert werden:
- SNIFF
  - Gerät schläft periodisch und hört in größeren Abständen auf Poll-Anfragen vom Master (Intervalle sind variabel)
  - Gerät bleibt aktiver Teil des Pikonetzes (behält Active Member Address)
- HOLD
  - Gerät schläft einmalig für „hold time“
  - Gerät bleibt aktiver Teil des Pikonetzes (behält Active Member Address)
- PARK
  - Gerät kein aktiver Teil des Pikonetzes mehr (erhält Parked Member Address)
  - Erhaltung der Synchronisation durch Beacons, die in großen Abständen vom Master gesendet werden



L2CAP

- Funktionen
  - Zerlegen großer Dateneinheiten in mehrere kleine Teile für den Transport (Segmentation and Reassembly – SAR)
    - Konfiguration Basisbandübertragung
      - Sendebestätigungen, Timeouts
    - Konfiguration max. L2CAP-Dateneinheit (MTU) bis 64 kByte
    - Nur Teile *einer* L2CAP-Dateneinheit hintereinander über die Verbindung versendet
  - Einstellung von Dienstgüte-Eigenschaften möglich
    - Definition von Dienstgüte-Parametern pro logischem Kanal
      - Dienstgütetyp
        - keine Dienstgüte
        - Best Effort: Vorgaben werden berücksichtigt, jedoch keine Garantien für Einhaltung gegeben
        - Garantie (optional): Einhaltung der eingestellten Parameter wird garantiert
      - Parameter für jeweiligen Dienstgütetyp

L2CAP

- Bereitstellung mehrerer logischer Kanäle pro ACL Verbindung
  - Keine Funktionen zur Sicherung des Datenkanals
    - Zuverlässiger Datentransport wird den höheren Protokollen (z.B. PPP) überlassen
  - Identifikation logischer Kanäle durch CID (Channel Identifier)
  - Drei unterschiedliche Kanalarten
    - Signalisierungskanal (CID=1): Signalisierungsnachrichten zwischen L2CAP Instanzen
    - Verbindungslose Kanäle (CID=2): z.B. Rundruf des Masters an alle Slaves
    - Verbindungsorientierte Kanäle (CID≥64): Kanal zwischen zwei Geräten
  - Kanäle zwischen Dienstgeber bzw. Dienstnehmer
    - Verbindungsorientierte Kanäle über CID identifiziert
    - Verbindungslose Kanäle über CID=2 & PSM identifiziert
      - PSM = Protocol and Service Multiplexer, (PSM sind analog zu Ports bei UDP)
      - Well-Known PSMs (z.B.: PSM1 für SDP und PSM3 für RFCOMM)
      - Zuordnung Profil – PSM erfolgt über SDP
    - Nummern werden beim Verbindungsaufbau übertragen

CID	Beschreibung
0x0000	Null
0x0001	Signalisierung
0x0002	Verbindungslose Kanäle
0x0003-0x003F	reserviert
0x0040-0xFFFF	frei verfügbar

PSM	Beschreibung
0x0001	SDP
0x0003	RFCOMM
0x0005	TCS-BIN
<0x1000	reserviert
0x1001-0xFFFF	verfügbar

Bluetooth Versionen

- Version 1.0
  - wurde im Juli 1999 verabschiedet
- Version 1.1
  - Erschien mit einigen Erweiterungen im Dezember 2000
    - Gleichzeitig bis zu 7 Verbindungen betreibbar
    - Messverfahren für Signalstärke hinzugefügt (Received Signal Strength Indicator, RSSI)
  - Grundlage der Ausführungen in der Vorlesung
- Version 1.2
  - Unempfindlicher gegen elektromagnetische Störungen
    - Adaptives Frequenzspringen
      - Verbessert Koexistenz mit WLAN
      - Schlechte Frequenzen werden aus Sprungsequenz genommen
    - „Same Channel Communication“
      - Aufeinanderfolgende Zeitschlitze eines Masters und eines Slaves senden auf gleicher Frequenz
      - Gleiche Qualität für beide
      - Frequenzspringen 800-mal pro Sekunde

Bluetooth Versionen

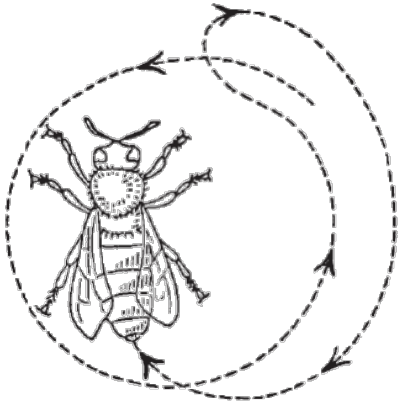
- Version 2.0
  - Im November 2004 verabschiedet
    - „Enhanced Data Rate“ (EDR) mit ca. 3-facher Geschwindigkeit
    - Andere Form der Modulation: „Phase Shift Keying“ anstatt „Gaussian Shift Keying“
    - Bis zu 50% weniger Energieverbrauch
- Version 2.1
  - Im August 2007 verabschiedet
    - Secure Simple Pairing
    - Quality of Service
- Version 3.0
  - Im April 2009 verabschiedet
    - zusätzlicher Highspeed-Kanal auf Basis von IEEE 802.11
    - Anpassung L2CAP notwendig

Bluetooth Versionen

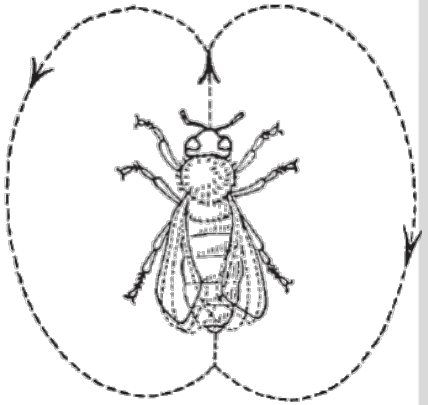
- Version 4.0
  - Im Dezember 2009 verabschiedet
    - Schneller Verbindungsaufbau
    - Entfernungen bis 100m
    - Stromspar-Funktionen („Bluetooth Low Energy“, „Smart“), nicht rückwärtskompatibel
- Version 4.1
  - Im Dezember 2013 verabschiedet
    - Verbesserte Koexistenz mit anderen Technologien (z.B. LTE)
    - Aufrechterhalten von Verbindungen mit weniger manuellen Eingriffen
    - Effizienterer Datenaustausch durch L2CAP Modifikationen
    - Geräte unterstützen mehrere Rollen
    - Aufbau dedizierter L2CAP Verbindungen
- Version 4.2
  - Im Dezember 2014 verabschiedet
    - IPv6 Integration
    - Noch sparsamerer Energiesparmodus
- Version 5.0
  - Im Dezember 2016 verabschiedet
    - Größere Reichweiten
    - Höhere Datenraten
    - Standortübermittlung

Zigbee

- Name „ZigBee“ stammt aus der Bienensprache
- Bienen teilen Standort neuer Futterquelle dem Stock mit – durch *Zick-Zack-Tanzen*
  - Rundtanz: Futter in Entfernung 50m-150m
  - Schwänzeltanz: Distanz >150m

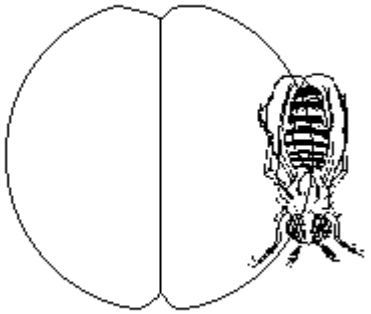


Rundtanz



Schwänzeltanz

- Länge des Tanzes Hinweis auf ungefähre Entfernung
  - Untersuchung: 2,5s tanzen entsprechen etwa 2,65 km
  - lineare Abhängigkeit
- Richtung der Quelle wird über Ausrichtung auf der (Tanz-)Geraden bestimmt
  - Quelle genau in Richtung der Sonne – im Stock hochklettern
  - Z.B. 60° links von der Sonne – 60° Grad links hochklettern
- „Empfang“ der Information durch Erfühlen (Dunkelheit im Stock!)



[6.9]

ZigBee in a Nutshell

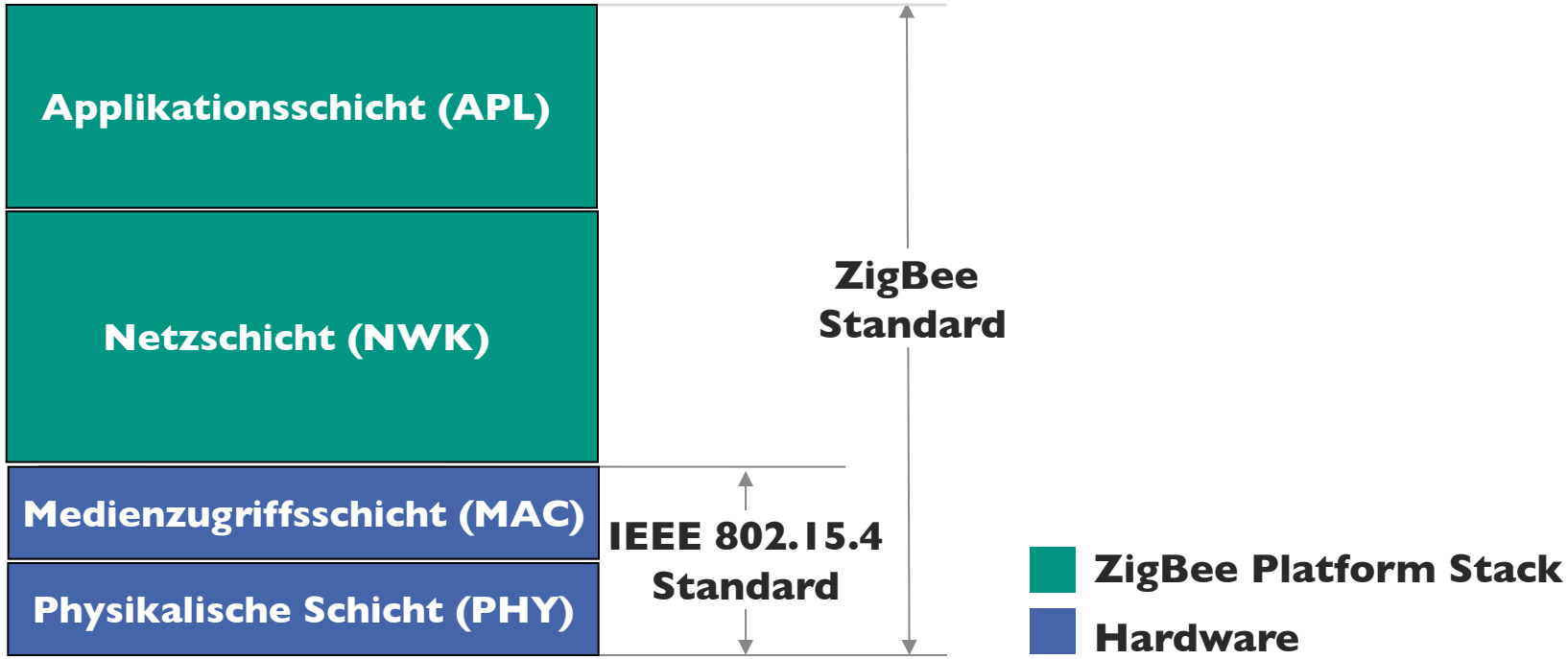
"To enable reliable, cost-effective, low-power, wirelessly networked, monitoring and control products based on an open global standard."

- Die ZigBee Alliance ist ein Firmenkonsortium, zu dem neben den Gründern Honeywell, Motorola, Mitsubishi Electric, Philips und Invensys inzwischen über 120 Partner gehören.
- Gegründet 2002

- Ziel ist Entwicklung eines neuen WPANs mit dem Fokus auf
  - Geringe Komplexität, geringe Kosten, geringer Durchsatz
  - Lange Batterielaufzeit
  - „Meshed Networks"

ZigBee vs. 802.15.4

- ZigBee spezifiziert
  - Höhere Schichten wie z.B. Anwendung und Vermittlung
  - Physikalische Übertragung und Sicherung (in IEEE 802.15.4)



- Bietet Kunden Kompatibilitätstest und Zertifizierungen an.
- Erste Produkte mit ZigBee sind 2005 ausgeliefert worden.

ZigBee Applikationsschicht

- 3 funktionale Bestandteile
  - Application Support Sublayer (APS)
    - Unterstützung von zuverlässigem Datentransfer
    - Verwaltung von Gruppenadressen
  - ZigBee Device Object (ZDO)
    - Definiert die Rolle eines Gerätes im Netz (Coordinator/Router/Device)
    - Entdecken anderer Geräte und derer Anwendungen
  - Application Framework
    - Umgebung in der sich die Anwendungen befinden

ZigBee Netzschicht

- Aufgaben der ZigBee Netzschicht
  - Zuweisung von Netzadressen durch Koordinator
  - Aufbau und Erhalt von Routen zwischen Geräten
  - Routing von Paketen zu Zielgeräten durch Router und Koordinatoren Beitritt zu und Austritt aus einem ZigBee-Netz
  - Entdeckung von direkten Nachbarn
  - Anwendung von Sicherheitsmaßnahmen auf Netzebene

Kommunikationsmuster und Topologien

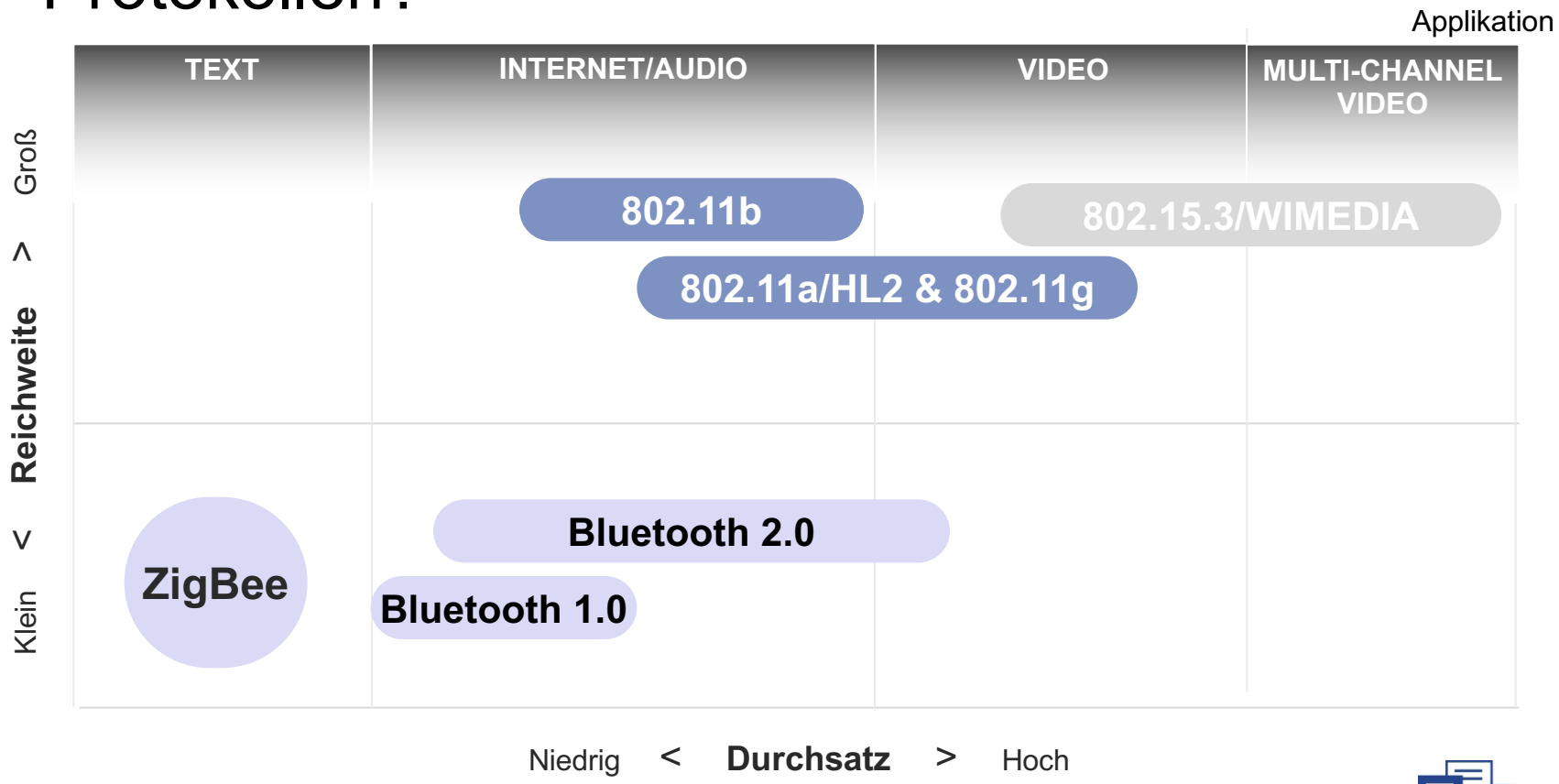
- Von ZigBee vorgesehene Kommunikationsmuster
  - Unicast
  - Broadcast
  - Multicast
- Mögliche Topologien
  - Mesh: Jedes Gerät kann versuchen mit jedem anderen Kontakt aufzunehmen – entweder direkt oder über Router
  - Hierarchische Baumtopologie: Unter den Geräten herrschen hierarchische Verwandschaftsverhältnisse. Das Routing basiert auf einem Baumgraphen.

Kurzüberblick 802.15.4

- Kleine Paketgröße (< 128 Byte)
- Geringer Durchsatz (250 kBit/s)
- Geringer Energieverbrauch
- Reichweite bis 70 Meter
- 3 Frequenzbänder, nur eines weltweit verfügbar
  - 2,4 GHz, 16 Kanäle
- Verschiedene Netztypen möglich:
  - P2P/Mesh: Jeder kann mit jedem kommunizieren
  - Stern: Kommunikation nur über zentrales Gerät
- 2 Gerätearten
  - Vollfunktionstüchtige Geräte (Full Function Devices, FFD)
  - Eingeschränkte Geräte (Reduced Function Devices, RFD), nur in Stern-Netzen
- Ausführlicher behandelt in DSAN-Vorlesung

ZigBee vs. Bluetooth vs. …

- Wie „passt“ ZigBee zu anderen Wireless-Protokollen?



[6.4]

ZigBee vs. Bluetooth

	Bluetooth	ZigBee/802.15.4
Modulationstechnik	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Durchsatz	768 kbit/s	250 kbit/s
Reichweite	1, 10 oder 100m	Bis 70m
Verbindungsaufbau	≈3 s	30 ms
Sendeleistung	1mW-100mW	10mW-1000mW
Geräte pro „Master“	7	64000

Obwohl 802.15.4 teilweise mehr Strom zum Senden verbraucht, ist es auf Grund „cleverer“ Energiesparmodi (längere Schlafzeiten, keine Notwendigkeit ständig Frequenzen zu synchronisieren usw.) insgesamt stromsparender als Bluetooth.

Zusammenfassung WPAN

- Wireless Personal Area Networks
  - Vernetzung von (kleinen) Geräten im direkten Umfeld, Vision „Ubiquitäre Netze“
  - Begrenzte Reichweite, Energie, etc.
  - Autonome Netze
- Verschiedene Technologien
  - (Infrarot, proprietärer Funk)
  - Bluetooth
    - Frequenzsprung (Sequenz und Phase)
    - Pikonetz – Master, Slave
    - Scatternetz – Verbund mehrerer Pikonetze
    - Inquiry, Paging
  - ZigBee
    - Stern-/Mesh-Netze
    - Koordinator
    - Unterschiedliche Kommunikationstypen

Übungen

6.1 Nennen Sie Unterschiede zwischen WLANs und WPANs!

6.2 Beschreiben Sie die Struktur eines Pico-/Scatternetzes!

6.3 Welche Arten von Brücken zwischen verschiedenen Pico-Netzen gibt es in einem Scatternetz?

6.4 Wie funktioniert das Frequenzspringen in Bluetooth?

6.5 Was ist der Unterschied zwischen Paging und Inquiry? Beschreiben Sie die Prozeduren!

6.6 Welche LMP-Betriebsmodi gibt es?

Referenzen und weiterführende Literatur

[6.1] J. Roth, Mobile Computing, dpunkt-Verlag, 2005

[6.2] http://bluez.sourceforge.net/

[6.3] B. A. Miller, C. Bisdikian, Bluetooth Revealed, Prentice Hall, 2002

[6.4] What You Should Know About the ZigBee Alliance http://www.zigbee.org,

[6.5] http://www.elektroniknet.de

[6.6] http://www.lisha.ufsc.br/~guto/teaching/ish/ine5346-2003-1/work/bluetooth/hci_commands.html

[6.7] Vorlesung „Ubiquitäre Systeme“, http://www.teco.edu/lehre/#vorlesung

[6.8] J. Schiller, Mobilkommunikation, Pearson Studium, 2003

[6.9] NC State University, The Honey Bee Dance Language, http://www.cals.ncsu.edu/entomology/apiculture/PDF%20files/1.11.pdf

[6.10] S. Farahani, ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Newnes,2008

[6.11] http://shapp.at/MN8