

Vorlesung

Rechnernetze II – Teil 1

Sommersemester 2005

Stefan Piger, Christian Grimm
Fachgebiet Distributed Virtual Reality (DVR)
Lehrgebiet Rechnernetze

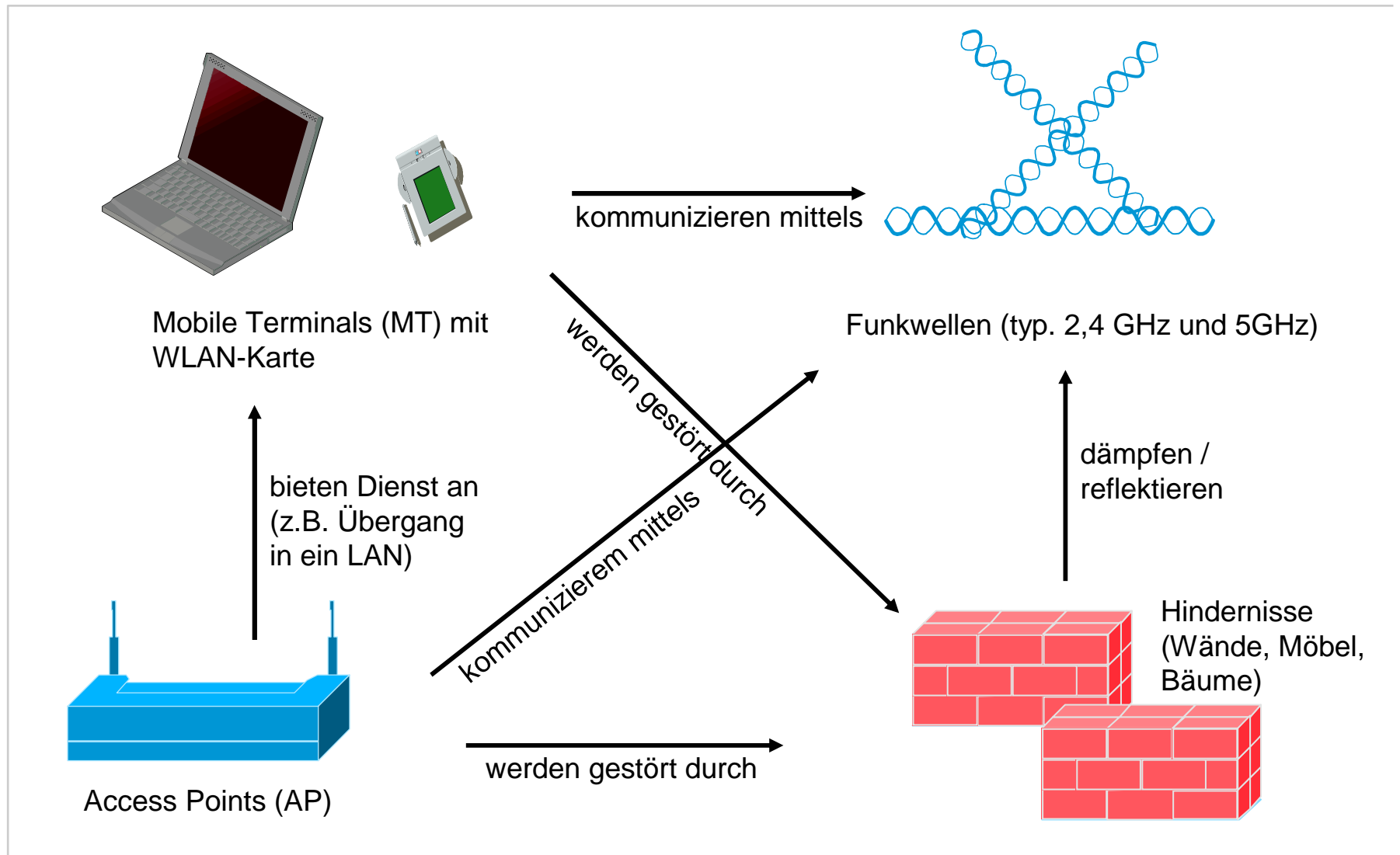
Einführung

- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11g, 802.11a
- weitere IEEE 802.11 Working Groups

Was ist ein WLAN?



Vorteile im Vergleich zu LANs

- räumlich flexibel innerhalb eines Empfangsbereichs
- Ad-hoc-Netzwerke ohne vorherige Planung machbar
- keine Verkabelungsprobleme

Nachteile

- mit 1-54 Mbit/s Brutto langsam im Vergleich zu Fast Ethernet
- hohe Fehleranfälligkeit (Bitfehlerrate) im Vergleich zu LANs
- nationale Restriktionen, keine globalen Standards bei den genutzten Frequenzbändern
- Sicherheit
- Kosten

*„Wenn Du ein Wireless LAN aufbauen willst,
musst Du vorher Kabel verlegen...“*

- **Erweiterung bereits bestehender drahtgebundener LANs in Firmen, Universitäten, etc.**
- **Freilandforschung**
- **Hot Spots (Flughäfen, öffentliche Plätze, etc.)**
- **Netzwerke in Messehallen**
- **Krankenhäuser**
- **Lagerverwaltung**
- **denkmalgeschützte Gebäude**

Ökonomische Ziele

- weltweite Funktion
- Schutz bereits getätigter Investitionen im Festnetzbereich (Kompatibilität)
- Betrieb ohne Sondergenehmigungen bzw. Lizenzen

Technische Ziele

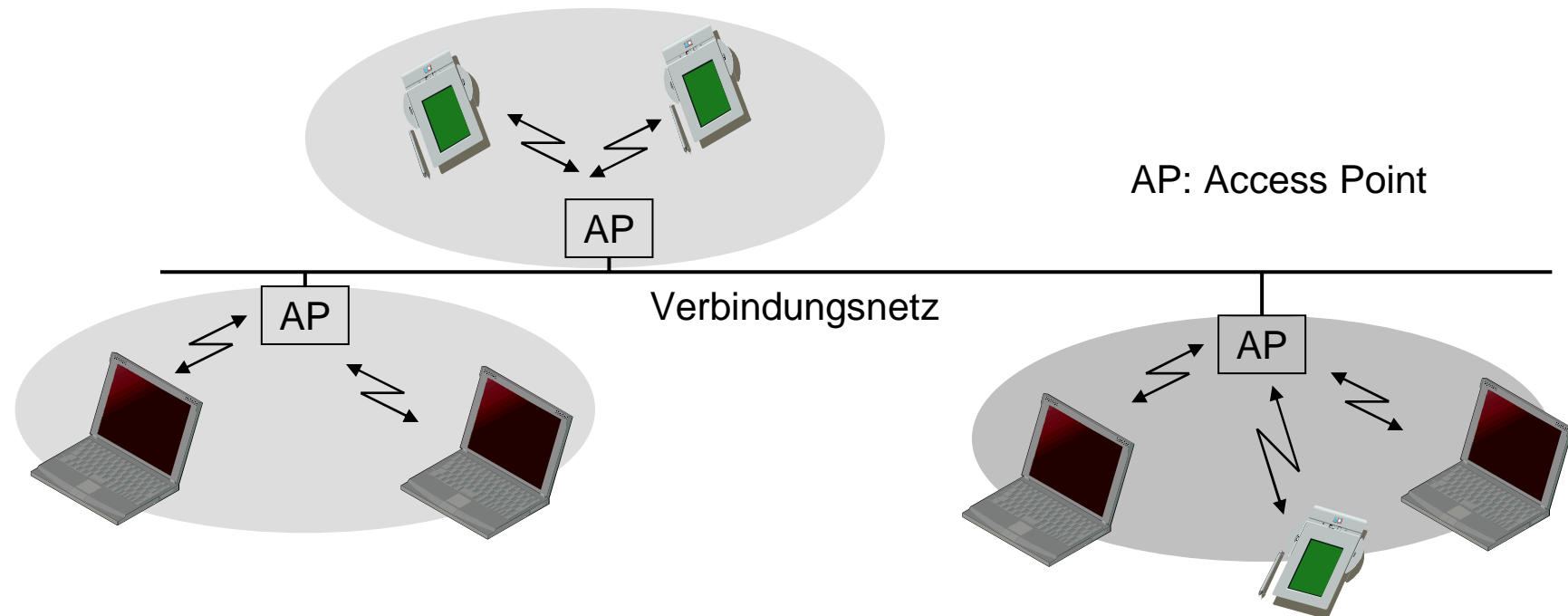
- geringe Leistungsaufnahme
- robuste Übertragungstechnik
- Zusammenarbeit von Geräten ohne langwierige Anmeldeprozeduren
- einfache Handhabung und Verwaltung
- Transparenz hinsichtlich der Anwendungen und Protokolle höherer Schichten
- Sicherheit hinsichtlich Abhören vertraulicher Daten, aber auch hinsichtlich der Emissionen

Architektur von WLANs – Ad-hoc Netzwerk



- Teilnehmer an Ad-hoc Netzwerk nur Mobile Terminals (MT)
- Ad-hoc Netzwerk wird gebildet durch MTs, die dieselbe Frequenz nutzen
- Geräte kommunizieren direkt miteinander

Architektur von WLANs – Infrastruktur-Netzwerk



- Zusätzliche Komponenten zu Ad-hoc Netz: Access Point und Verbindungsnetz
- Anmeldung der Mobile Terminals (MT) am Access Point (AP)
- Kommunikation der Mobile Terminals über Access Points
- APs vermitteln zwischen Geräten in unterschiedlichen Zellen über ein LAN

Einführung

- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a
- weitere IEEE 802.11 Working Groups

Frequenzband

- 84,5 MHz im 2,4 GHz ISM Band
- 455 MHz (Europa) im 5 GHz ISM Band

Datenrate (shared)

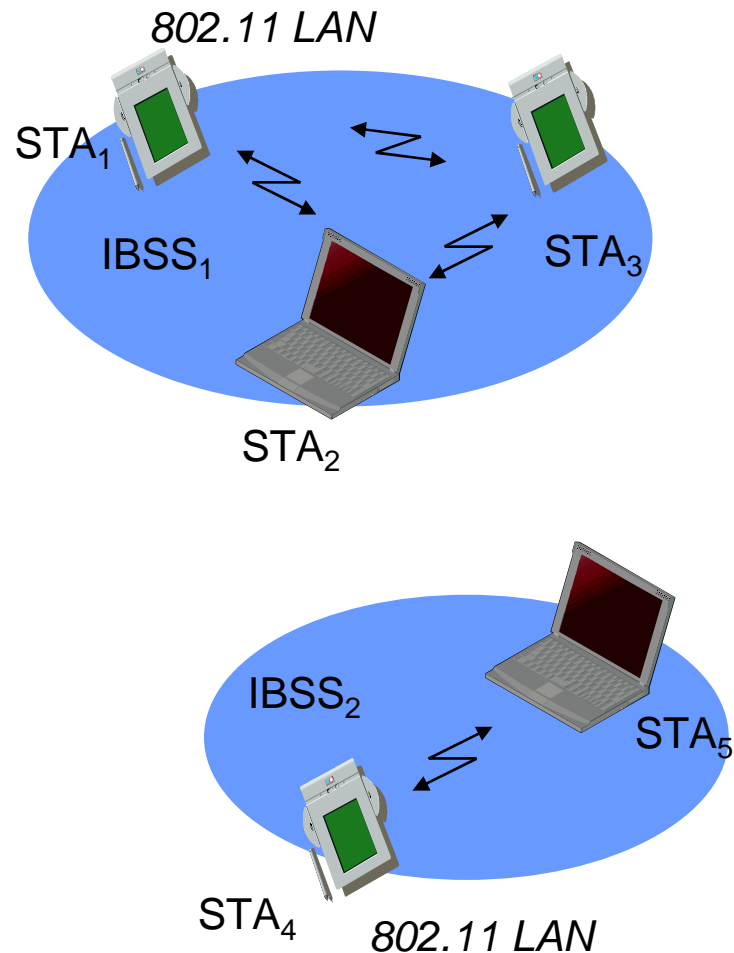
- ursprünglich 1;2 Mbps
- heute 11;54 Mbps

Standards

- IEEE 802.11

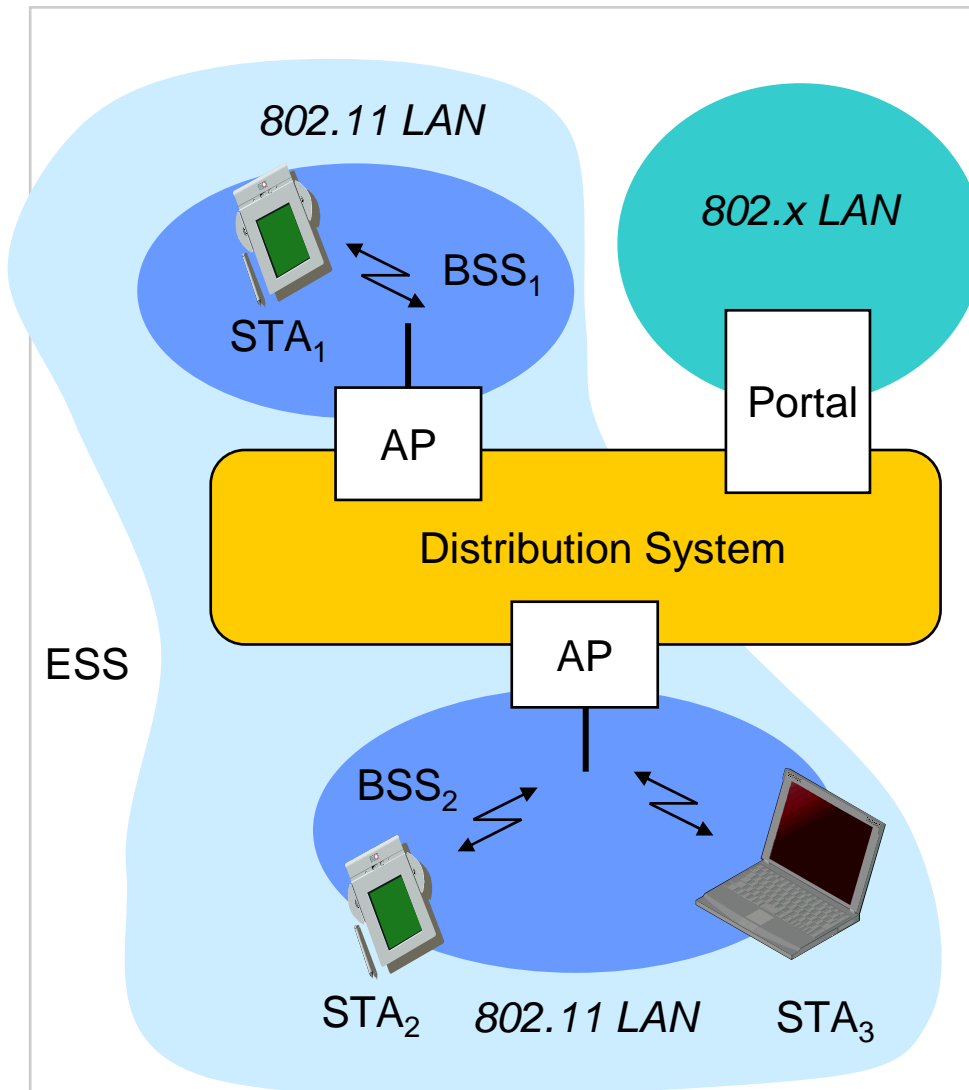
WiFi

- Wireless Fidelity
- Zertifikat von der WECA (Wireless Compatibility Alliance)
- sichert die Interoperabilität zwischen Funk-LANs



Direkte Kommunikation zwischen Endgeräten

- Station (STA):
Rechner mit Zugriffsfunktion auf das drahtlose Medium
- Independent Basic Service Set (IBSS):
Gruppe von Stationen, die dieselbe Funkfrequenz (am selben Ort) nutzen



Access Point (AP)

- Station, die sowohl in das Funk-LAN als auch das verbindende Festnetz (Distribution System) integriert ist

Station (STA)

- Rechner mit Zugriffsfunktion auf das drahtlose Medium und Funkkontakt zum Access Point

Basic Service Set (BSS)

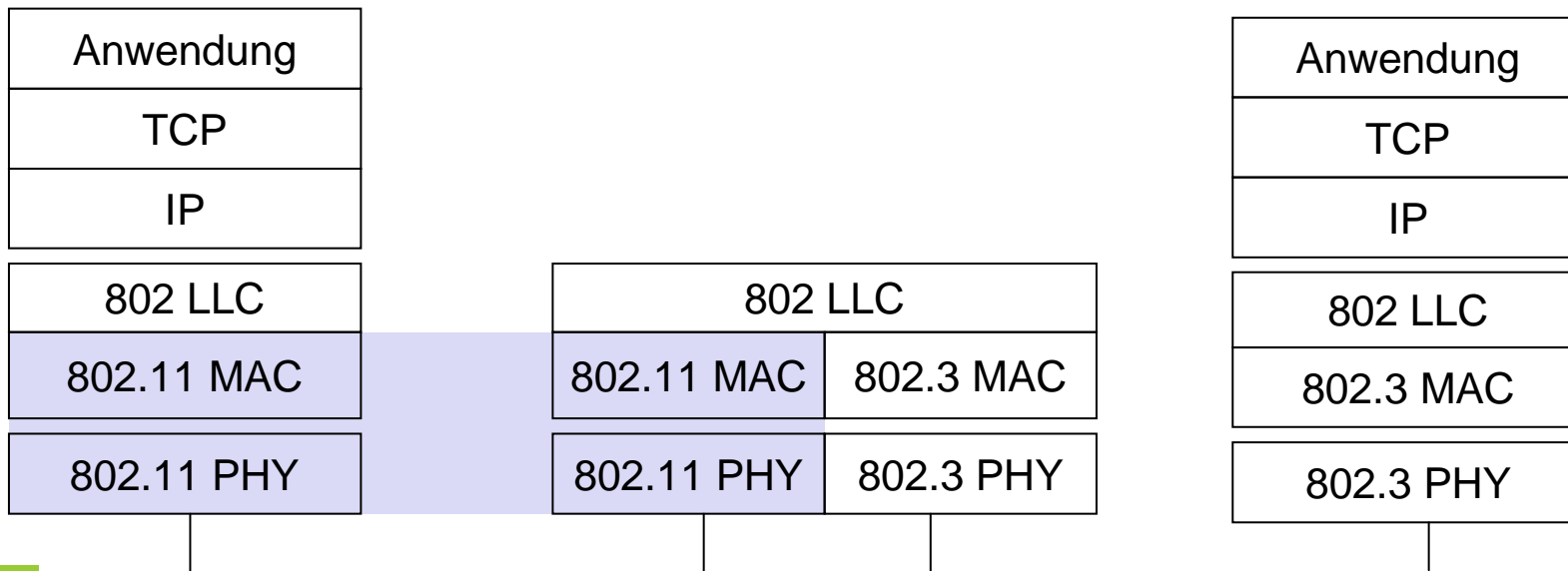
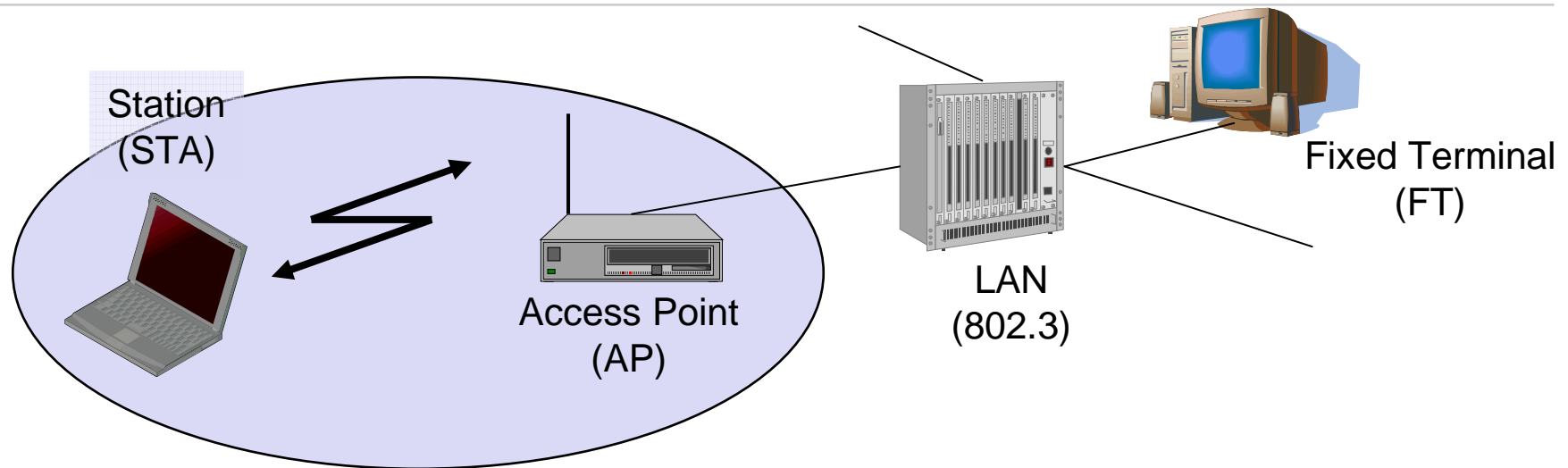
- Gruppe von Stationen, die dieselbe Funkfrequenz nutzen

Portal (z.B. Switch)

- Übergang in ein anderes Festnetz

Distribution System

- Verbindung verschiedener Zellen, um ein Netz (ESS: Extended Service Set) zu bilden



Einführung

- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a

Distributed Foundation Wireless MAC (DFWMAC)

- realisiert Medienzugriff auf verteilter Basis
- grundsätzlich „listen before talk“ Schema
- Medienzugriff ähnlich wie beim klassischen Ethernet
 - gemeinsames Medium für alle Geräte
 - gleichberechtigter Wettbewerb um den Medienzugriff

Zwei verschiedene Verkehrsarten

- Asynchroner Datendienst (standard)
 - DCF und RTS/CTS
 - Austausch von Datenrahmen auf „best-effort“-Basis, d.h. keine Garantien für maximale Latenzen und minimale Datenraten
 - Unterstützung von Broadcast und Multicast
- Zeitbeschränkte Dienste (optional)
 - implementiert über PCF (Point Coordination Function)
 - garantiert jeder Station einen Sendevorgang pro Superrahmen

■ DCF CSMA/CA (obligatorisch)

- Distributed Coordination Function (DCF) implementiert
⇒ „Carrier Sense Multiple Access with **Collision Avoidance**“ (CSMA/CA) Verfahren
- Abhören des Mediums vor Start des Sendevorganges
- Kollisionsvermeidung durch zufälligen „backoff“-Mechanismus
- Mindestabstand zwischen aufeinanderfolgenden Frames
- **obligatorische** Empfangsbestätigung durch ACK (nur bei Unicast)

■ DCF mit RTS/CTS (optional)

- vor dem Versand eines Nutzdaten-Frames „Request To Send“ (RTS)
- Empfänger antwortet mit „Clear To Send“ (CTS)
- Vermeidung des Problems der „hidden stations“

■ PCF (optional)

- Polling-Verfahren mit einer Liste im Access Point
- Unterteilung des Medienzugriffs in eine „contention free period“ (CFP) und eine „contention period“ (CP)
- Access Point übernimmt die Rolle eines zentralen Koordinations in der CFP

IEEE 802.11 definiert verschiedene Prioritäten beim Medienzugriff!

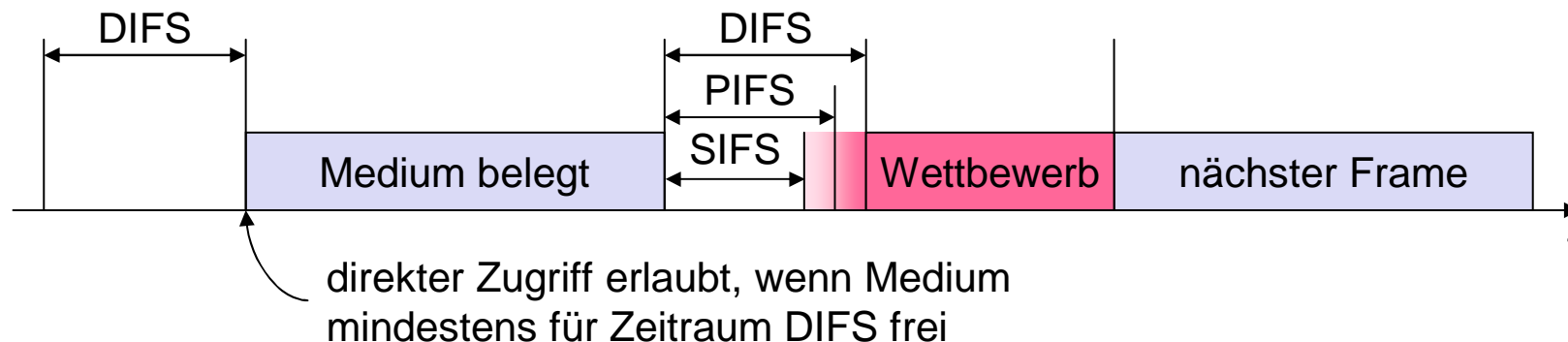
- Was bedeutet Priorisierung auf MAC-Ebene?
- Wofür könnte es die geben?
- Wie könnte man eine solche Priorisierung realisieren?

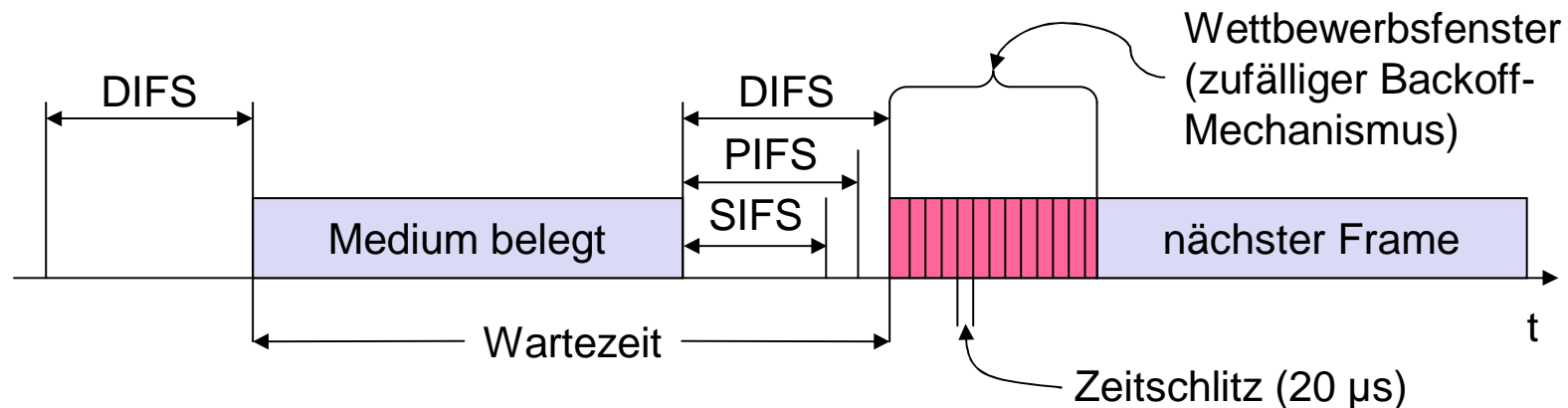
Prioritäten durch verschiedene Inter Frame Spaces (IFS)

- Prioritäten durch unterschiedlich lange Wartezeiten bis zum nächsten Zugriffsversuch implementiert
- keine Garantien bezüglich relativem Zugriffszeitpunkt oder verfügbarer Datenrate

Inter Frame Spaces (IFS)

- SIFS (Short IFS)
 - höchste Priorität, für ACK, CTS, Antwort auf Polling (PCF)
- PIFS (PCF IFS) = SIFS + 1 Slot Time
 - mittlere Priorität, für zeitbegrenzte Dienste mittels PCF
- DIFS (DCF IFS) = SIFS + 2 Slot Time
 - niedrigste Priorität, für asynchrone Datendienste



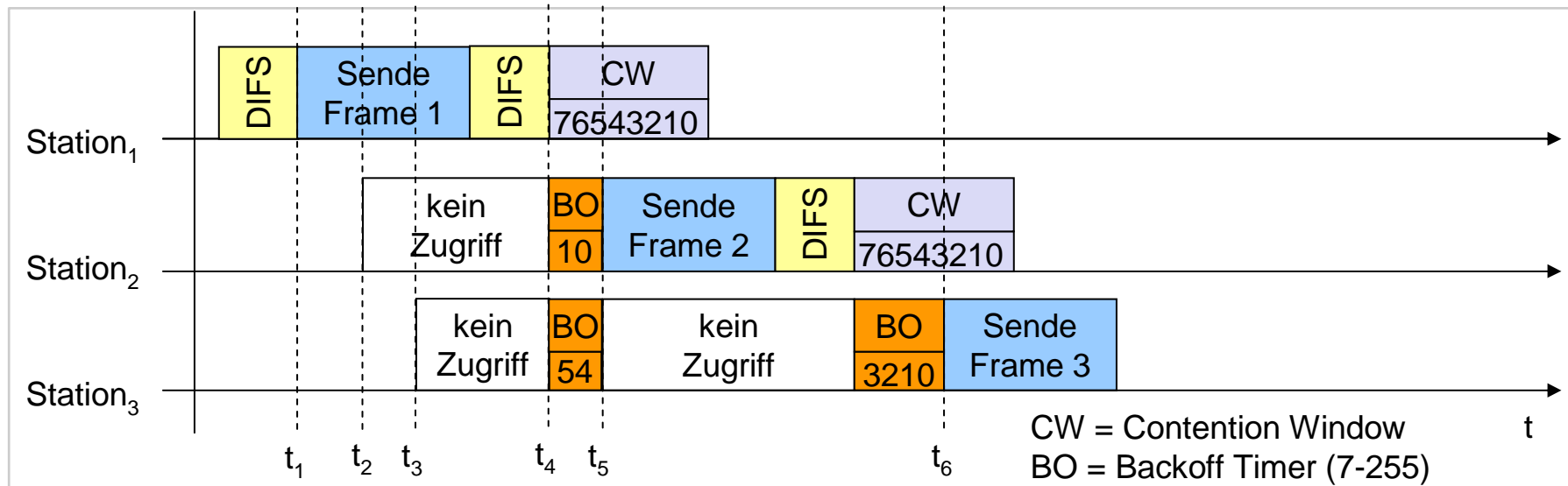


Ablauf

1. Sendewillige Station hört das Medium ab (Carrier Sense)
2. Ist das Medium für die Dauer eines Inter Frame Space (IFS) frei, wird gesendet (IFS je nach Sendart gewählt)
3. Ist das Medium belegt, wird auf das Freiwerden des Mediums, einen IFS und eine zufällige Backoff-Zeit gewartet. Wird das Medium während der Backoff-Zeit von einer anderen Station belegt, bleibt der Backoff-Timer so lange stehen, nach Ende des Sendevorganges Wiederholung von 2.

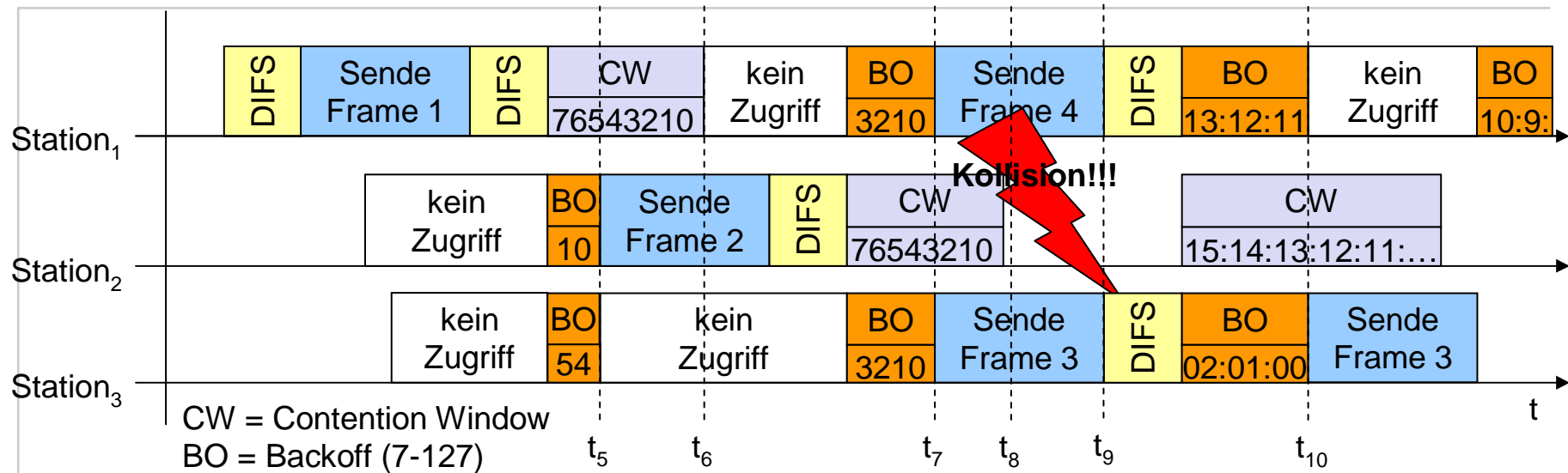
⇒ **Kollisionsvermeidung durch Backoff-Mechanismus**

IEEE 802.11 – CSMA/CA Stationen im Wettbewerb R | R | Z | N |



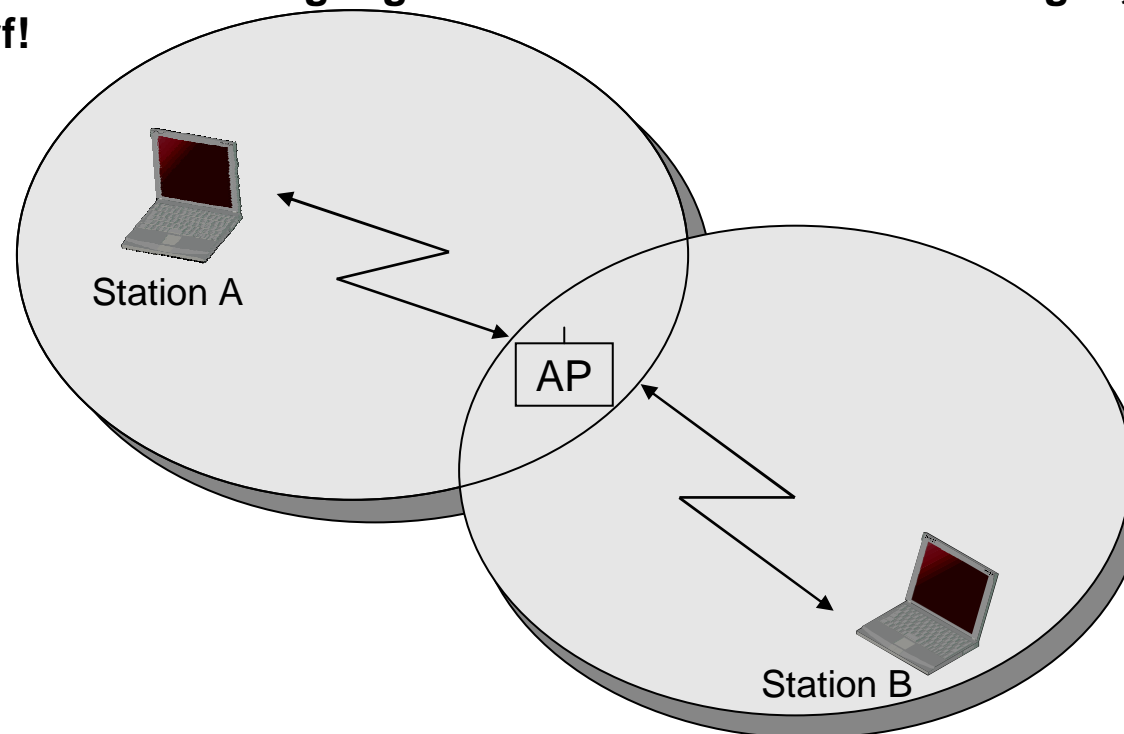
- t_1 Sta 1: Medium frei für eine Zeit $t = \text{DIFS}$, sende Frame 1
- t_2 Sta 2: Medium belegt, warte bis Medium frei für eine Zeit $t = \text{DIFS}$, Backoff Wert errechnen
- t_3 Sta 3: Medium belegt, warte bis Medium frei für eine Zeit $t = \text{DIFS}$, Backoff Wert errechnen
- t_4 DIFS abgelaufen, BO Timer starten
- t_5 Sta 2: Backoff Timer abgelaufen, sende Frame 2
- t_5 Sta 3: Medium belegt, halte Backoff Timer an, warte bis Medium frei für $t = \text{DIFS}$, BO Timer starten
- t_6 Sta 3: Backoff Timer abgelaufen, sende Frame 3

IEEE 802.11 – CSMA/CA Stationen im Wettbewerb R | R | Z | N |



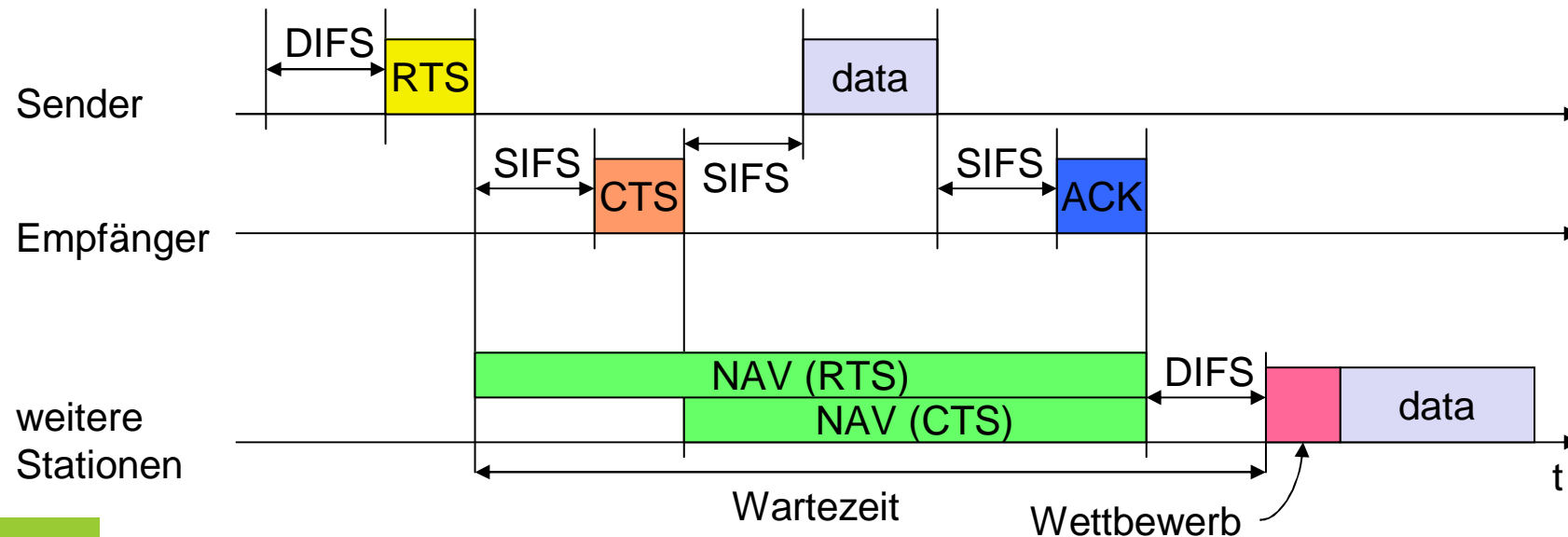
- t₅ Sta 3: Medium belegt, halte Backoff Timer an, warte bis Medium frei für t=DIFS, BO Timer starten
- t₆ Sta 1: Medium belegt, warte bis Medium frei für t = DIFS, Wert errechnen, BO Timer starten
- t₇ Sta 3: Backoff Timer abgelaufen, sende Frame 3
Sta 1: Backoff Timer abgelaufen, sende Frame 4
- t₈ Kollision! Diese wird erkannt durch ausbleibendes Ack!
- t₉ Sta 3: Kollision durch ausbleibendes ACK erkannt, warte bis Medium frei für t = DIFS, Wert errechnen, BO Timer starten
Sta 4: Kollision durch ausbleibendes ACK erkannt, warte bis Medium frei für t = DIFS, Wert errechnen, BO Timer starten
- t₁₀ Sta 3: Backoff Timer abgelaufen, sende Frame 3 erneut

- **Problem: Sta A hört Übertragungen vom AP, nicht aber von Sta B**
⇒ Kollisionsgefahr!
- **Ursache: z.B. Dämpfung durch Hindernisse (Mauern, Bäume, etc.) oder zu große Entfernungen zwischen Stationen**
- **Lösung: Vor einer Übertragung müssen sich die Stationen einigen, wer senden darf!**



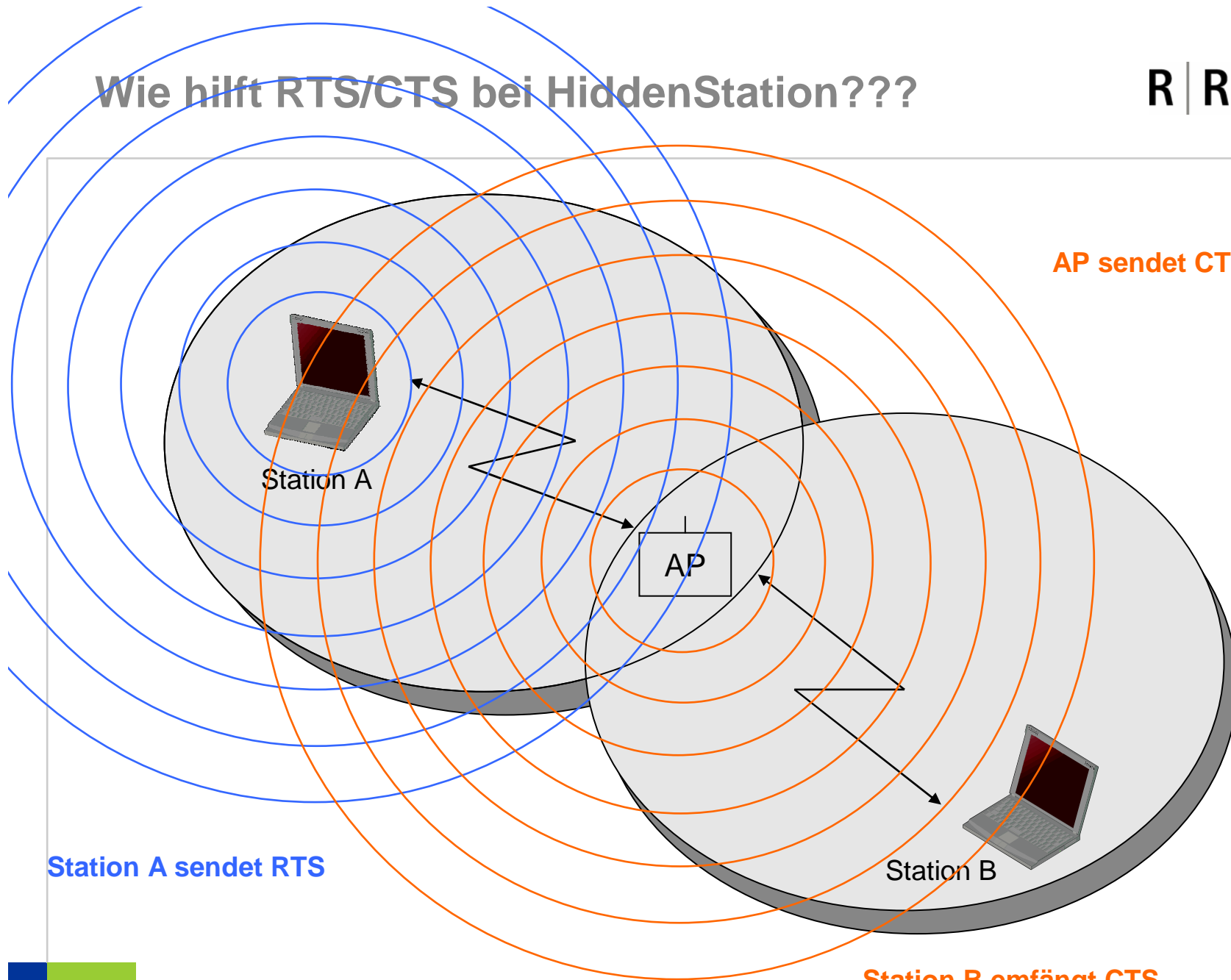
Nur für das Senden von Unicast-Rahmen

- 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 Belegungsdauer im NAV (Net Allocation Vector), die im RTS **und** CTS ausgesendet wurden
- RTS/CTS-Mechanismus vermeidet Hidden-Station Problem



Wie hilft RTS/CTS bei HiddenStation???

R | R | Z | N |



AP sendet CTS

Station A sendet RTS

Station B empfängt CTS

Ziel

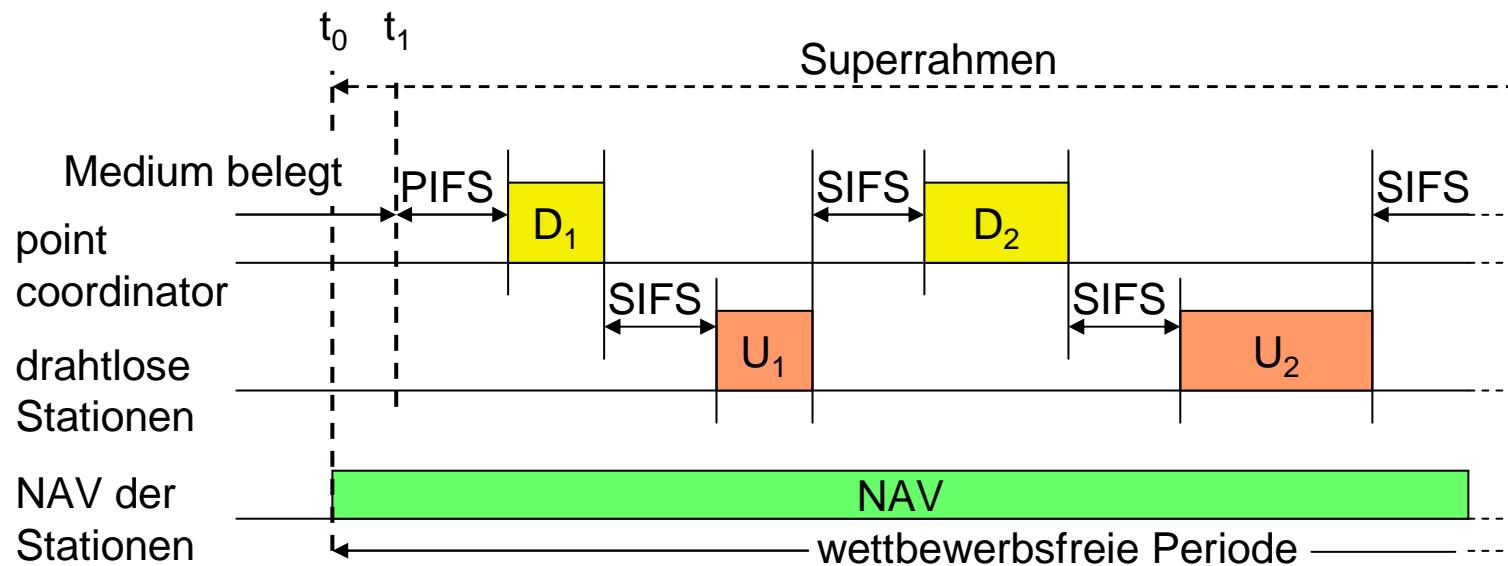
- Stationen wird Datenübertragung einmal pro CFP garantiert

Ablauf

- Unterteilung des Medienzugriffs in zwei Phasen
 - „contention free period“ (CFP) und „contention period (CP)
- Ein zentraler „point coordinator“ regelt den Medienzugriff in der CFP
- Andere Stationen müssen NAV setzen

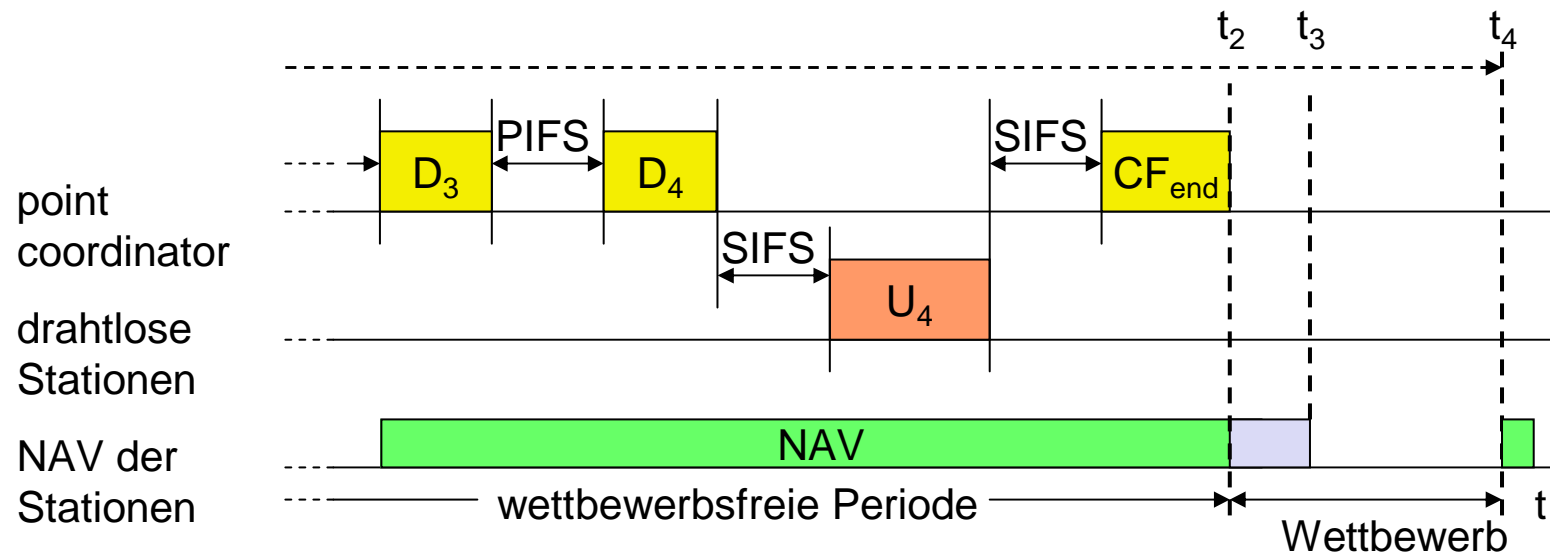
Aber

- Nicht präzise spezifiziert!
- Keine Unterstützung durch Produkte!



DFWMAC - Point Coordination Function (PCF) 2

R | R | Z | N |



Einführung

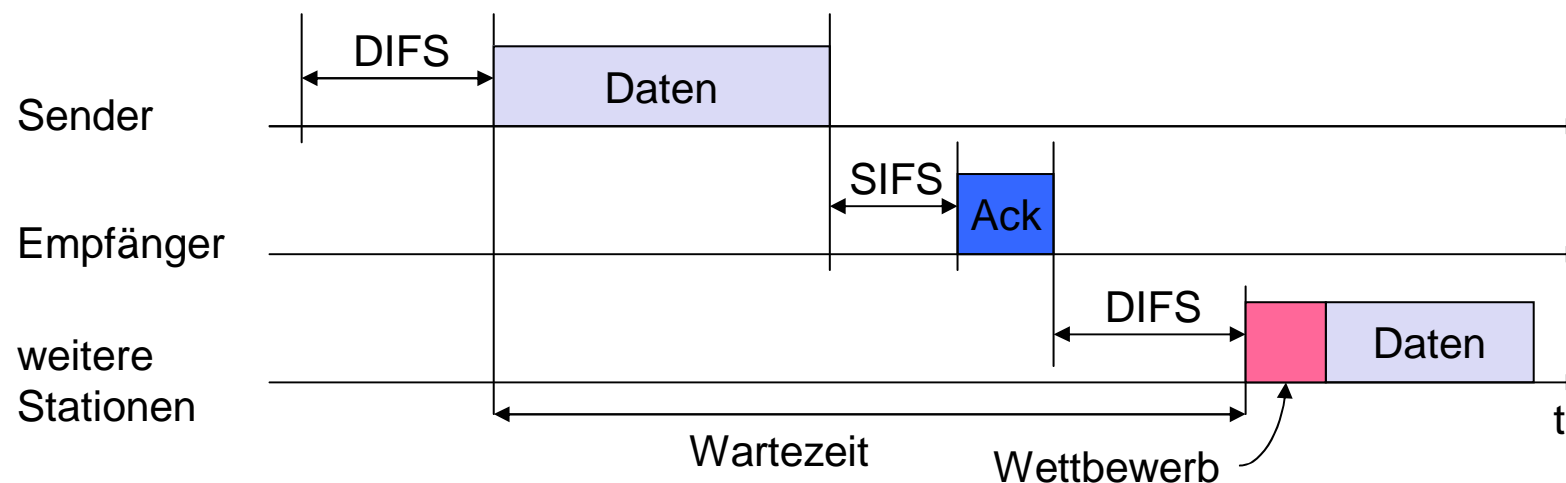
- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a
- weitere IEEE 802.11 Working Groups

Empfänger antwortet auf Unicast-Rahmen immer mit Ack-Rahmen

- Daten können nach Abwarten von DIFS gesendet werden
- Empfänger antworten sofort (nach SIFS) mit ACK, falls der Rahmen korrekt empfangen wurde
- im Fehlerfall wird der Rahmen automatisch wiederholt
 - d.h. bei Ausbleiben der Bestätigung am Sender

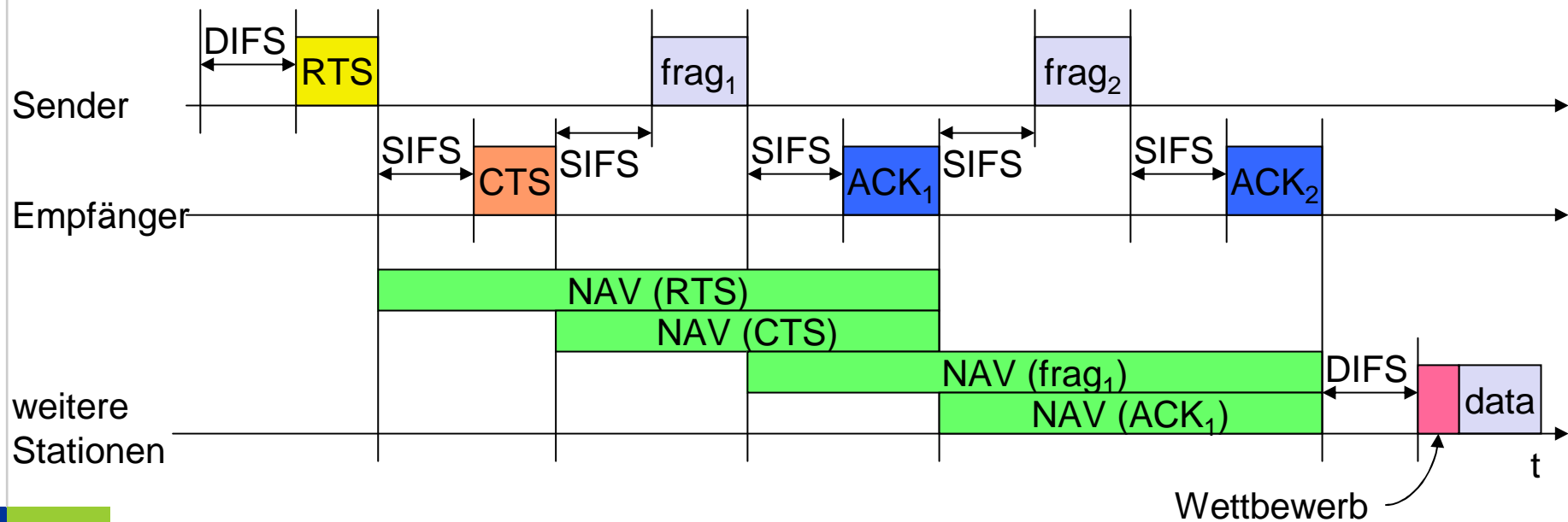


Ziel

- Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für eine fehlerfreie Übertragung

Ablauf

- Unterteilen der Rahmen in Fragmente, die einzeln bestätigt werden
- Senden der Fragmente unmittelbar hintereinander (keine Wettbewerbsphase)
- weitere Stationen setzen NAV nach jeder Nachricht

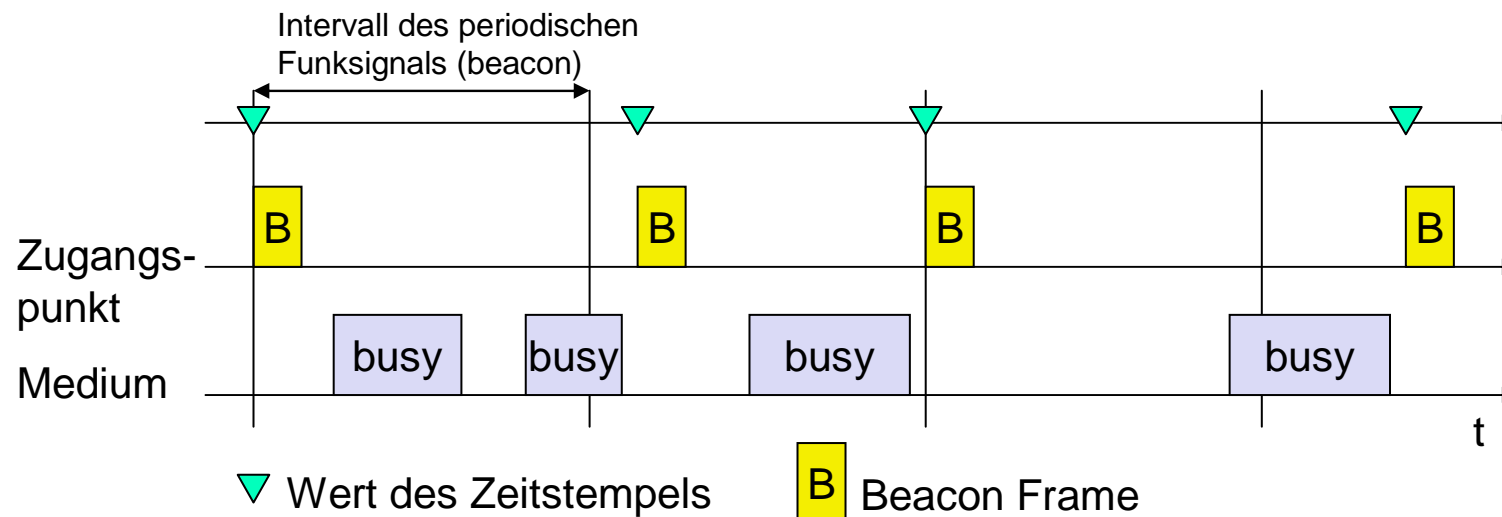


Ziel der Timing Synchronization Function (TSF)

- Timer-Synchronisierung der Endgeräte für den Frequenzwechsel (802.11 FHSS)
- Unterstützung der PCF (Beginn der Contention Free Period)
- Unterstützung der Stromsparfunktionen

Ablauf

- Access-Point sendet in (un-)regelmäßigen Abständen Beacon Frames aus
- Wenn das Medium belegt ist, wird die Aussendung entsprechend verschoben
- Empfänger synchronisieren sich mit dem Takt des APs

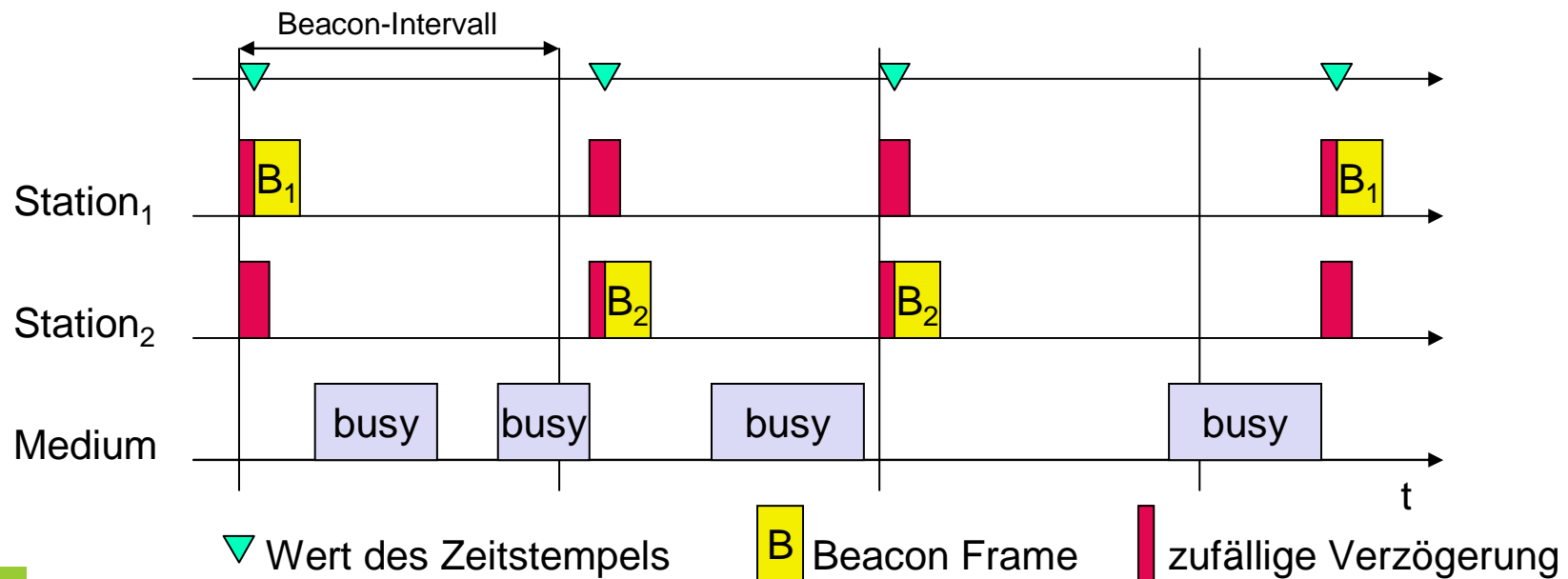


Ziel der Timing Synchronization Function (TSF)

- Timer-Synchronisierung der Endgeräte für den Frequenzwechsel (802.11 FHSS)
- Unterstützung der Stromsparfunktionen

Ablauf

- Stationen senden in (un-)regelmäßigen Abständen Beacon Frames aus
- wenn das Medium belegt ist, wird die Aussendung entsprechend verschoben
- Empfänger synchronisieren sich auf einen gemeinsamen Takt



Idee

- Strom sparen durch Ausschalten der Sende/Empfangseinheit wenn nicht benötigt

Zustände einer Station

- schlafend und wach

Timing Synchronization Function (TSF)

- sicherstellen, 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

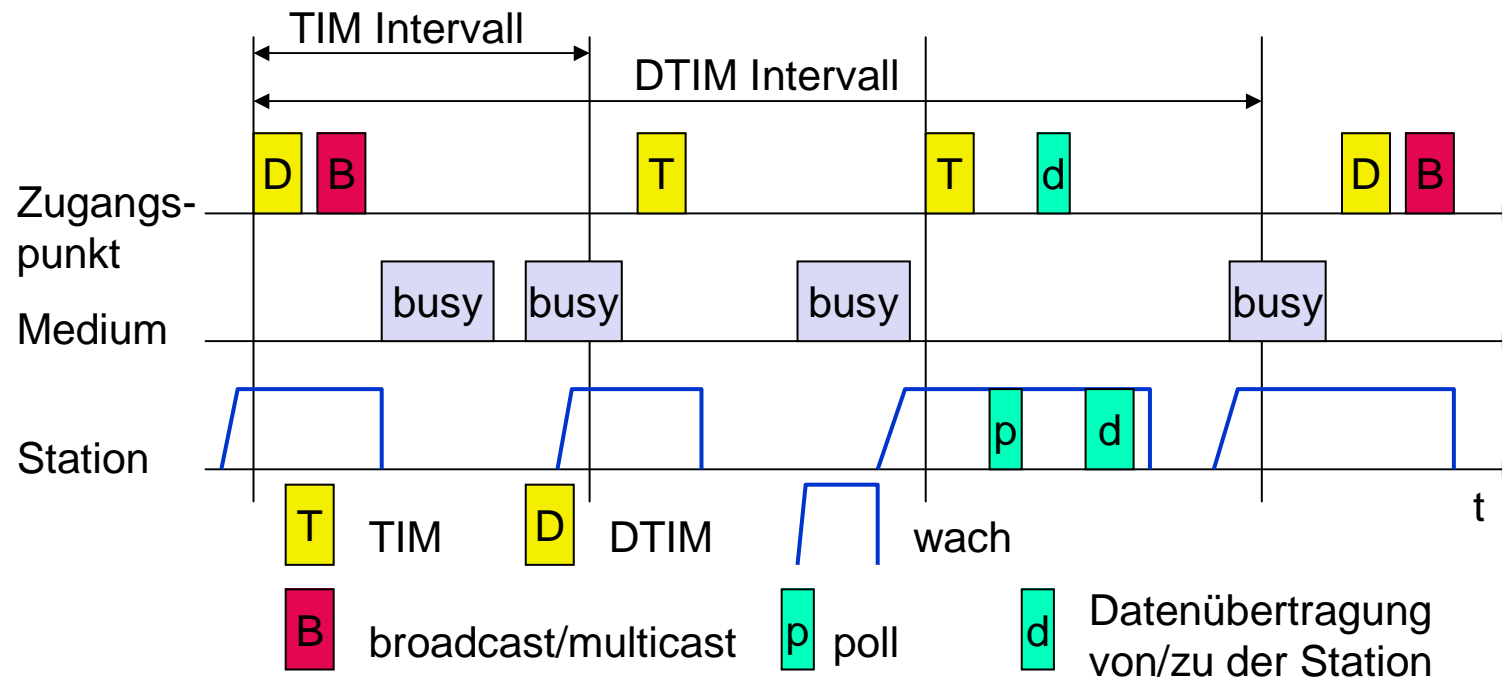
- Ad-hoc Traffic Indication Map (ATIM)
 - Bekanntmachung von Empfängern zwischengespeicherter Rahmen durch die speichernden Stationen
 - komplexer, da kein zentraler AP vorhanden
 - Kollisionen von ATIMs möglich (Skalierbarkeit?)

(Delivery) Traffic Indicator Map (TIM/DTIM)

- wird regelmäßig durch AP im Beacon Frame übertragen
- darin werden die Stationen angekündigt, für die Daten vorliegen

Abhören des Beacons

- Stationen wachen regelmäßig auf und hören das Beacon ab
- Synchronisation mit dem AP erfolgt über Traffic Synchronization Function (TSF)
- wenn Datenrahmen für eine Station vorliegen, kann sie diese mittels Polling anfordern
- wenn Rahmen zum Versenden vorliegen, können diese ebenfalls in der Wachperiode übermittelt werden.



Beacon Frame

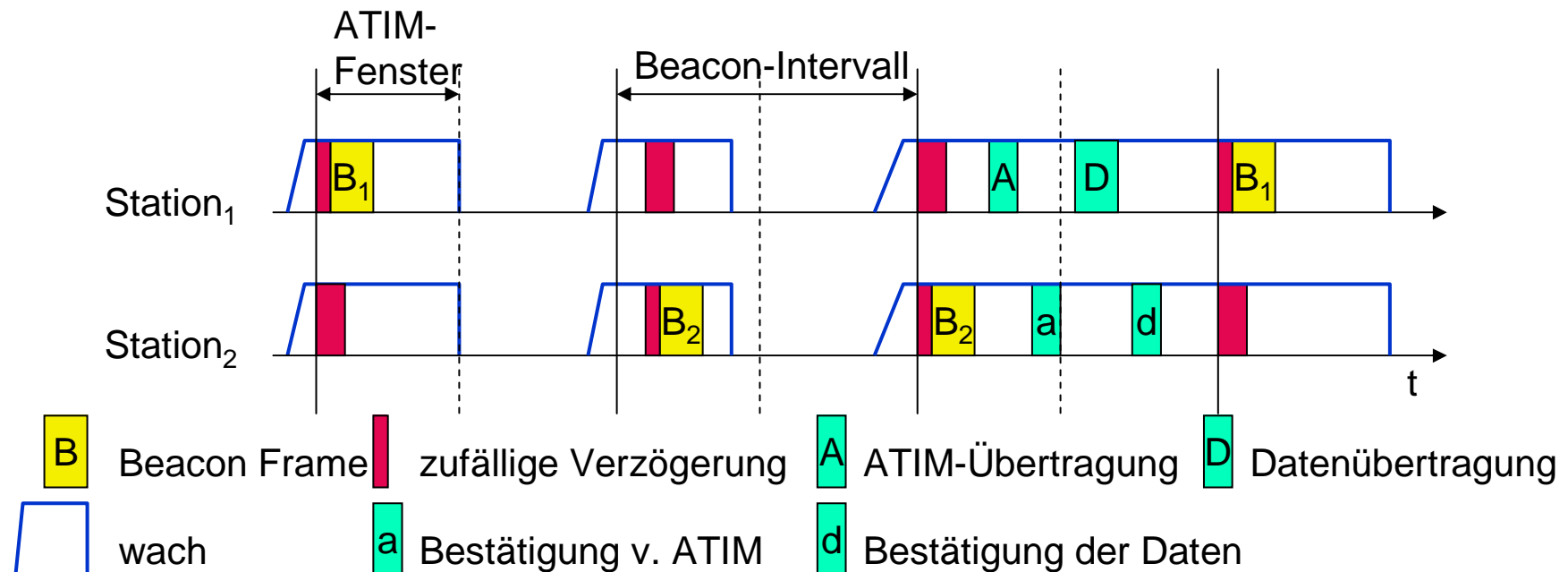
- wird regelmäßig durch die Stationen im CSMA/CA-Verfahren übertragen

ATIM-Frame

- werden direkt nach dem Beacon im Unicast-Verfahren (CSMA/CA-Verfahren) übertragen
- darin wird dem Empfänger angekündigt, daß Daten für ihn vorliegen

Ablauf

- Stationen wachen regelmäßig auf und hören das Beacon und die ATIMs ab
- wenn Datenrahmen für eine Station vorliegen, kann sie diese mittels Polling anfordern



Keine oder schlechte Verbindung? - Dann:

Scanning

- Medium nach Beacon Frame von APs abhören (passiver Scan)
- Probe ins Medium (auf jedem Kanal) senden und Antwort abwarten (aktiver Scan)

Reassociation Request

- Station sendet Anfrage an APs

Reassociation Response

- bei Erfolg, d.h. ein AP hat geantwortet, nimmt Station nun teil
- bei Misserfolg weiterhin Scanning

AP akzeptiert Reassociation Request

- anzeigen der neuen Station an das Distribution System
- Distribution System aktualisiert Datenbestand (d.h. wer ist wo)
- normalerweise wird alter AP vom Distribution System informiert

Typen

- Steuerrahmen, Management-Frame, Datenrahmen

Sequenznummern

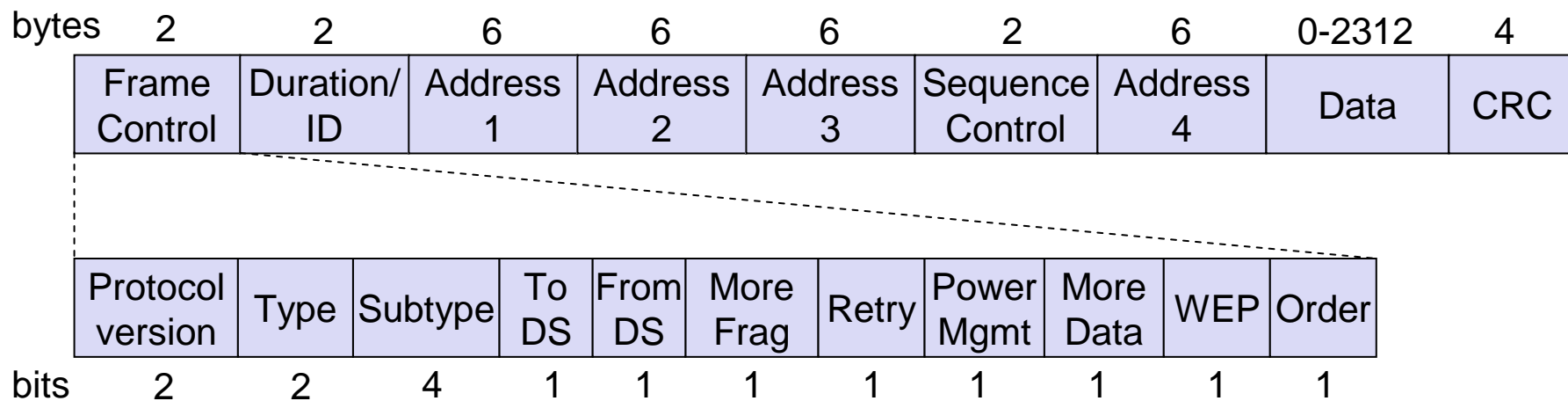
- wichtig für duplizierte Rahmen aufgrund verlorengegangener ACKs

Adressen

- Empfänger (phy), Sender (phy), BSS Identifier, Sender (logisch)

Sonstiges

- Sendedauer, Prüfsumme, Rahmensteuerung, Daten



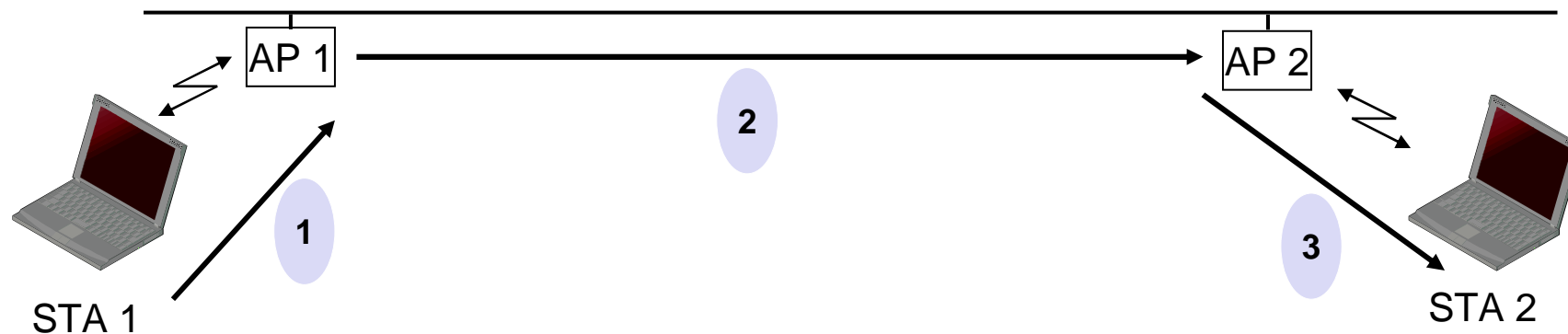
TO DS	FROM DS	ADDRESS 1	ADDRESS 2	ADDRESS3	ADDRESS 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Legende:

- TO DS: MAC Header Feld „To Distribution System“ (s. Folie 36)
- FROM DS: „From Distribution System“
- ADDRESS 1: physikalischer Empfänger des Rahmens
- ADDRESS 2: physikalischer Sender des Rahmens
- ADDRESS 3: Wenn „FROM DS“ gesetzt, dann logischer Sender, wenn „TO DS“ gesetzt, dann Empfänger des Rahmens
- ADDRESS 4: logischer Sender, wenn „TO DS“ **und** „FROM DS“ gesetzt sind

MAC addresses in a nutshell - Beispiel

R | R | Z | N |

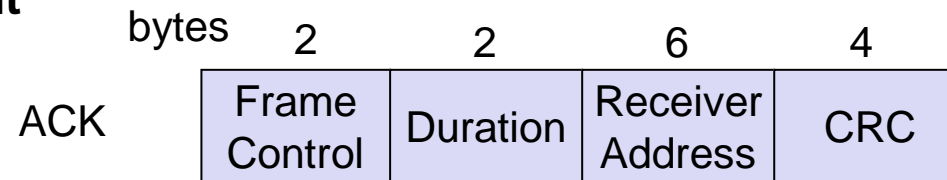


1	Frame Control	Duration/ID	AP1	STA 1	STA2	Sequence Control		Data	CRC
2	Frame Control	Duration/ID	AP2	AP 1	STA2	Sequence Control	STA 1	Data	CRC
3	Frame Control	Duration/ID	STA 2	AP 2	STA 1	Sequence Control		Data	CRC

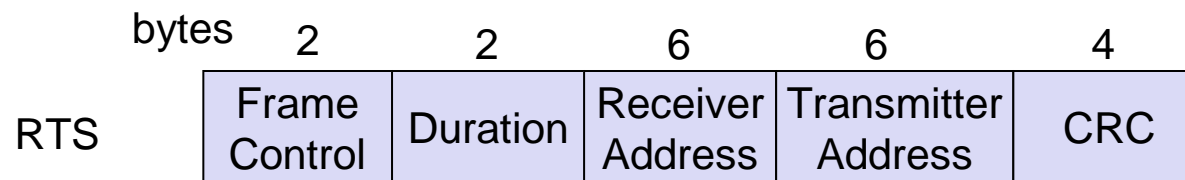
Spezielle Rahmen: ACK, RTS, CTS, Beacon

R | R | Z | N |

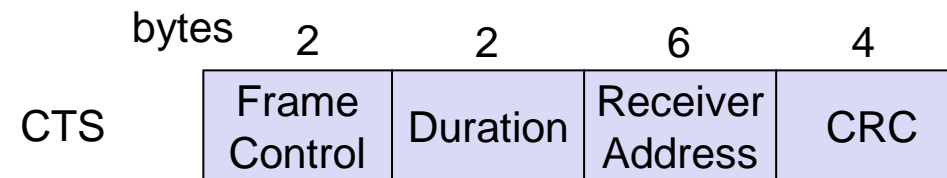
Acknowledgement



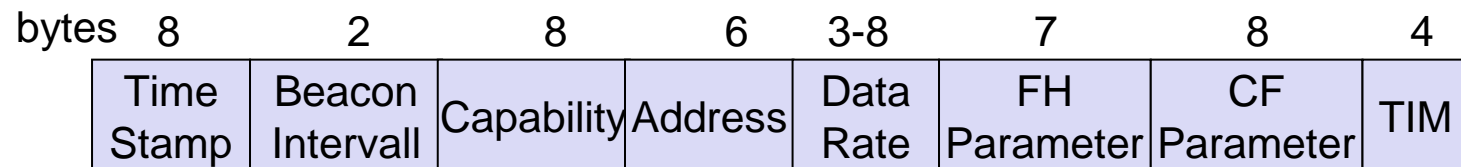
Request To Send



Clear To Send



Beacon Frame



Einführung

- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a
- weitere IEEE 802.11 Working Groups

MAC

- Zugriffsmechanismus, Fragmentierung, Verschlüsselung

MAC Management

- Synchronisierung, Roaming, Power Management

PLCP

- Carrier Sense durch Clear Channel Assessment (CCA) Signal

PMD

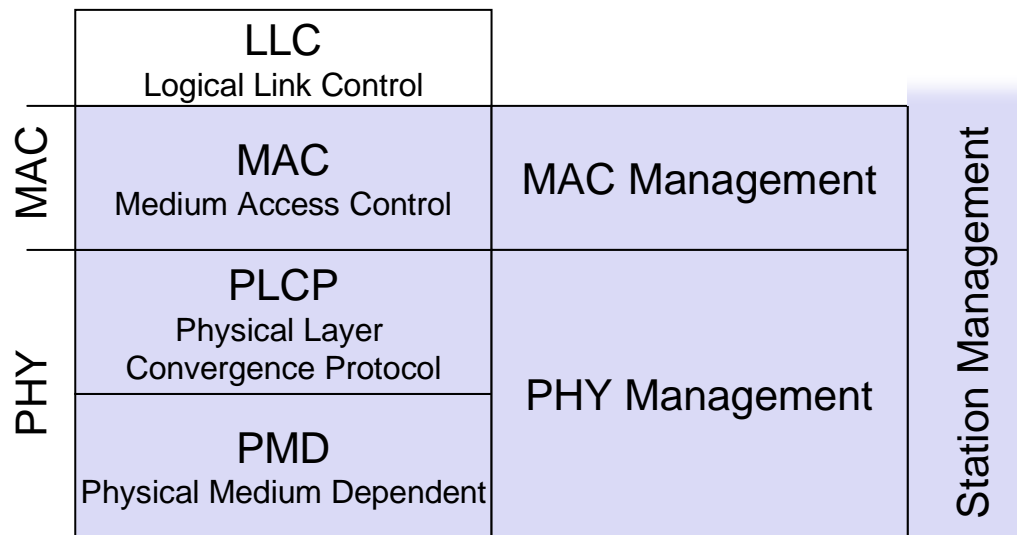
- Modulation, Codierung

PHY Management

- Kanalwahl

Station Management

- Koordination der Management-Funktionen



3 Varianten: 2 Funk (2,4 GHz-Band), 1 Infrarot

- Datenrate 1 bzw. 2 Mbit/s

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- nur 1 Mbit/s
- min. 2,5 Frequenzwechsel/s (USA), 2-stufige GFSK-Modulation (Gaussian Frequency Shift Keying)

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

- DBPSK-Modulation für 1 Mbit/s (Differential Binary Phase Shift Keying), DQPSK für 2 Mbit/s (Differential Quadrature PSK)
- Präambel eines Frames immer mit 1Mbit/s, dann evtl. umschalten
- max. Sendeleistung 1 W (USA), 100 mW (EU), min. 1 mW

Infrarot

- 850-950 nm, diffuses Licht, typ. 10 m Reichweite
- Trägererkennung, Energieerkennung, Synchronisation

Datenraten

- 1, 2, 5.5, 11 Mbit/s, abhängig von SNR
- Nutzdatenrate max. ca. 6 Mbit/s

Modulationsverfahren

- Complementary Code Keying (CCK) + Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK)

Kommunikationsbereich

- 300 m Außen-, 30 m Innenbereich
- max. Datenrate bis ~10 m (in Gebäuden)

Frequenzbereich

- freies 2.4 GHz ISM-Band

Sicherheit

- begrenzt, WEP unsicher, SSID

Verwaltbarkeit

- begrenzt (keine automatische Schlüsselverteilung, symmetrische Verschlüsselung)

Vorteile

- viele installierte Systeme
- große Erfahrung
- weltweite Verfügbarkeit
- freies ISM-Band,
- integriert in Laptops
- einfaches System

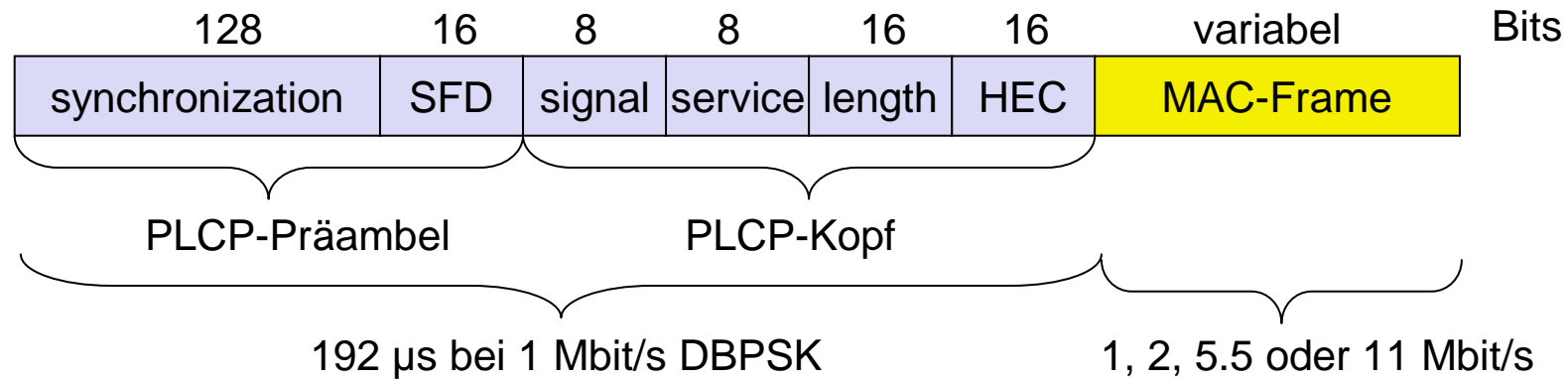
Nachteile

- starke Störungen auf dem 2,4 GHz ISM-Band
- keine Dienstgüte
- relativ niedrige Datenraten

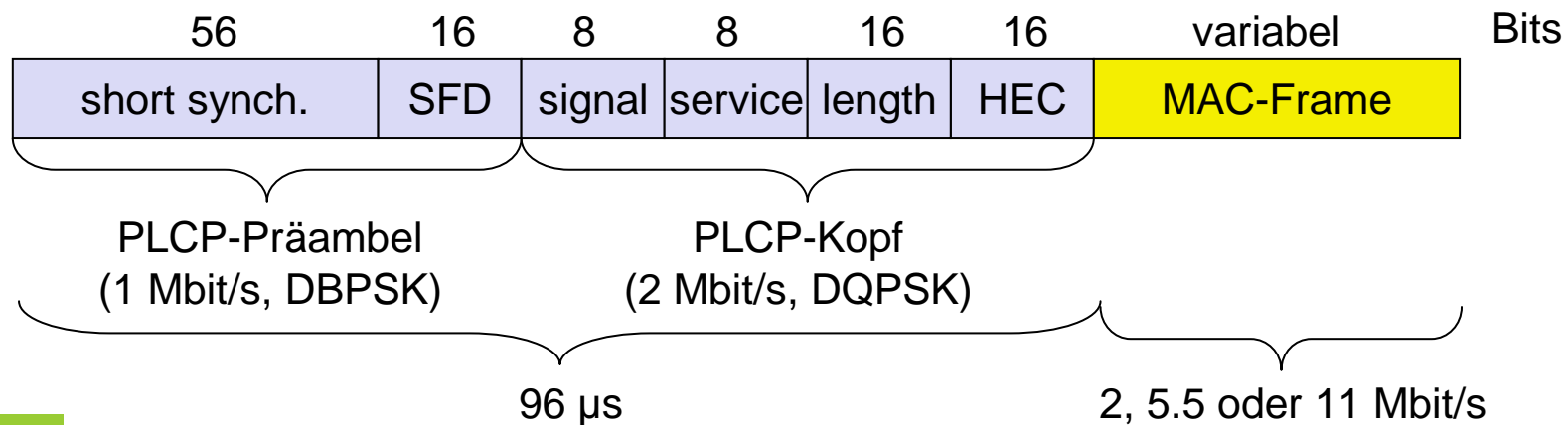
Verfügbarkeit

- viele Produkte, viele Anbieter

Langes PLCP-PPDU-Format

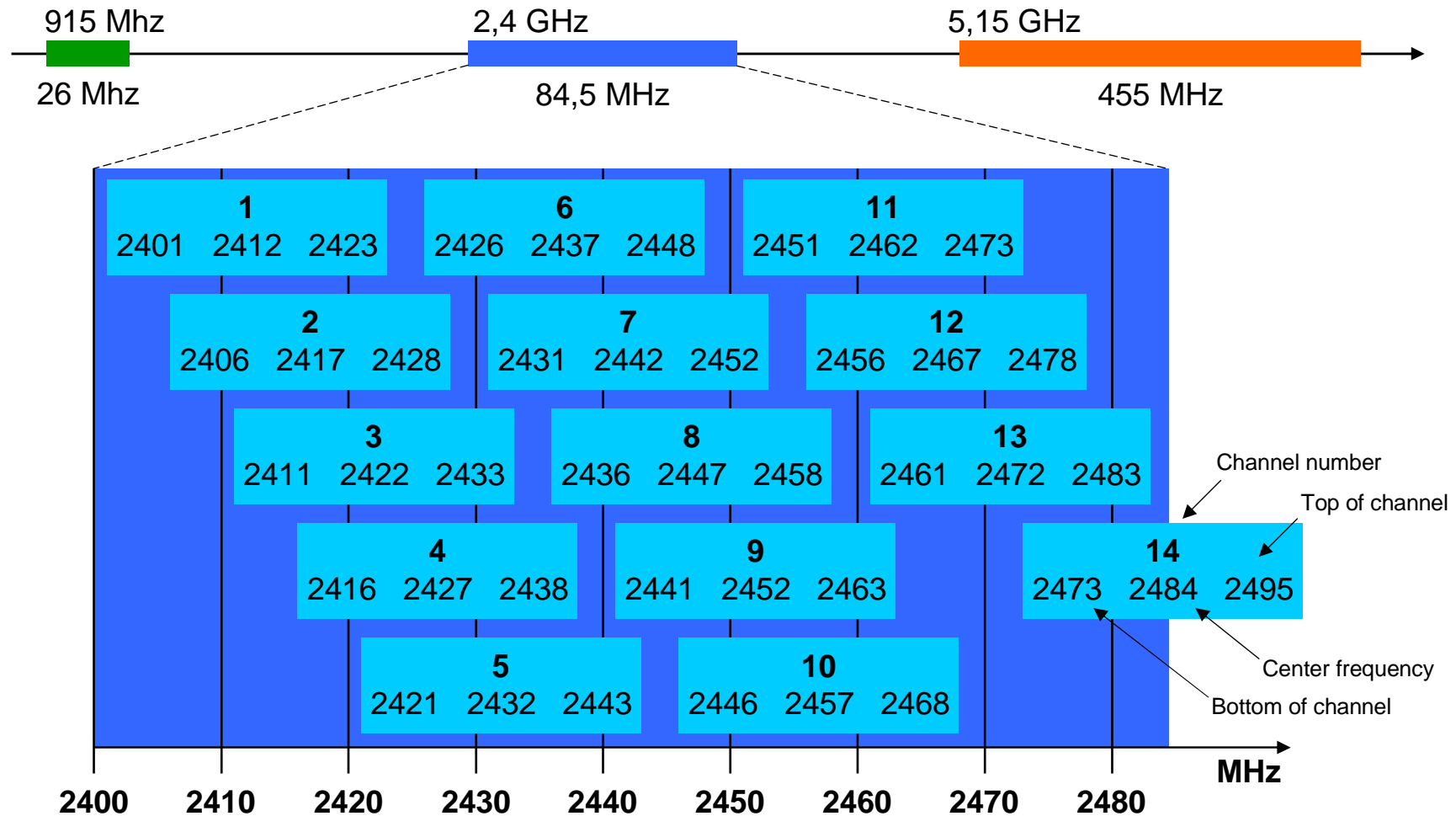


Kurzes PLCP-PPDU-Format (optional)



IEEE 802.11b - Nicht überlappende Kanalwahl

R | R | Z | N |



Datenraten

- 6, 12, 24 Mbps (verpflichtend) und 18, 36, 48, 54 Mbps (optional)
- abwärtskompatibel zu 802.11b

Modulationsverfahren

- Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

Kommunikationsbereich

- 300 m Außen-, 30 m Innenbereich
- max. Datenrate bis ~10 m (in Gebäuden)

Frequenzbereich

- freies 2.4 GHz ISM-Band

Sicherheit

- S. 802.11b

Verwaltbarkeit

- s. 802.11b

Vorteile

- (kompatibel zu) viele(n) installierte(n) Systeme(n)
- s. 802.11b

Nachteile

- evtl. Störungen durch 802.11b Geräte in der gleichen BSS (short preamble)
- Verringerung der Datenrate durch „Protection“-Modus
- s. 802.11b

Verfügbarkeit

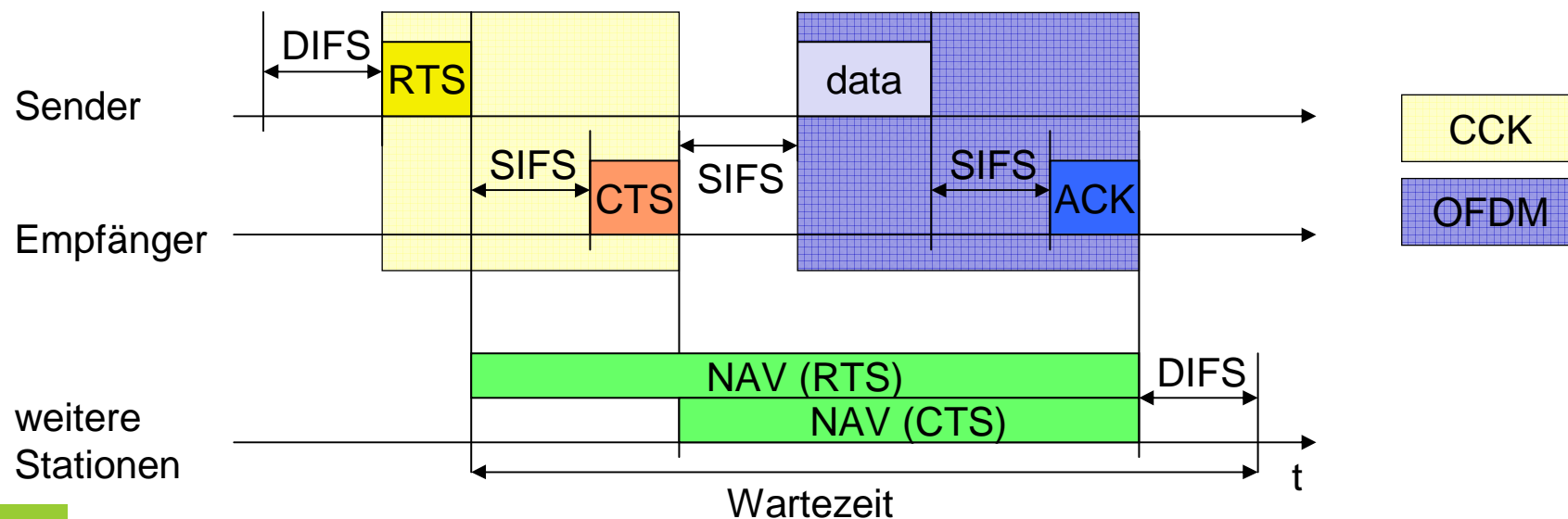
- s. 802.11b

Ziel

- gemischter Betrieb von 802.11g und 802.11b Geräten in einer Funkzelle

Verfahren

- Verwendung von RTS/CTS zur Ankündigung von Übertragungen
- RTS/CTS wird 802.11b (CCK-Modus) kompatibel übertragen
- wenn Destination 802.11g kompatibel ist, mittels OFDM-Kodierung



IEEE 802.11g – „Protection“-Mechanismus 2

**Gesamtdurchsatz (geschätzt) eines 802.11b/g Netzes im „Protection“-Modus in Mbps
(Quelle: commsdesign.com)**

- bei variabler Anzahl von Klienten
- incl. TCP/IP Overhead und 15% Abzug für sonstigen Overhead

10	5.9	6.2	6.5	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2
9	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.3
8	5.9	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.7	8.0	8.2	8.4	8.5
7	5.9	6.3	6.7	7.1	7.4	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6	8.8
6	5.9	6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.2	8.4	8.7	8.9	9.1
5	5.9	6.5	7.0	7.4	7.8	8.2	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4
4	5.9	6.6	7.2	7.7	8.2	8.5	8.9	9.2	9.4	9.6	9.8
3	5.9	6.8	7.6	8.2	8.7	9.1	9.4	9.7	9.9	10.2	10.4
2	5.9	7.2	8.2	8.9	9.4	9.8	10.2	10.4	10.7	10.9	11.1
1	5.9	8.2	9.4	10.2	10.7	11.1	11.3	11.6	11.7	11.9	12.0
0	0.0	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1	22.1
Zahl der 802.11b Clients	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Zahl der 802.11g Clients										

Datenraten

- 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s, abhängig von SNR
- Nutzdatenrate(1500 byte Rahmen): 5,3 (6), 18 (24), 24 (36), 32 (54)
- 6, 12, 24 Mbit/s verpflichtend

Modulationsverfahren

- Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

Kommunikationsbereich

- 100 m Außen-, 10 m Innenbereich, z.B. 54 Mbit/s bis 5 m, 48 bis 12 m, 36 bis 25 m, 24 bis 30 m, 18 bis 40 m, 12 bis 60 m

Frequenzbereich

- freies 5.15-5.25, 5.25-5.35, 5.47-5.725 GHz (Europa) ISM-band

Sicherheit

- begrenzt, WEP unsicher, SSID

Verwaltbarkeit

- begrenzt (keine automatische Schlüsselverteilung, symmetrische Verschlüsselung)

Vorteile

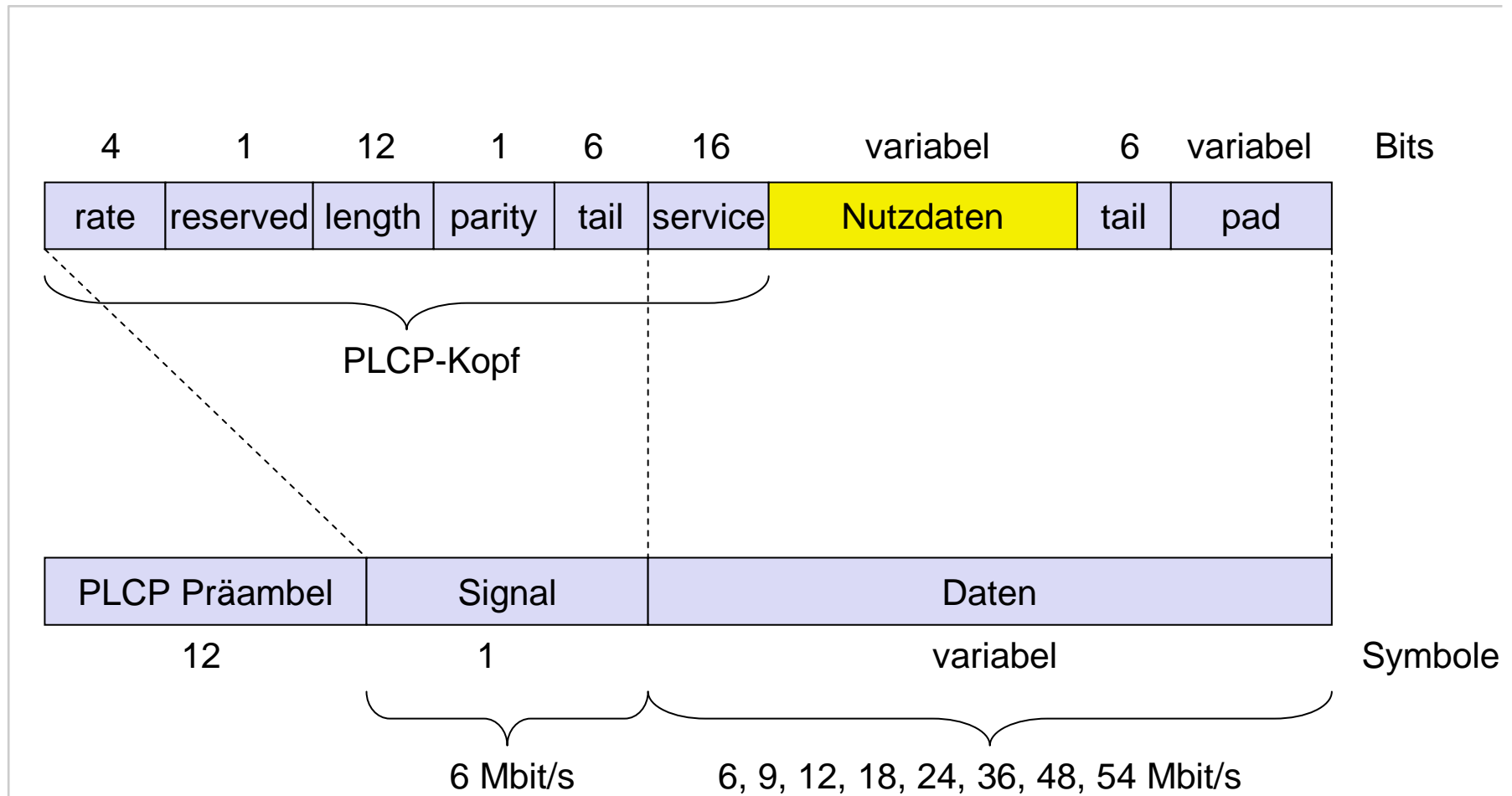
- verfügbar und einfach
- passt in das 802.x System
- freies ISM-Band
- nutzt das (noch) freiere 5 GHz Band
- 24 (USA), 19 (Deutschland) überlappungsfrei nutzbare Kanäle

Nachteile

- Nutzung in Europa nur unter Auflagen (TPC, DFS) oder reduzierter Sendeleistung erlaubt
- stärkere Abschattung (=geringere Reichweite) auf Grund der höheren Frequenz => höhere Zahl von APs (=höhere Kosten)
- keine Dienstgüte

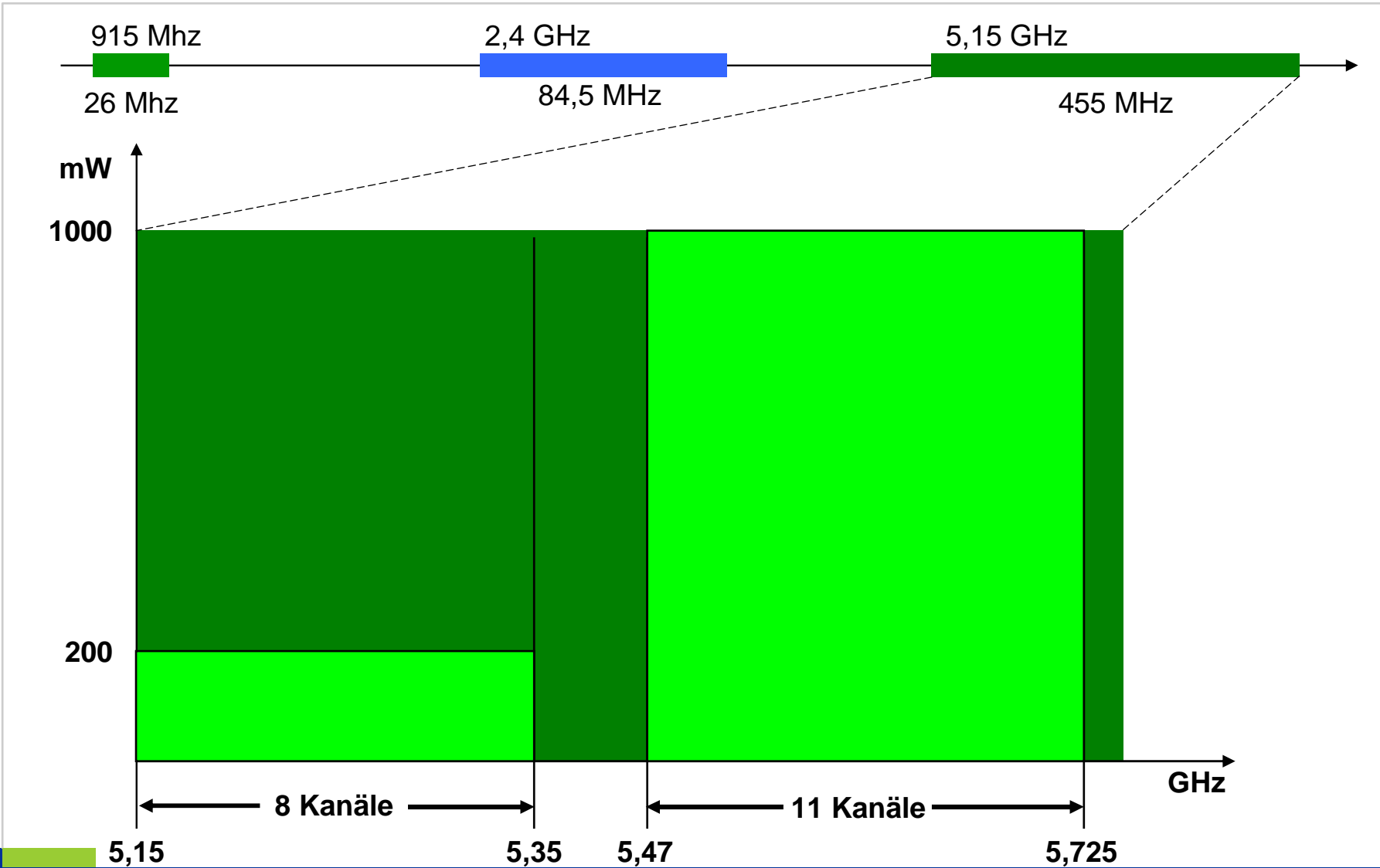
Verfügbarkeit

- einige Produkte, einige Firmen



IEEE 802.11a/h – Frequenzband (Europa)

R | R | Z | N |



802.11d: Regulatory Domain Update - fertig gestellt

- Übertragung von Country Code, erlaubten Kanälen und Übertragungsleistung durch die APs

802.11e: MAC Enhancements – QoS

- Erweiterung der aktuellen 802.11 MAC um Unterstützung für Anwendungen mit Dienstgütereigenschaften, Effizienzsteigerungen, neue Merkmale

802.11f: Inter-Access Point Protocol – in Arbeit

- Standardisierung eines Protokolls zum Datenaustausch zwischen den Zugangspunkten (über das Verteilungssystem hinweg) zur Sicherstellung der Kompatibilität über Herstellergrenzen hinweg

802.11g: Datenraten bis 54 Mbit/s mit OFDM – fertig gestellt

802.11h: Spectrum Managed 802.11a

- Unterstützung von Transmit Power Control (TPC) und Dynamic Frequency Selection (DFS)

802.11i: Erweiterte Sicherheitsmechanismen

- Verbesserungen der 802.11 MAC um eine höhere Sicherheit zu gewährleisten
- Mit geringfügigen Änderungen als WPA2 von Wi-Fi Alliance standardisiert

802.11n: Höhere Datenraten – in Arbeit

- Einsatz von MIMO-Technik (Multiple Input, Multiple Output) und breiteren Frequenzbändern

802.11r: Fast Roaming – in Arbeit

Jochen Schiller. *Mobilkommunikation*. 2. überarbeitete Auflage, 2003, Pearson Studium, München.

http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/resources/MC_material.htm

Einführung

- Charakteristika
- Einsatzgebiete

IEEE 802.11

- 802.11 Architektur
- MAC-Layer
 - Medienzugriffsverfahren
 - Bestätigungsmechanismus
 - Fragmentierung
 - Synchronisation der Stationen
 - Energiesparverfahren
 - MAC-Rahmenformat
- PHY-Layer
 - IEEE 802.11, 802.11b, 802.11g, 802.11a
- weitere IEEE 802.11 Working Groups