TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Informatik | Institut Systemarchitektur | Professur Rechnernetze

WS 2016/2017
LV Rechnernetzpraxis

7. Netzwerktechnologien (Teil2) Funknetzwerke

Dr. rer.nat. D. Gütter

Mail: Dietbert.Guetter@tu-dresden.de
WWW: http://www.guetter-web.de/education/rnp.htm

22.11.2016

Funknetze – Übersicht

Technologien

- Funktelefonie, wird an dieser Stelle nicht behandelt
  z.B. DECT, …GSM, …, UMTS, …
- …
- WPAN (Wireless Personal Area Network)
  IEEE 802.15 Bluetooth
- WLAN (Wireless Local Area Network)
  IEEE 802.11
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)
  IEEE 802.16

lizenz- und kostenfreie Frequenzbereiche

Nationale Besonderheiten: Deutschland, Japan, Frankreich, …

Deutschland: Zuteilung durch **Bundesnetzagentur**

- Frequenzbereiche (DE)
  - 2,4 GHz-ISM-Band (Industrial-Scientific-Medical-Band)
    Belegung der Frequenzbereiche durch WLAN,
    aber auch DECT, Bluetooth, Mikrowellengeräte, …

    → gegenseitige Störungen unvermeidlich
    (Bitfehlerwahrscheinlichkeiten
    mehrere Zehnerpotenzen schlechter als bei Kabelübertragungen)
  - 5 GHz-Band
    Belegung der Frequenzbereiche durch Primärnutzer (Radar, …)
    und Sekundärnutzer (WLAN, …)

    Primärnutzung darf nicht gestört werden (!!!)
- Sendeleistung reglementiert

  Reichweite nicht reglementiert
  Überschreitung von Grundstücksgrenzen möglich

Maximal zulässige Sendeleistungen EIRP

2,4 GHz-ISM-Band	2400 – 2483,5 MHz	
ETSI EN 300328	200 mW (bzw. 23 dBm)	
5 GHz-Band	5150 – 5250 MHz	Subband 1a
	5250 – 5350 MHz	Subband 1b
	5470 – 5725 MHz	Subband 2

ETSI EN 301893

- falls Implementierung von TPC (Transmission Power Control) und DFS (Dynamic Frequency Selection)

Subband 1a und Subband 1b	200 mW (bzw. 23 dBm) nur innerhalb von Gebäuden zugelassen
Subband 2	1000 mW (bzw. 30 dBm)

- falls TPC und DFS nicht implementiert

nur Subband 1a	50 mW (bzw. 17 dBm) nur innerhalb von Gebäuden zugelassen

Maximal zulässige Sendeleistungen EIRP

TPC (Transmission Power Control)

- Automatische Regulierung der Sendeleistung
  Stationen tauschen Informationen über Sendeleistungen aus
  und versuchen diese zu minimieren.

DFS (Dynamic Frequency Selection)

- WLAN Access Point
  wählt Kanäle aus, die nicht durch Primärnutzer belegt sind
  und sendet Kanalfreigabe (für 24 h)an untergeordnete Stationen.
- Alle WLAN Stationen müssen Primärnutzerkontrolle durchführen
  und bei Erkennung eines Primärnutzers (Radar, …)
  die Kanalnutzung (für 24 h) beenden
  sowie einen neuen Kanal suchen.

WLAN nach IEEE 802

Einordnung in OSI-Schichten 1 und 2 nach IEEE-LAN-Architektur

- Anwendungstransparenz
  Installation und Nutzung höherer Netzwerkschichten
  wie in drahtgebundenen LAN

  (evtl. anderes Zeitverhalten wegen geringerer Datenraten und
  höherer Wahrscheinlichkeit von Fehlübertragungen)

Vor-/Nachteile gegenüber drahtgebundenen LAN

- geringere Infrastrukturkosten; „Altbausanierung“, „Letzte Meile“, ...
- Unterstützung mobiler Nutzer
- „shared medium“ → Bruttodatenrate wird unter Nutzern aufgeteilt
- evtl. Störung sensibler Infrastrukturen (Krankenhäuser, …)
  → Frequenznutzung staatlich reguliert (nationale Besonderheiten!)
- Sicherheitsprobleme durch Mithören, unberechtigte Nutzung
  → Verschlüsselungstechniken unbedingt erforderlich

WLAN - Übersicht

Netzaufbau

- vorwiegend Nutzung lizenzfreier Bänder im GHz-Frequenzbereich
- Zellularfunk
  Zellgröße abhängig von Sendeleistung, Umgebung, Nutzerdichte, …
- Netzstrukturen dezentral (ad-hoc-Modus)
  oder zentral (Infrastruktur-Modus) mit Access Points (AP)

Technische Parameter

Sendeleistungen:	0,1 … 4 W	(Gesundheitsschutz!)
Reichweiten:	10 … 250 m	(mit Richtantennen einige km)
Datenraten:	1 … 600 Mbit/s	(meist 54 Mbit/s)

IEEE 802.11 WLAN-Standards des IEEE

Technologien

Veröff.	Standard	Frequenz-band [GHz]	Bruttodatenrate [Mbit/s]	Max. Reichweite [m]
1997	802.11	2,4	1 … 2	≈ 100
1999	802.11a	5	1 … 54	≈ 120
1999	802.11b	2,4	1 … 11	≈ 140
2003	802.11g	2,4	1 ... 54	≈ 140
2008	802.11y	3,7	54	≈ 5000
2009	802.11n	2,4 5	Erweiterung von a/g … 600	≈ 250

sonstige Standards

802.11e	Bereitstellung von QoS (Zugriffspriorisierung)
802.11f	AP - Roaming (Inter Access Point Protocol)
802.11i	Authentifikation, Integrität, Verschlüsselung
802.11s	Funknetzkopplung (Meshed Networks)
…	

IEEE 802.11 Netzstrukturen (1)

SS (Service Set)	Funkzelle
○ SSID	Identifikation, max. 32 byte für Unterscheidung erreichbarer Funkzellen, sowie für Anmeldung in Funkzellen
○ Beacon Frame	SSID-Broadcast-Nachricht (Leuchtfeuer) zur Übermittlung von SSID, Verschlüsselungsverfahren, … → Anlegen von „Profilen“ über Funkzellen möglich
○ Anmeldung	Frame „probe request“, meist als Broadcast (Angabe SSID, falls spezielle Zelle gewünscht, sonst ohne SSID)
Antwort	Frame „probe response“ (mit Angabe SSID)
○ Problem	Klartextübertragung der SSID, deshalb evtl. aus Sicherheitsgründen keine Übertragung von Broadcastframes (dann explizite Anmeldung erforderlich)

IEEE 802.11 Netzstrukturen (2)

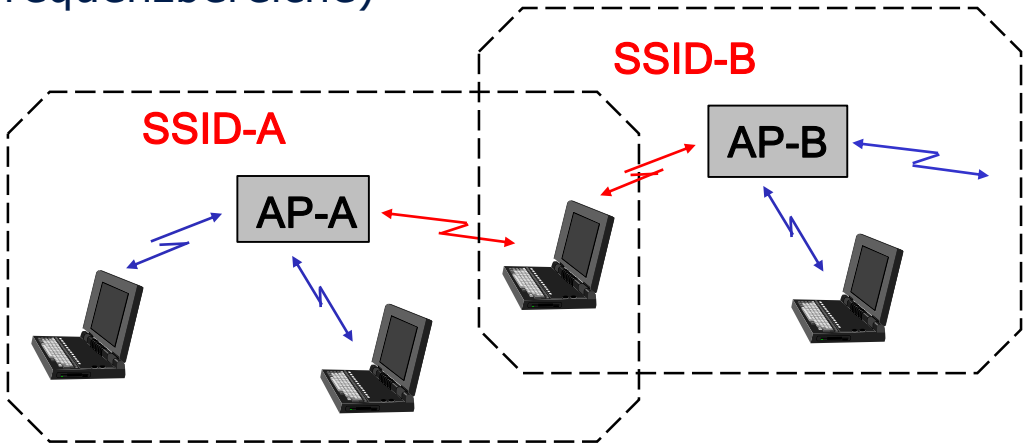
BSS (Basic Service Set) Infrastrukturnetz

- AP (Access Point) Kommunikationszentrum einer Funkzelle, besitzt WLAN-MAC-Adresse, organisiert SSID-Senden, Anmeldung, …

  sichert ggf. Übergang zu kabelgebundenem LAN (dann 2 MAC-Adressen; für WLAN und LAN)

- STA (Station) Arbeitsstationen

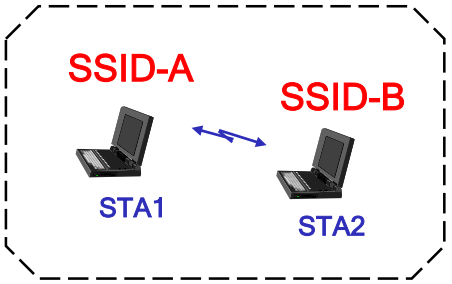
Mehrere BSS können sich überlappen (unterschiedliche Frequenzbereiche)



IEEE 802.11 Netzstrukturen (3)

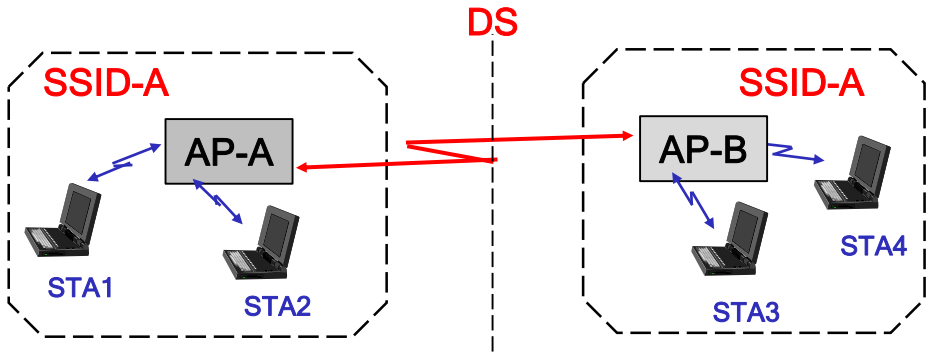
IBSS (independent BSS)
(ad-hoc-Netz bzw. peer-to-peer-Netz)

- Stationen
  übernehmen Funktionen von Access Points



ESS (extended Service Set), Zusammenfassung mehrer BSS

- Kopplung über ein DS (distribution system)
- Roaming nach IEEE 802.11f (Frameweiterleitung in richtiges BSS)
  evtl. Übergang über Richtfunknetze, Kabelnetze, …



IEEE 802.11

2,4 GHz-ISM-Band 2400 – 2483,5 MHz

- 79 Kanäle mit Bandbreite 1 MHz, numeriert von 2…80
  Mitte Kanal 2: 2402 MHZ, … , Mitte Kanal 80: 2480 MHz

- gesendet wird mit 1 MBd

  2 bzw. 4 Signalstufen (leichte Frequenzabweichungen von Kanalmitte)
  1 bit/Signalschritt) → 1 Mbit/s
  2 bit/Signalschritt) → 2 Mbit/s

- **FHSS** (Frequenzwechsel nach max. 400 ms, Sprungabstand > 6 MHz)

  Verbindungsaufbau über Rufkanal
  pseudozufällige Zuordnung eines Hoppingmusters (0 … 77)

  danach
  pseudozufällige Frequenzwechsel (gesteuert über Sequenztabelle)

- theoretisch 78 Verbindungen in einer Funkzelle möglich
  praktisch 10 Verbindungen wegen Synchronisationsproblemen

- IEEE 802.11 ist veraltet

IEEE 802.11a

5,2 GHz-Band

- Kanäle mit Bandbreite 20 MHz, überlappungsfrei
- Frequenzbereiche (USA)

5150 – 5250 MHz	Subband 1a	50/200 mW
5250 – 5350 MHz	Subband 1b	250/1000 mW
5725 – 5825 MHz	Subband 2	1000/4000 mW

- Frequenzbereiche (DE)

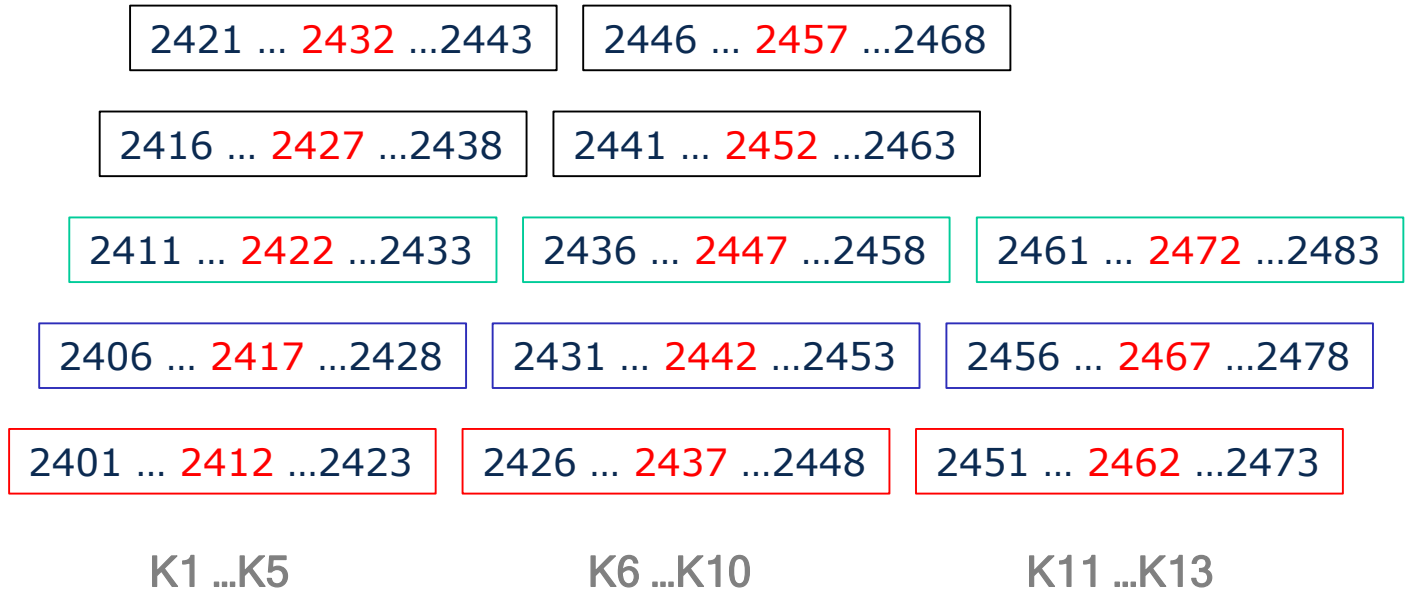
5150 – 5250 MHz	4 Kanäle	36, 40, 44, 48
5250 – 5350 MHz	4 Kanäle	52, 56, 60, 64
5470 – 5725 MHz	11 Kanäle	100, … , 140

- Hohe Bandbreiten
  → hohe Datenraten möglich
- Ungünstige Ausbreitungseigenschaften
  Abschattungen, …

IEEE 802.11b/g

2,4 GHz-ISM-Band (Industrial-Scientific-Medical-Band)
2400 – 2483,5 MHz

- **DSSS, …**
  13 Kanäle mit Bandbreite 22 MHz
  je 5 MHz Abstand (→ Überlappungen!)
- überlappungsfrei K1-K6-K11, bzw. K2-K7-K12, bzw. K3-K8-K13



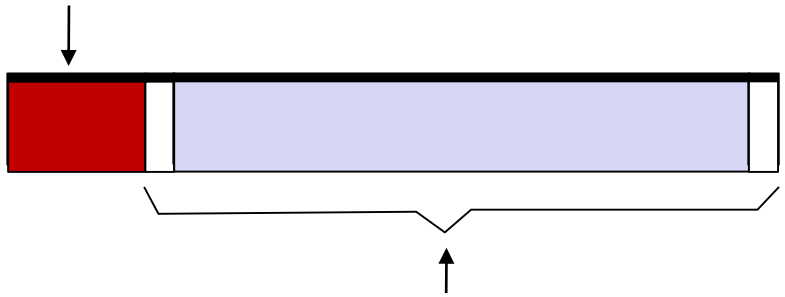
IEEE 802.11a/b/g - PLCP

Physical Layer Convergence Procedure

Frame-Format

PHY-Präambel (gesendet mit 1 Mbit/s DSSS)
Synchronisationsbits und Frame Startbegrenzer

PHY-Header (gesendet mit 2 Mbit/s)
Vereinbarung Kodierung, Framelänge, Übertragungsverfahren
Header-CRC



PHY-PSDU (Übertragung mit gewähltem Verfahren)
Synchronisation, **Datenteil**, Ruhezeit (6 µs)

IEEE 802.11a/b/g - Modulationsmethoden

Spreiz-methode	DSSS		CCK		OFDM							
Modulation	DBPSK	DQPSK	DQPSK		BPSK		QPSK		16-QAM		64-QAM	
Datenrate [Mbit/s]	1	2	5,5	11	6	9	12	18	24	36	48	54
802.11a					x	x	x	x	x	x	x	x
802.11b	x	x	x	X								
802.11g	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X

DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
CCK	Complementary Code Keying
OFDM	Orthogonal Frequency Spread Spectrum
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quadrature Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
16-QAM	16 Point Quadrature Amplitude Modulation
64-QAM	64 Point Quadrature Amplitude Modulation

IEEE 802.11g Empfangsqualität

- Probleme bei Erkennung verrauschter Signale
  → einfachere Signalkodierung → verringerte Datenrate

  Grundrauschen ca. -98 dBm
  zusätzlich evtl. Interferenzen von Fremd-WLAN

- Faustregel: SNR unter 10 dB → sehr schlecht
  ca. 15 dB funktionsfähig
  30 dB gut
  40 dB ausgezeichnet

- Ggf. Sendeleistung erhöhen

- Adapterspezifische Empfangseigenschaften

Cisco 521 Wireless Express Acces Point												
Empfangsleistung [dBm]	-93	-91	-88	-86	-85	-85	-84	-83	-79	-77	-72	-70
Erzielbare Datenrate [Mbit/s]	1	2	5,5	6	9	11	12	18	24	36	48	54

IEEE 802.11 MAC-Schicht

Aufgaben

- Medienzugriffssteuerung
- Authentifikation
- Management des Energieverbrauches

DFWMAC (Distributed Foundation Wireless Medium Access Control)

- asynchron

Pflicht	CSMA/CA (… Collision Avoidance) Kollisionsvermeidung
Erweiterung	RTS/CTS (Ready To Send / Clear To Send) Erkennung „verdeckter Stationen“

- synchron

Erweiterung	PCF (Point Coordination Function) Polling für Echtzeitgarantien

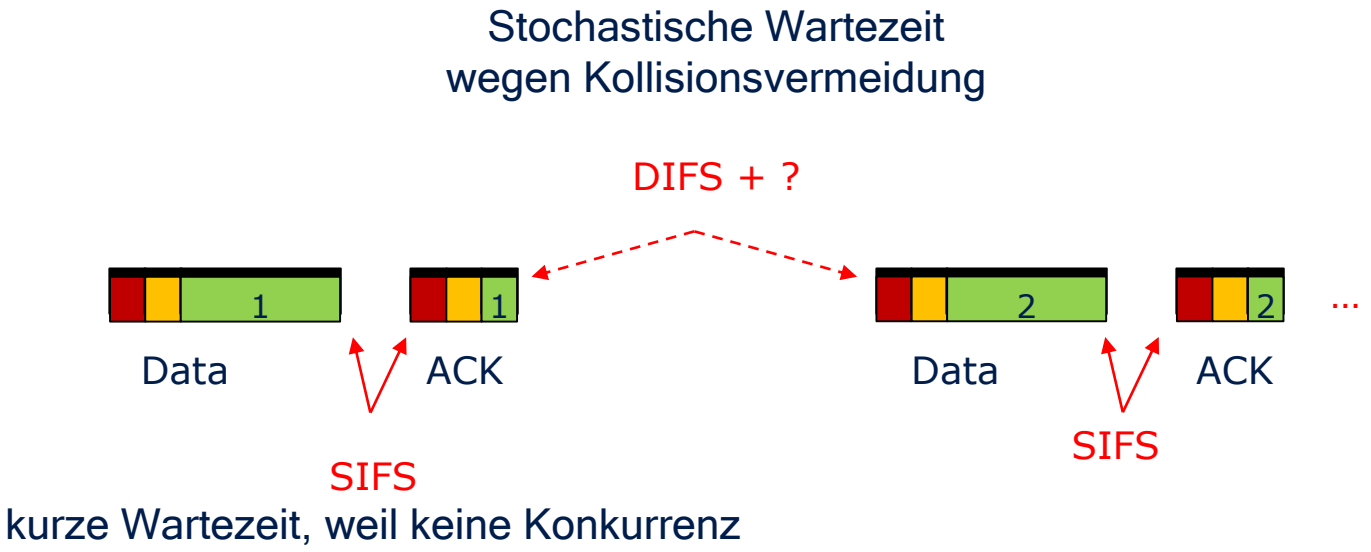
IEEE 802.11 MAC-Schicht Frame-Format

Framecontrol (16 bit)	Typ des Frames, Fragmentierung, DS-Weiterleitung, Verschlüsselung
Duration/ID (2 byte)	Zeitangaben für MAC-Protokolle
4 Adreßfelder (je 48 bit)	abhängig vom Frametyp belegt mit Sender/Empfänger-MAC, SSID, …DS
Sequenzsteuerung (16 bit)	4 bit: Fragmentnummer, 12 bit:Sequenznummer

IEEE 802.11 - Medienzugriffssteuerung

Sammelmedium, keine deterministische Zuteilung des Nutzungsrechtes
→ **Kollisionsgefahr**

CSMA/CA Abhören, falls „frei" Senden, Quittieren, (ggf. Wiederholen)
Priorisierung des Zeitverhaltens
unterschiedliche Wartezeiten IFS (Inter Frame Spacing)



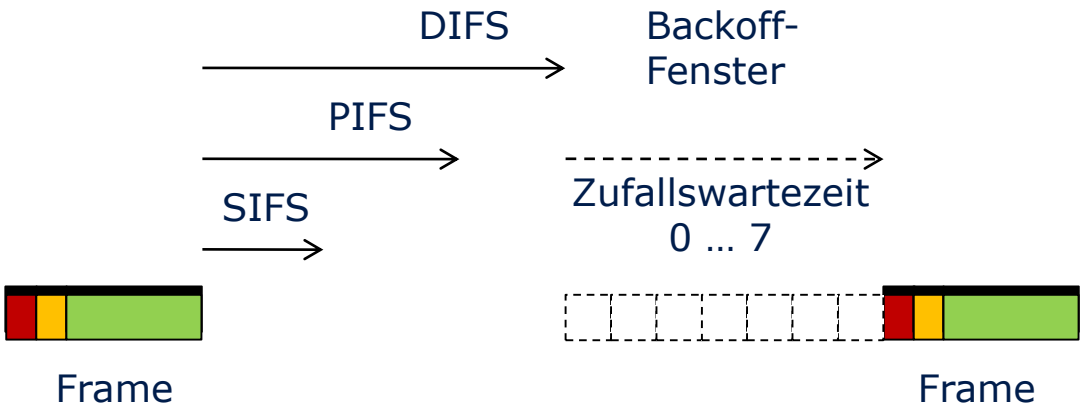
IFS – Inter Frame Spacing

SIFS Short IFS
kürzeste Wartezeit, zB. zwischen Frame und ACK

PIFS Point Coordination Function IFS
Polling-Wartezeit für Access Point (konkurrenzlos)

DIFS Distributed Coordination Function IFS
Wartezeit für asynchrones Frame-Senden

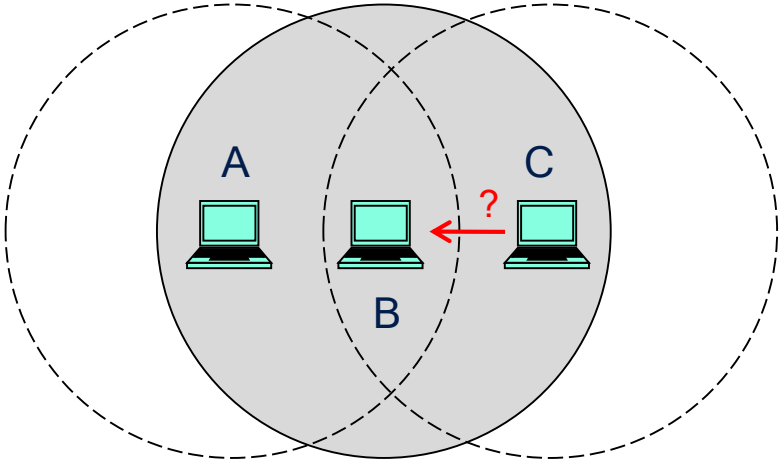
wegen Kollisionsgefahr danach zufällige Wartezeit (7 Slots)
falls trotzdem Kollision EIFS (Extended IFS)
Backoff-Fenster verdoppeln (0..15, 0 ..31, …)



Problem

- A will zu B senden
- C ist außerhalb der Reichweite von A, aber in Reichweite von B

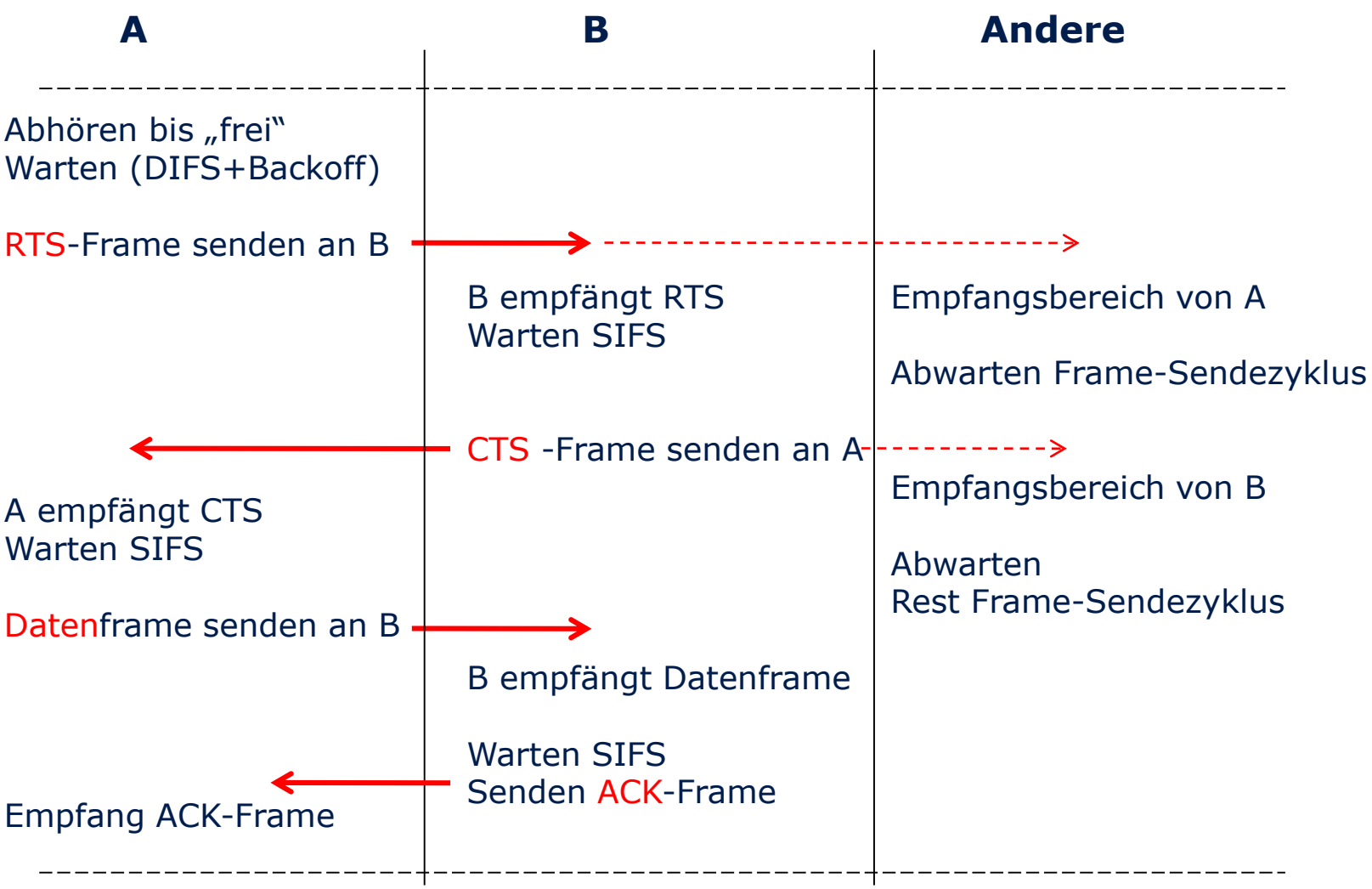
- A kann nicht feststellen, ob C sendet
  → Kollisionsgefahr



Lösung

- RTS/CTS-Protokoll (Ready To Send / Clear To Send)

IEEE 802.11 Ablauf RTS/CTS - Erweiterung



IEEE 802.11n

Bitraten bis zu 600 Mbit/s
leicht höhere Reichweiten für hohe Bitraten

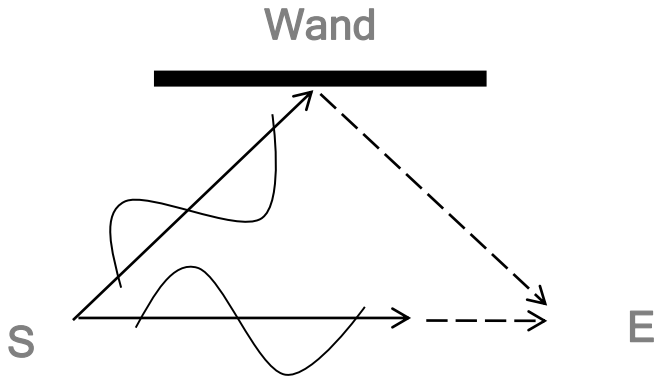
Technische Merkmale

- Abwärtskompatibel
  Nutzung 2,4-GHz-ISM-Band und 5,2-GHz-Band
- Intelligentes Antennenmanagement
  durch Aufteilung Nutzdatenstrom auf mehrere Antennen
  (Spatial Multiplexing)
- Verwendung von Richtantennen (Beamforming)
  - MIMO (mehrere Sende- und Empfangsantennen)
  - SIMO (1 Sende-, mehrere Empfangsantennen)
  - MISO (mehrere Sende-, 1 Empfangsantenne)
- weitere Effizienzverbesserungen
  - Kanalbündelung (Channelbonding)
  - Packet Bursting
  - Frame Aggregation

Mehrwegeausbreitung (1)

- **Reflexionen**

  unterschiedlich lange Ausbreitungswege



- **Interferenz**

  Einfluß abhängig von Wellenlänge (λ= 12,5 cm bei 2,4 GHz) und Laufwegunterschied

  Verstärkung bei Wegdifferenzen von λ /2 * 2n
  Schwächung bei Wegdifferenzen von λ /2 * 2(n+1)

- **Störung** der Empfangsqualität

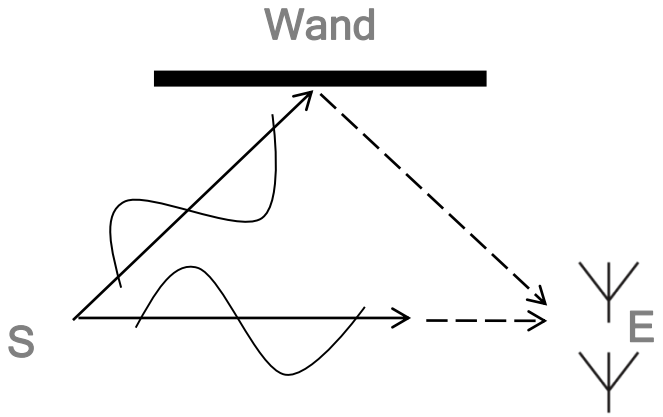
  abhängig von Empfängerposition
  (aller 6 cm anderer Einfluß)
  → math. Abschätzung nur für Minimalqualität möglich

Mehrwegeausbreitung (2)

- Empfang mehrerer Wellen

  unterschiedliche Phasenlage
  unterschiedliche Polarisation

- Empfangsverschlechterung



- Ausweg

  2 unabhängige Antennen beim Empfänger
  (Diversity Antennen)

  Empfänger wählt die Antenne mit besserer Qualität
  (Umschalter)

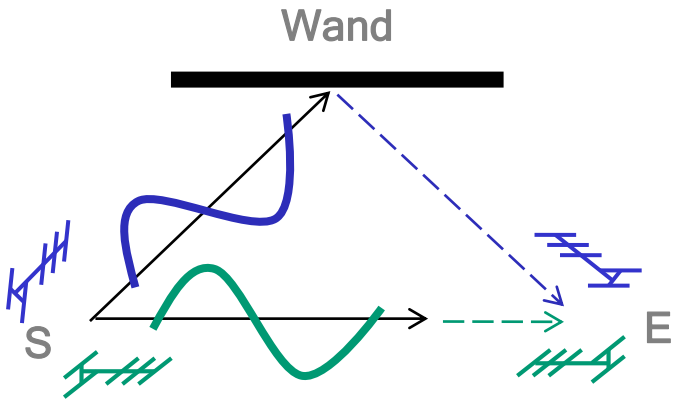
  → **Diversity-Gewinn**

- kleine WLAN-Geräte

  Problem Antennenabstand
  → externe Antennen

SDM – Spatial Multiplexing

- Ausnutzung Mehrwegeausbreitung zur **Empfangsverbesserung**
- Verwendung von Richtantennen



- STC (Space Time Coding)

  sehr rechenaufwendig
  → spezielle Signalprozessoren

  - Replikation Nutzdatenstrom auf mehrere (!) Ströme
  - Verteilung der Ströme auf mehrere Sendeantennen (Spatial Mapping)
  - Strom über verschiedene Wege, Reflexionen, …
    → zufälliges Gemisch unterschiedlicher Signale beim Empfänger
  - Empfänger filtert (Richtantennen)
  - Phasenkorrektur
  - Addition der Signale → besseres Signal als über Einzelweg (!)

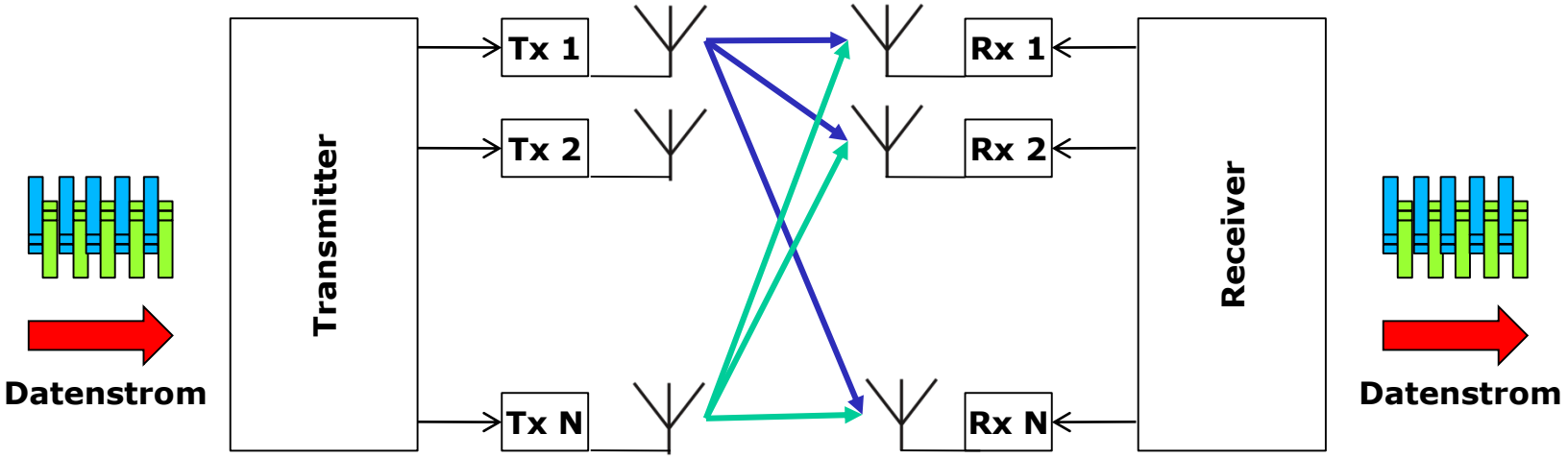
- SM funktioniert bei direkter Sichtverbindung (LOS) nur bedingt:
  (nur bei 2 Antennen; Ausnutzung unterschiedlicher Polarisation)

MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MIMO – Multiple Input Multiple Output

- Spatial-Multiplex-Verfahren für IEEE 802.11
  mehrere Sende-/Empfangsantennen, Anzahl kann sich unterscheiden
  Anzahl der zeitparalleler Datenströme abhängig von Geräteleistung
  (bis zu 4 Datenströme; heutige Geräte max. 2 Datenströme)

- PHY-Schicht-Veränderungen
  HT-OFDM (High Throughput OFDM),
  kurze Sendepausen zwischen Symbolen (Short Guard Interval), …
  STC-Signalzusammensetzung im erweiterten phys. Header



Kanalbündelung (Channel Bonding)

- „neighborhood-friendly“

  Kanalbündelung wird nur aktiviert,
  wenn
  keine zu starken Interferenzen durch benachbarte Netze vorliegen

- 802.11n sieht die Verwendung von 40 MHz Kanälen vor

  zwei 20MHz Kanäle werden zusammengefasst

  kann bei 2.4 GHz und 5 GHz verwendet werden

  nur bei 5 GHz sinnvoll

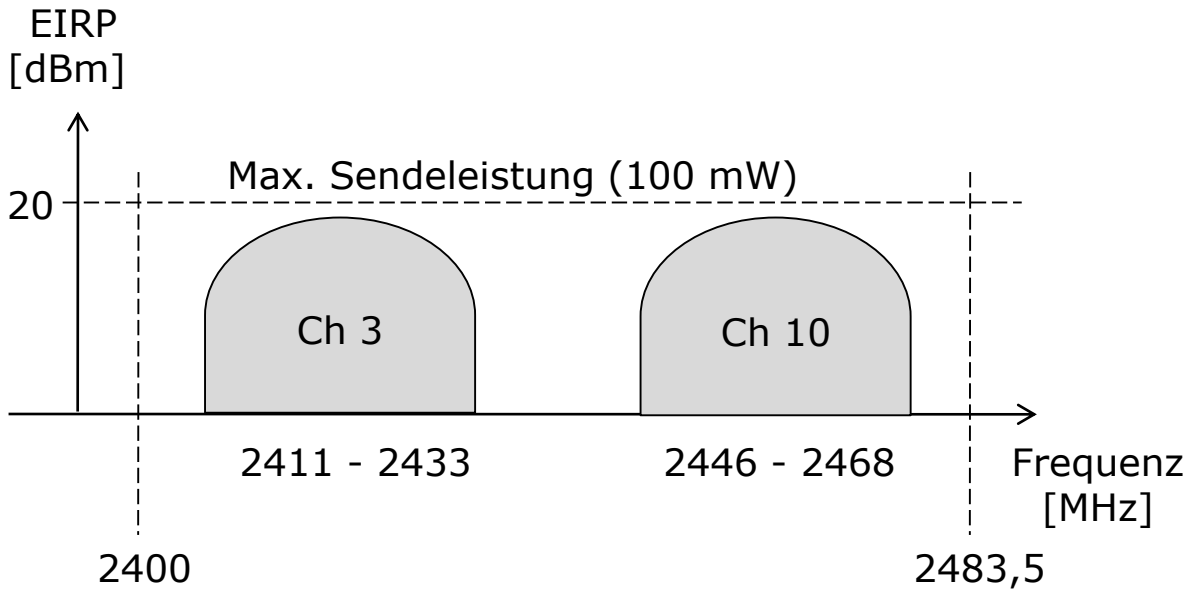
Kanalbündelung im 2,4-GHz-ISM-Band

Problem

max. 3 Kanäle überlappungsfrei

40 MHZ Bandbreite, z.B. durch Zusammenfassung der Kanäle 3 und 10

2.4 GHz Spektrum	
Kanal-nummer	Frequenz [MHz]
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472



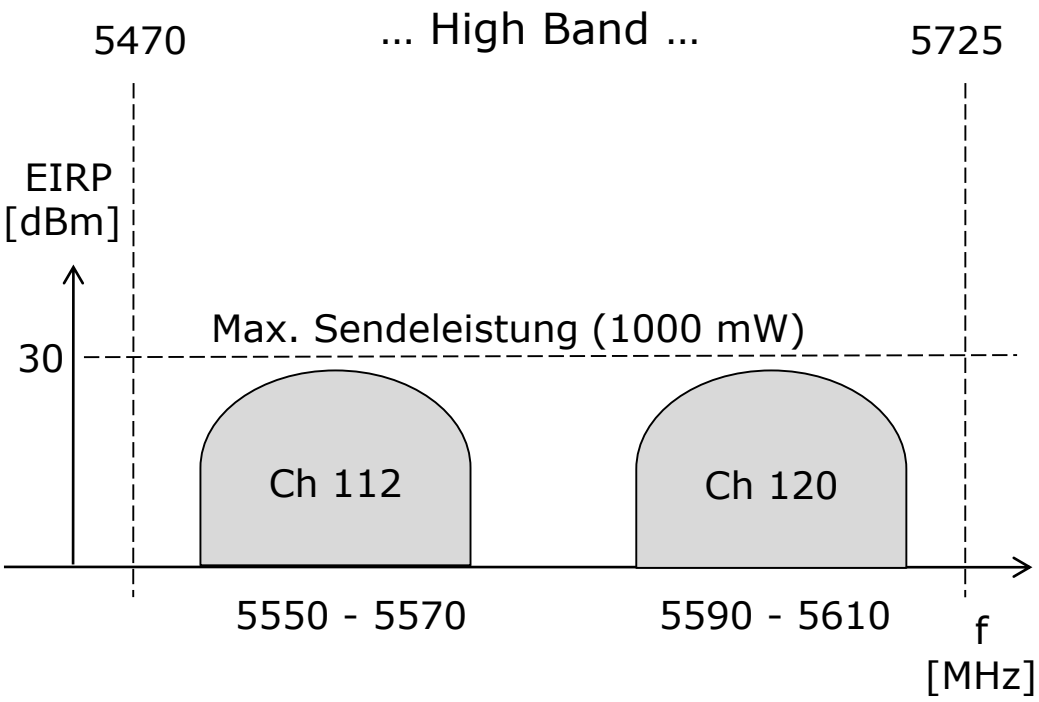
Kanalbündelung im 5-GHz-Spektrum

EU-Regulierung

19 überlappungsfreie Kanäle

40 MHZ Bandbreite, z.B. durch Zusammenfassung der Kanäle 112 und 120

5 GHz Spektrum (ETSI)			
Kanal-nr.	Kanal [MHz]	Kanal-nr.	Kanal [GHz]
36	5180	100	5.500
40	5.200	104	5.520
44	5220	108	5.540
48	5.240	112	5.560
52	5.260	116	5.580
56	5.280	120	5.600
60	5.300	124	5.620
64	5.320	128	5.640
		132	5.660
		136	5.680
		140	5.700



IEEE 802.11n – Datenraten (1)

Produkt

von

- Basisdatenrate
  (abhängig von
  Kodierung, Modulationsverfahren, …)
- 2.077
  wegen Kanalbündelung auf 40 MHz
- 1,11
  falls Nutzung der
  verkürzten Symbolwartezeit
  (Short Guard Interval)
- Anzahl_Datenströme
  abhängig von Zahl aktiver Antennen

1 Datenstrom		
Basis-daten-rate	Mit Channel bond.	Mit Short Guard Interval
6.5	13.5	15
13	27	30
19.5	40.5	45
26	54	60
39	81	90
52	108	120
58.5	121.5	135
65	135	150

Spektrale Effizienz sehr hoch (bis 30 bit/Hz)

IEEE 802.11n - Datenraten (2)

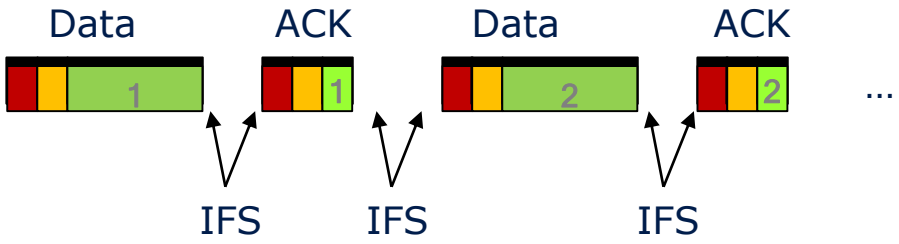
MIMO

2 Datenströme			3 Datenströme			4 Datenströme		
Basis-daten-rate	Mit Channel bond.	Mit Short Guard Interval	Basis-daten-rate	Mit Channel bond.	Mit Short Guard Interval	Basis-daten-rate	Mit Channel bond.	Mit Short Guard Interval
13	27	30	19.5	40.5	45	26	54	60
26	54	60	39	81	90	52	108	120
39	81	90	58.5	121.5	135	78	162	180
52	108	120	78	162	180	104	216	240
78	162	180	117	243	270	156	324	360
104	216	240	156	324	360	208	432	480
117	243	270	175.5	264.5	405	234	486	540
130	270	300	195	405	450	260	540	600

Von aktuellen Geräten unterstützt

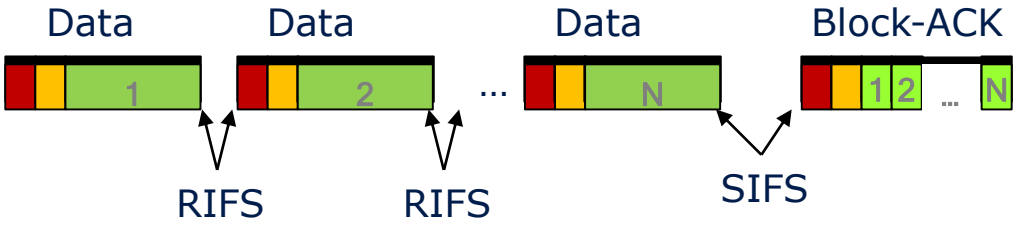
IEEE 802.11n - Packet Bursting

IEEE 802.11 a/b/g
Daten- bzw- Quittungsnachrichten in jeweils einem physikalischen Frame



Packet Bursting

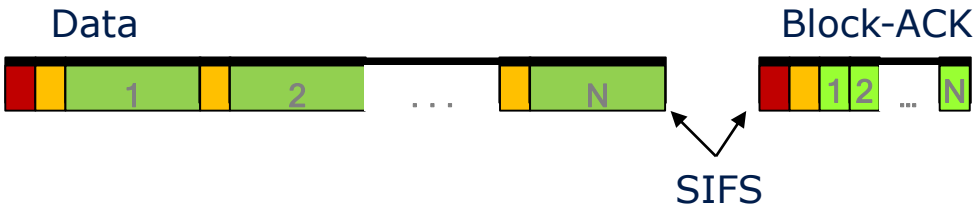
- Senden einer Serie von Frames ohne Quittierung mit **RIFS** (Reduced Inter-Frame Spacing), z.B. 2 µs
- eine Block-ACK bestätigt alle Datenframes
- Effizienzsteigerung möglich (bei ausreichender Kanalqualität)



IEEE 802.11n - Frame Aggregation

Frameaggregation

- mehrere MAC-Datenframes in einem physikalischen Frame
- Block-ACK bestätigt alle Datenframes
- 40 % Effienzsteigerung möglich (bei ausreichender Kanalqualität)



IEEE 802.11n - Weiterentwicklungen

IEEE 802.11ac

- Abwärtskompatibilität
- Datennetzdurchsatz > 1 Gbit/s
  Datenraten > 500 Mbit/s
- 5 GHz Band , Kanalbandbreiten bis 80 MHz
- Leistungsfähigere Kodierung (…, 1024-QAM)
- Mehr Antennen (8, 16), MU-MIMO
- Prototyp 2012

IEEE 802.11ad

- lizenzfreie Bänder vorhanden (60 GHz)
- problematische Ausbreitungeigenschaften
  hohe Dämpfung wegen hoher Frequenz, Luftsauerstoff, …
  Abschattung

…

IEEE 802.11 - Sicherheit

Funkverkehr leicht abhörbar, leichtes Eindringen
Sicherheitsmaßnahmen unbedingt erforderlich (!)

Bezeichnung	Verfahren	Kommentar
SSID Sendeunterdrückung	AP sendet keine SSID STA muß SSID kennen	Nutzen umstritten Abhörmöglichkeit (Sniffer-Programm)
MAC-ACL (Access Control List)	AP besitzt Tabelle mit MAC-Adressen der zugelassenen Nutzer	unsicher, da MAC-Adressen im Klartext gefunkt werden Abhörmöglichkeit (Sniffer-Programm) Senden mit falscher MAC-ID möglich
WEP Wired Equivalency Privacy	Kontrolle auf Besitz des richtigen Schlüssels Integritätssicherung über Prüfsumme Einfache Verschlüsselung	unsicher, Schlüssellänge zu kurz Schlüsselverteilung per Hand
WPA WiFi Protected Access (Profil von 802.11.i)	Anmeldung wie bei WEP Oder nach 802.1x: (AP prüft Nutzer/Paßwort) Verschlüsselung und Schlüsselbildung bedeutend komplexer.	relativ sicher
WPA2	volle Realisierung von 802.11i	sicher
VPN Vitual Privat Network	Zugang der Stationen zum Netz ausschließlich über VPN-Client	sicher

IEEE 802.11x WLAN Standards

802.11	Ursprünglicher WLAN Standard, bis zu 2 Mbit/s über Funk (2.4 GHz) und Infrarot (1997)
802.11b	Erweiterung von 802.11, bis zu 11 Mbit/s, 2.4 GHz (1999)
802.11a	54 Mbit/s, 5 GHz (1999)
802.11g	54 Mbit/s, 2.4 GHz, kompatibel zu 802.11b (2003)
802.11h	Erweiterung von 802.11a, TPC und DFS zur Anpassung an EU-Regelungen
802.11d	Erweiterung für internationales Roaming (2001)
802.11e	Enhancements: QoS, packet bursting (2005)
802.11i	Erweiterte Sicherheitsmechanismen (WPA2) (2004)
802.11j	Erweiterungen für japanischen Markt (2004)
802.11s	ESS (Extended Service Set) Mesh Networking (2009?)
802.11p	WAVE - Wireless Access for the Vehicular Environment (2009?)
802.11n	Höhere Datenraten u.a. durch Nutzung von MIMO (multiple input, multiple output) (November 2009)
802.11k	Radio Resource Management