

5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.3 Channel Coding

5.4 OFDM

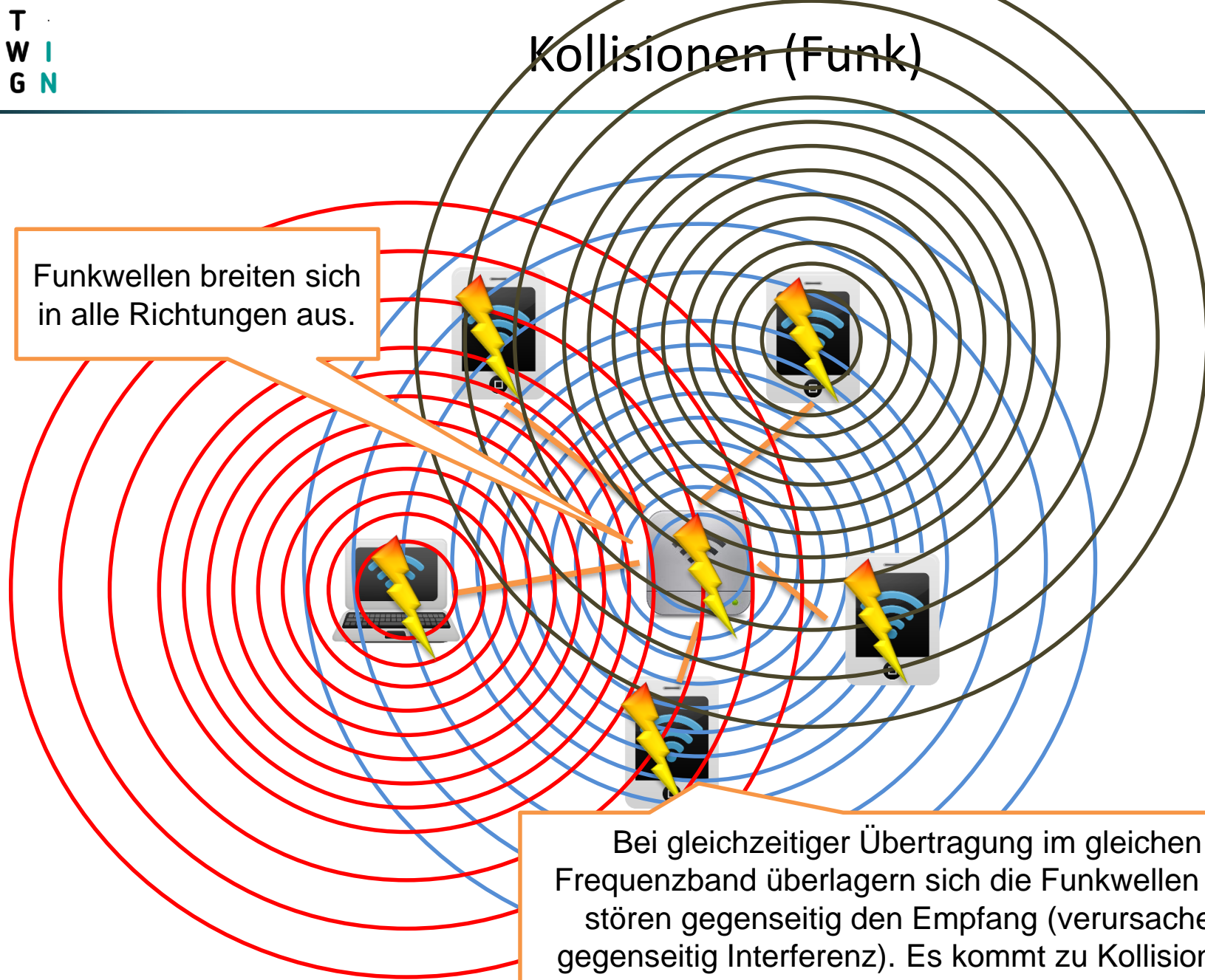
5.5 MIMO

- Problem:
 - mehrere Stationen sind über ein **geteiltes Medium** verbunden
 - geteiltes Medium: Bus oder Funk
 - eine Station empfängt **jede Übertragung** einer anderen Station
 - auch wenn die Nachricht nicht an sie adressiert ist
 - gleichzeitige Übertragungen überlagern sich am Empfänger
 - es kommt zu einer **Kollisionen**
 - die übertragenen Nachrichten können **nicht dekodiert** werden
- Aufgaben des MAC Layer
 - möglichst weitgehende Vermeidung von Kollisionen durch
 - **Koordination** des Medienzugriffs
 - **Randomisierung** des Medienzugriffs
 - **Erkennung** andauernder Übertragungen und Abbruch des Medienzugriffs bei belegtem Medium
 - Erkennung und **Auflösung** von Kollisionen
 - **Adressierung** von Nachrichten

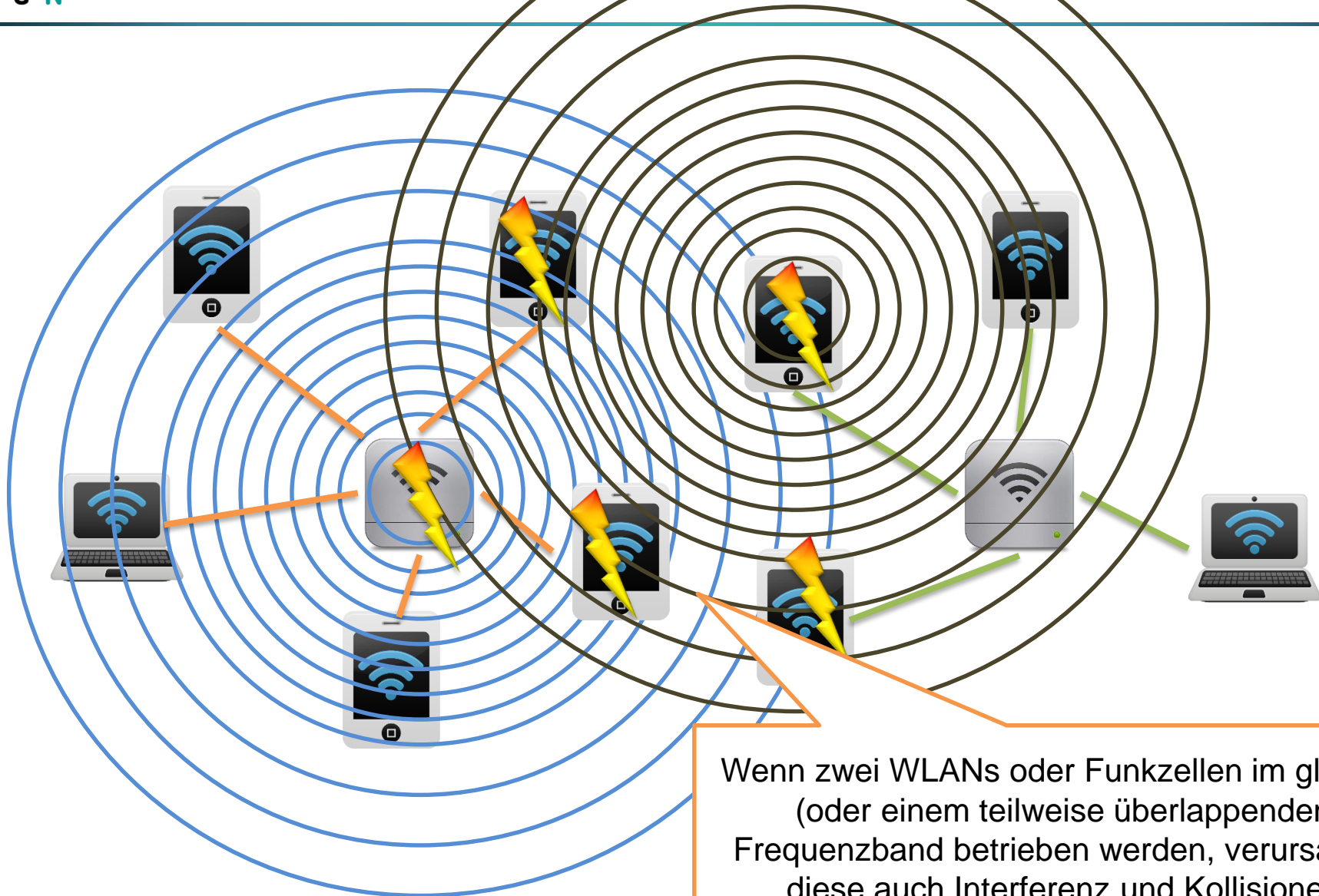
- MAC Protokolle
 - vermeiden Kollisionen
 - reduzieren die Häufigkeit von Kollisionen
 - erkennen Kollisionen und lösen sie auf
- Varianten
 - stochastische Verfahren (**Random Access**, wahlfreier Zugriff):
 - Reduzierung/Auflösung von Kollisionen durch **zufällige Verschiebung** von Übertragungen
 - Beispiele: WLAN, Mobilfunk, (früheres Ethernet)
 - **Arbitrierung**: auf Stationen laufen **dezentrale Verfahren**, die den **Vorrang** für den Zugriff auf das Medium bestimmen
 - Beispiel: CANbus
 - **Koordinierte Verfahren**: Stationen implementieren Protokolle, die Kollisionen vermeiden, indem eine **zentrale Station** die Koordination übernimmt
 - Beispiele: Mobilfunk, Automobil- und Feldbusse

Kollisionen (Funk)

Funkwellen breiten sich in alle Richtungen aus.



Kollisionen (Funk)



- Random Access: wahlfreier Zugriff
 - basiert auf **Contention** (Wettbewerb)
 - jede Station nutzt eine **Übertragungsgelegenheit** mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zur Datenübertragung
 - Übertragungsgelegenheiten:
 - jederzeit (**Aloha**)
 - nur zu diskreten Zeitpunkten („**slotted**“ Aloha)
 - nur wenn das Medium frei ist (**CSMA-CD**, **CSMA-CA**)
 - **Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection/Avoidance**
 - **Carrier Sense** („Spüren/Horchen“, ob das Medium frei ist)
 - können in der Länge beschränkt sein
 - Kollisionserkennung
 - Funk/Bus: durch **CRC Check** und ausbleibendes ACK (**Timeout**)
 - Bus: zusätzlich durch fehlerhafte (überlagerte) Signale
 - Kollisionsauflösung
 - durch **zufällige Verzögerung** der Übertragungswiederholung

Beispiel: Slotted Aloha

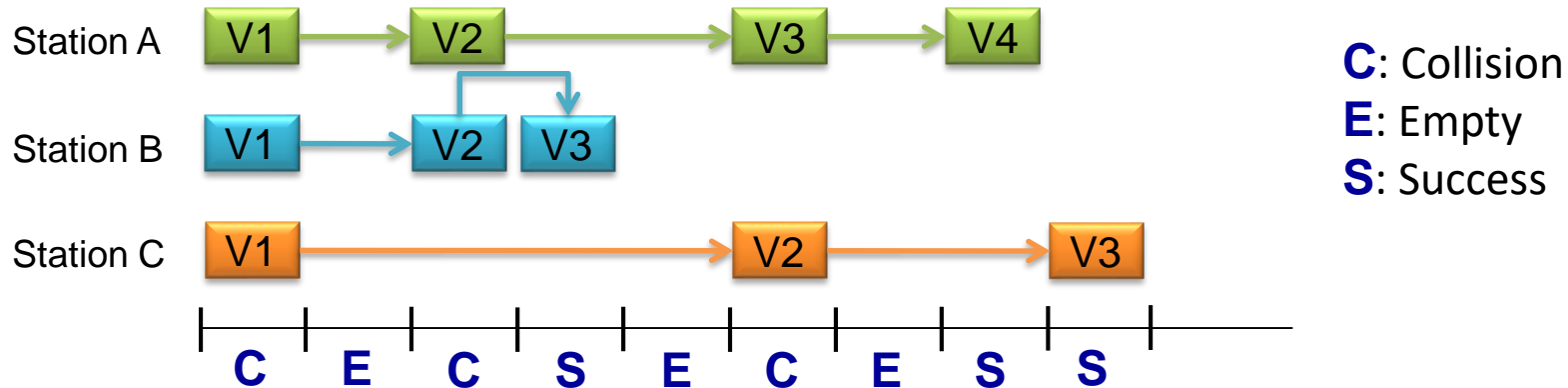
Annahmen:

- Alle Frames (Rahmen, Pakete) haben die gleiche Größe
- Zeitschlitzze (Slots) konstanter Größe, ausreichend für einen Rahmen
- Systeme starten ihre Übertragung nur zu Beginn eines Zeitschlitzes
- Systeme sind synchronisiert
- Wenn zwei oder mehr Systeme im gleichen Zeitschlitz senden, erkennen alle eine Kollision

Vorgehen:

- Wenn ein System Daten hat, überträgt es diese im nächsten Zeitschlitz
- Keine Kollision: nächsten Rahmen im nächsten Zeitschlitz senden
- Kollision: Übertragung mit Wahrscheinlichkeit p im nächsten Zeitschlitz, bis Übertragung erfolgreich ist

Beispiel: Slotted Aloha



Vorteile

- Einzelnes System kann die volle Bandbreite des Mediums nutzen
- Dezentral
- Einfach

Nachteile

- Synchronisation notwendig
- Kollisionen verschwenden Bandbreite
- Leere Zeitschlitz

Verwendung

- in Mobilfunknetzen der 2. und 3. Generation (GSM, GPRS, UMTS) wurden auf Slotted Aloha basierende Verfahren zur **initialen Kontaktaufnahme** eines Handys mit der Basisstation verwendet

5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.3 Channel Coding

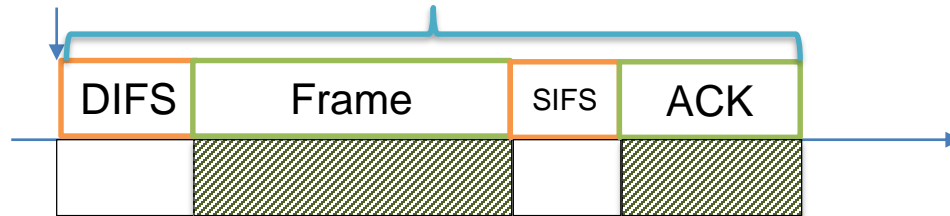
5.4 OFDM

5.5 MIMO

- CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
- Carrier Sense:
 - Sender lauscht, ob das Medium frei ist
 - Empfangsleistung darf einen bestimmten Schwellwert nicht überschreiten
- Multiple Access (Mehrfachzugriff):
 - mehrere Stationen nutzen gleichzeitig ein Medium zur Übertragung
 - andere Varianten im Mobilfunk: TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA
- Collision Avoidance (Kollisionsvermeidung):
 - Stationen ergreifen proaktiv Maßnahmen, um Kollisionen zu verhindern

CSMA/CA: Paketübertragung bei unbelegtem Medium

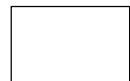
Daten Paketübertragung: DIFS+Frame+SIFS+ACK



Medium belegt



Erfolgreiche Übertragung



Medium frei



DIFS

Distributed Interframe Space



SIFS

Short Interframe Space



Frame

Station überträgt Daten

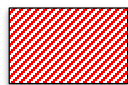
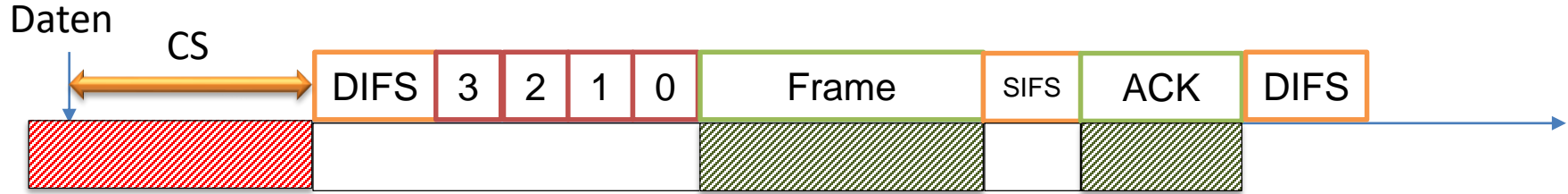


ACK

Station empfängt Bestätigung

- Vor jeder Datenübertragung wird zunächst überprüft, ob der Kanal frei ist. Der Kanal ist frei, wenn für eine bestimmte Zeit (IFS, Inter-Frame-Space) keine Übertragung detektiert wird, d.h. die Empfangsleistung kontinuierlich unter einem vordefinierten Grenzwert bleibt. Wird der Grenzwert überschritten, so läuft die Zeit von Neuem.
- Über unterschiedlich lange Inter-Frame-Space kann eine Priorisierung von Übertragungen gewährleistet werden. Da SIFS kürzer als DIFS ist, beginnt die Übertragung eines ACKs vor der Übertragung des Frames einer anderen Station, da diese länger warten muss und das Medium während DIFS durch die Übertragung des ACKs belegt wird.
- Obige Situation erzeugt den optimalen Durchsatz für WLAN. Eine Paketübertragung besteht aus DIFS, der tatsächlichen Datenübertragung, SIFS und der Übertragung des ACKs. DIFS, SIFS und ACK sind Overhead, der von der nominellen Bandbreite (z.B. 54 Mbps) abgezogen werden muss. Es gibt aber auch Techniken, um den Durchsatz weiter zu verbessern.

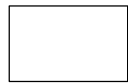
CSMA/CA: Paketübertragung bei belegtem Medium



Medium belegt



Erfolgreiche Übertragung



Medium frei



Distributed Interframe Space
(34 μ s 5 GHz, 50 μ s 2.4 GHz)



Short Interframe Space
(10 μ s 5GHz, 16 μ s 2.4 GHz)



Slot mit Back-Off 3
(9 μ s 5GHz, 20 μ s 2.4 GHz)



Station überträgt Daten



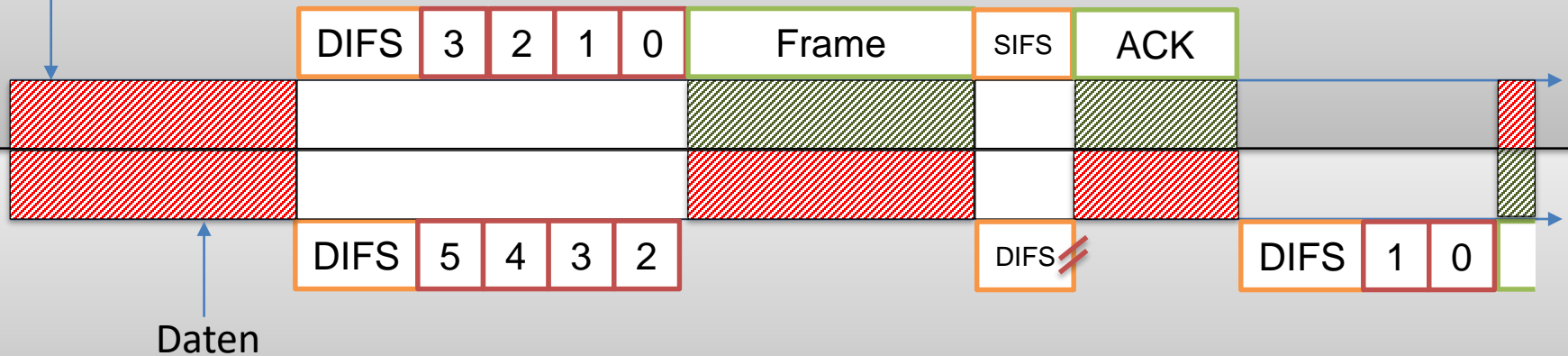
Station empfängt Bestätigung

- Ist der Kanal belegt, wenn eine Station mit der Datenübertragung beginnen möchte, so wartet die Station zunächst darauf, dass der Kanal frei wird (CS, Carrier Sensing). Der Kanal gilt auch für die beiden Stationen als belegt, die an der Übertragung beteiligt sind (Daten, ACK). Allerdings müssen diese Stationen nicht extra feststellen, wann der Kanal frei wird. Ansonsten verfahren sie aber wie alle anderen Stationen.
- Nachdem der Kanal für die Zeitspanne DIFS kontinuierlich frei ist, geht die Station in die Backoff-Phase über. Die Backoff-Phase ist eine weitere Zeitspanne, während der der Kanal frei sein muss, bevor die Station übertragen kann. Die Länge der Backoff-Phase entspricht einer Anzahl von Slots, die zufällig aus einem Contention Window (CW) gewählt werden. Bei einem CW von 7, kann der Backoff gleichwahrscheinlich 0 bis 7 Slots betragen. Im obigen Beispiel beträgt der Backoff 4 Slots. Die Zahl in den Slots gibt jeweils an, wie viele Slots die Station nach diesem Slot noch warten muss.
- Nachdem die Backoff-Slots heruntergezählt sind, kann die Station unmittelbar mit der Übertragung beginnen.

CSMA/CA: Collision Avoidance

Station 1:

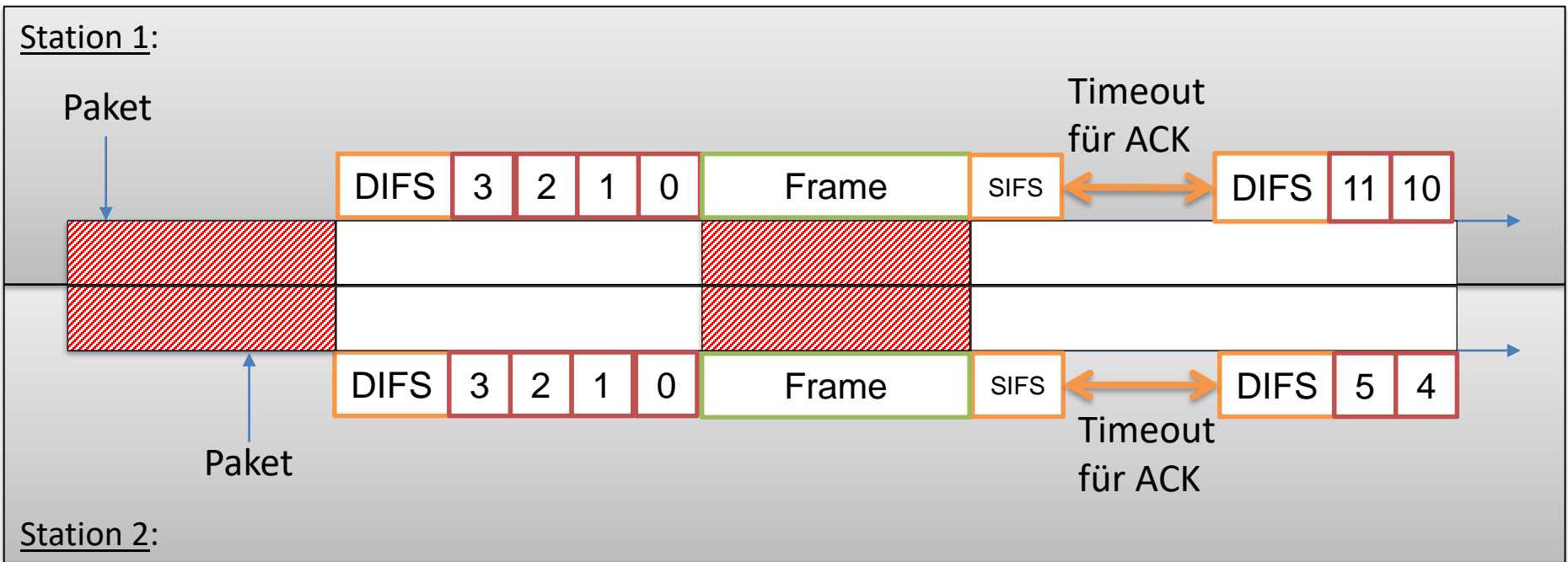
Daten



Station 2:

- Zwei Stationen erhalten von der oberen Schicht (IP) Daten zur Übertragung, während das Medium von einer dritten Station belegt ist
- Jede Station wählt einen zufälligen Backoff. Das ist die Anzahl freier Slots, die die Station abwarten muss, bevor sie übertragen kann. Wenn das "Runterzählen" von einer Übertragung unterbrochen wird, wird die Übertragung abgewartet und danach mit dem gleichen Wert weitergemacht.
- Das Contention Window legt das Fenster fest, aus dem die Anzahl Slots gewählt wird. Bei einem Contention Window von 7 werden Backoffs 0 bis 7 mit gleicher Wahrscheinlichkeit gewählt.
- Collision Avoidance: Durch die Wahl unterschiedlicher Backoffs werden Kollisionen vermieden. Im Fall eines Contention Windows von 8 wird in 7 von 8 Fällen eine Kollision vermieden, die Kollisionswahrscheinlichkeit in obigem Beispiel liegt daher bei 12.5%.
- Aber was passiert wenn beide den gleichen Backoff wählen?

CSMA/CA: Collision



- Wenn beide Stationen den gleichen Backoff (im Beispiel 3) wählen, fangen sie (fast) gleichzeitig an zu senden. Beim jeweiligen Empfänger (das können der gleiche oder zwei verschiedene Empfänger sein) überlagern sich die beiden Übertragungen und der Empfänger kann keine Übertragung korrekt dekodieren. Es wird kein ACK gesendet.
Anmerkung: Es müssen nicht immer beide Übertragungen verloren gehen. Das hängt von der Topologie und dem Verhältnis der Signalstärken am jeweiligen Empfänger ab.
- Wenn eine Station kein ACK empfängt, wird die Übertragung wiederholt. Dazu wird ein neuer Backoff aus einem verdoppelten Contention Window gewählt. Dadurch halbiert sich die Wahrscheinlichkeit, dass es nochmal zu einer Kollision kommt. Dieses Verfahren wird Binary Exponential Backoff genannt.
Anmerkung: Das gleiche Prinzip wird angewandt, wenn das ACK gesendet aber nicht korrekt empfangen wird.

5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.2.3.1 NAV und Frame Bursting

5.2.3.2 RTS/CTS – Hidden und Exposed Nodes

5.2.3.3 EDCA – Priorisierung

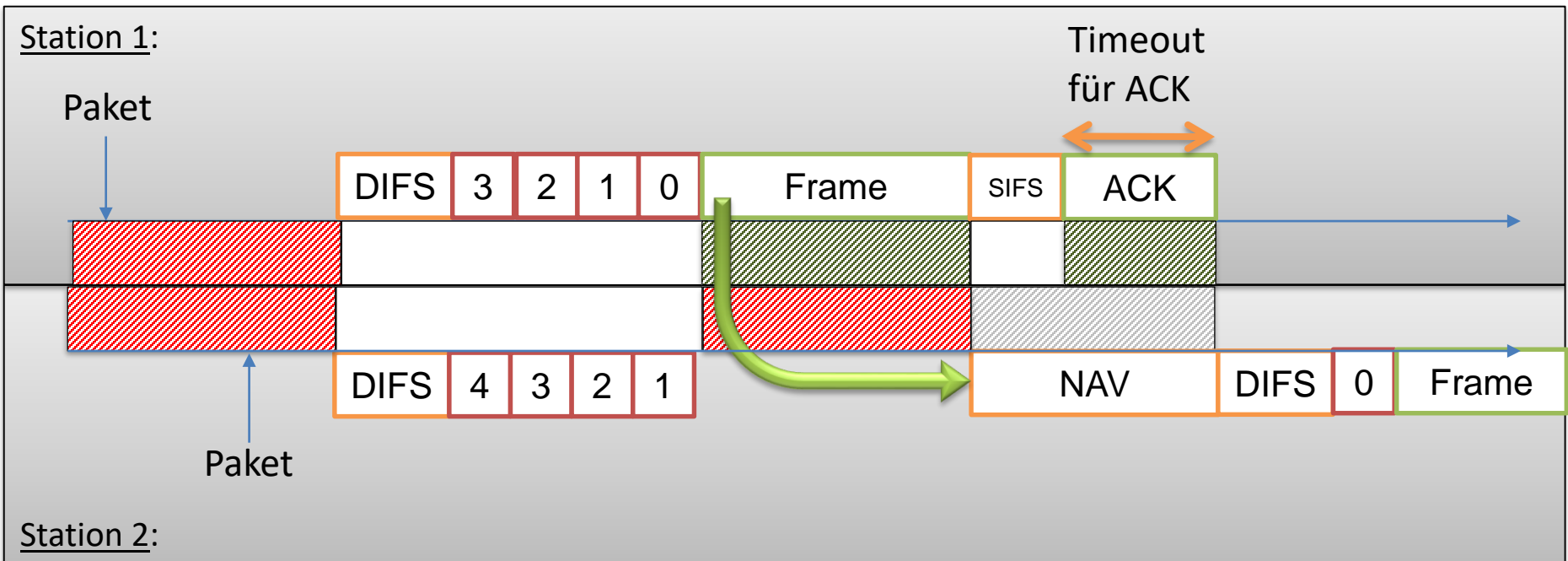
5.2.3.4 Frame Aggregation

5.3 Channel Coding

5.4 OFDM

5.5 MIMO

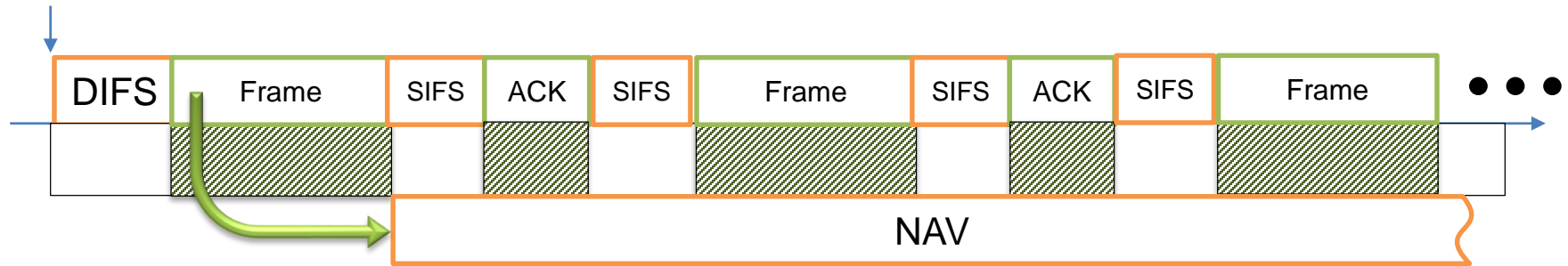
CSMA/CA: Network Allocation Vector (NAV)



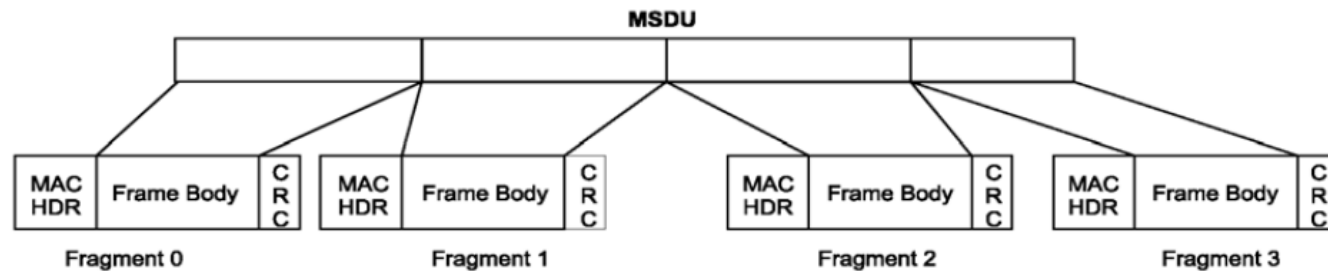
- NAV: Network Allocation Vector
- NAV ist in jeder Übertragung enthalten und spezifiziert, wie lange die Übertragung inklusive ACK dauert und das Netz belegt
- NAV wird auch als virtuelles Carrier Sensing bezeichnet
 - spart Energie, da Station in einen Sleep-Mode gehen und den Transceiver ausschalten kann
 - ermöglicht das Senden von mehreren Paketen
 - Fragmentation, Frame-Bursting

CSMA/CA: Frame Bursting

Daten



- Frame-Bursting: Frame-Bursting oder Fragmentation ermöglicht es, ein großes Daten-Paket (MSDU=MAC Service Data Unit) in mehrere Frames zu zerlegen und während einer Kanalzugriffsphase (DIFS) zu übertragen.
- Reduzierung des Overheads von DIFS+SIFS+ACK auf SIFS+SIFS+ACK. Zusätzlich wird die Wahrscheinlichkeit für Kollisionen verringert, da weniger Kanalzugriffe pro Dateneinheit benötigt werden.
- Fragmentierung: eine MSDU wird in mehrere Fragmente zerlegt



5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.2.3.1 NAV und Frame Bursting

5.2.3.2 RTS/CTS – Hidden und Exposed Nodes

5.2.3.3 EDCA – Priorisierung

5.2.3.4 Frame Aggregation

5.3 Channel Coding

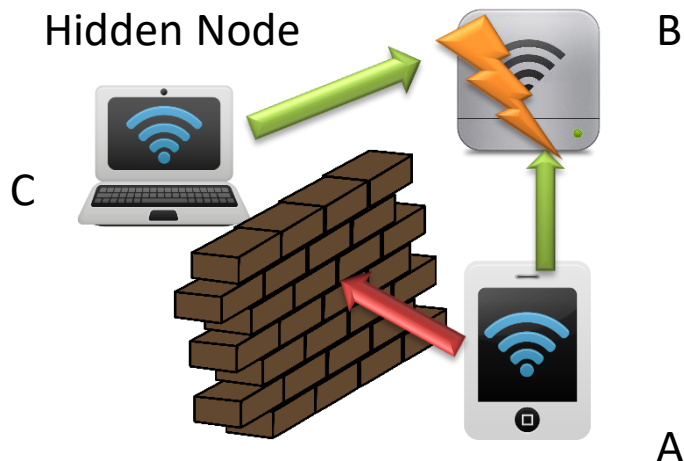
5.4 OFDM

5.5 MIMO

Hidden und Exposed Nodes

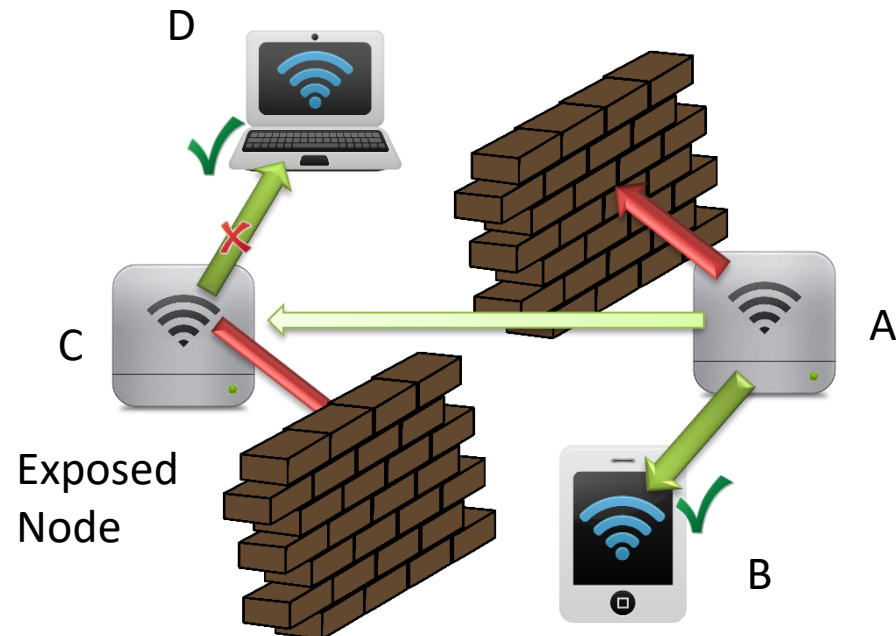
Hidden Node

- ein Node (C) ist ein Hidden Node bzgl. einer Übertragung (A → B), wenn er diese nicht hören kann aber mit einer eigenen Übertragung stört
- bei Hidden Nodes verhindert CS keine Kollisionen

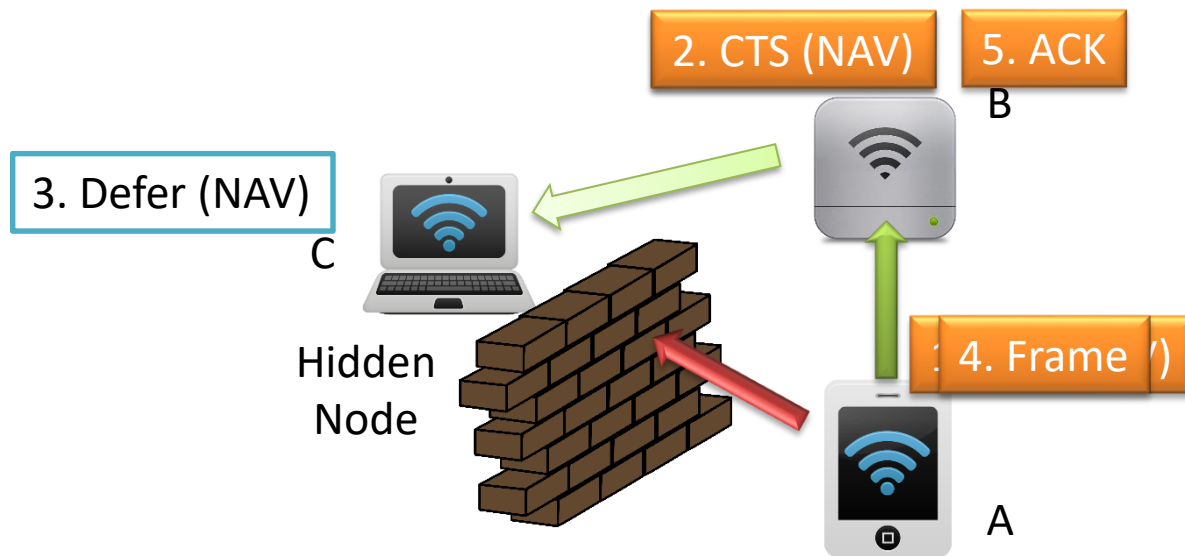


Exposed Node

- ein Node (C) ist ein Exposed Node bzgl. einer Übertragung (A → B), wenn er eine Übertragung hört und daher selbst nicht übertragen kann, obwohl er eigentlich übertragen könnte (z.B. zu D), ohne die andere Übertragung zu stören

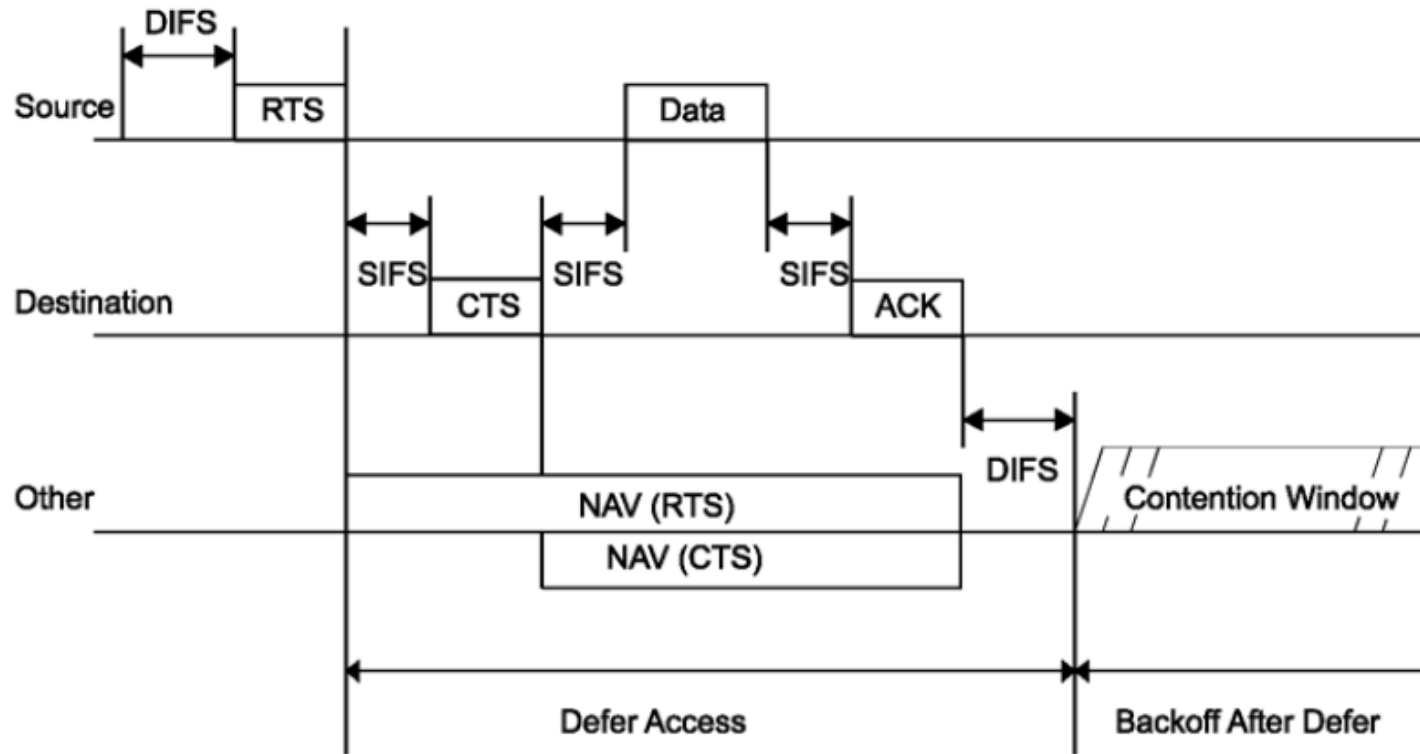


- RTS/CTS: Ready-to-Send / Clear-to-Send
 - Erweiterung zur CSMA/CA zur Lösung des Hidden Node Problems
 - verschärft das Exposed Node Problem



- Anstatt direkt einen Frame zu übertragen sendet die Station zunächst eine RTS-Nachricht inklusive NAV. Alle Stationen, die RTS empfangen, d.h. alle Stationen, die Nachrichten von Station A empfangen und dekodieren können, dürfen während NAV nicht übertragen.
- Station B empfängt RTS und erkennt, dass sie die Ziel-Station ist. Daraufhin überträgt sie eine CTS-Nachricht inklusive NAV. Auch alle Stationen, die CTS empfangen, d.h. alle Stationen, die Nachrichten von B empfangen und dekodieren können insbesondere auch Hidden Nodes, dürfen während NAV nicht übertragen.

RTS/CTS



5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.2.3.1 NAV und Frame Bursting

5.2.3.2 RTS/CTS – Hidden und Exposed Nodes

5.2.3.3 EDCA – Priorisierung

5.2.3.4 Frame Aggregation

5.3 Channel Coding

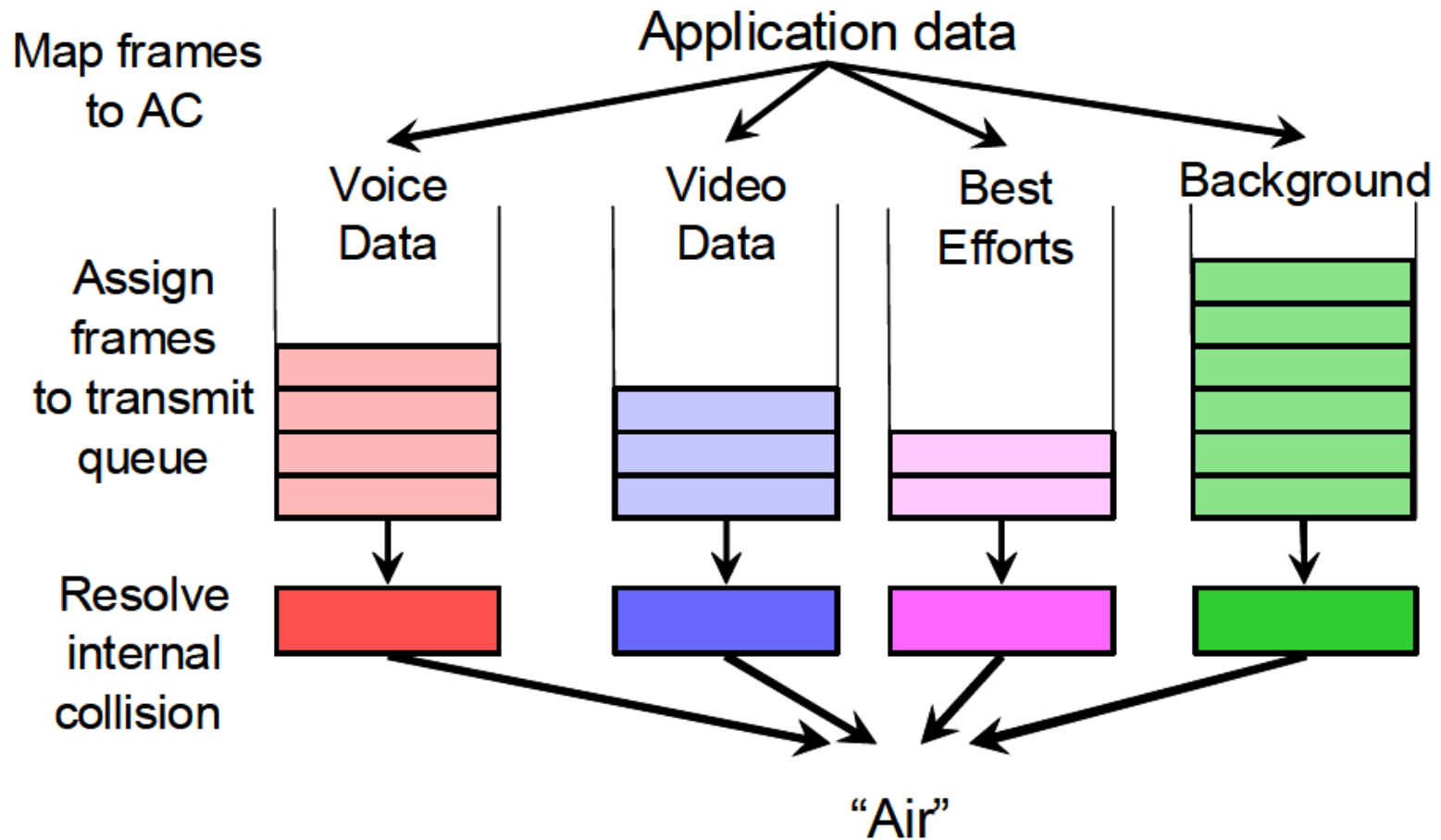
5.4 OFDM

5.5 MIMO

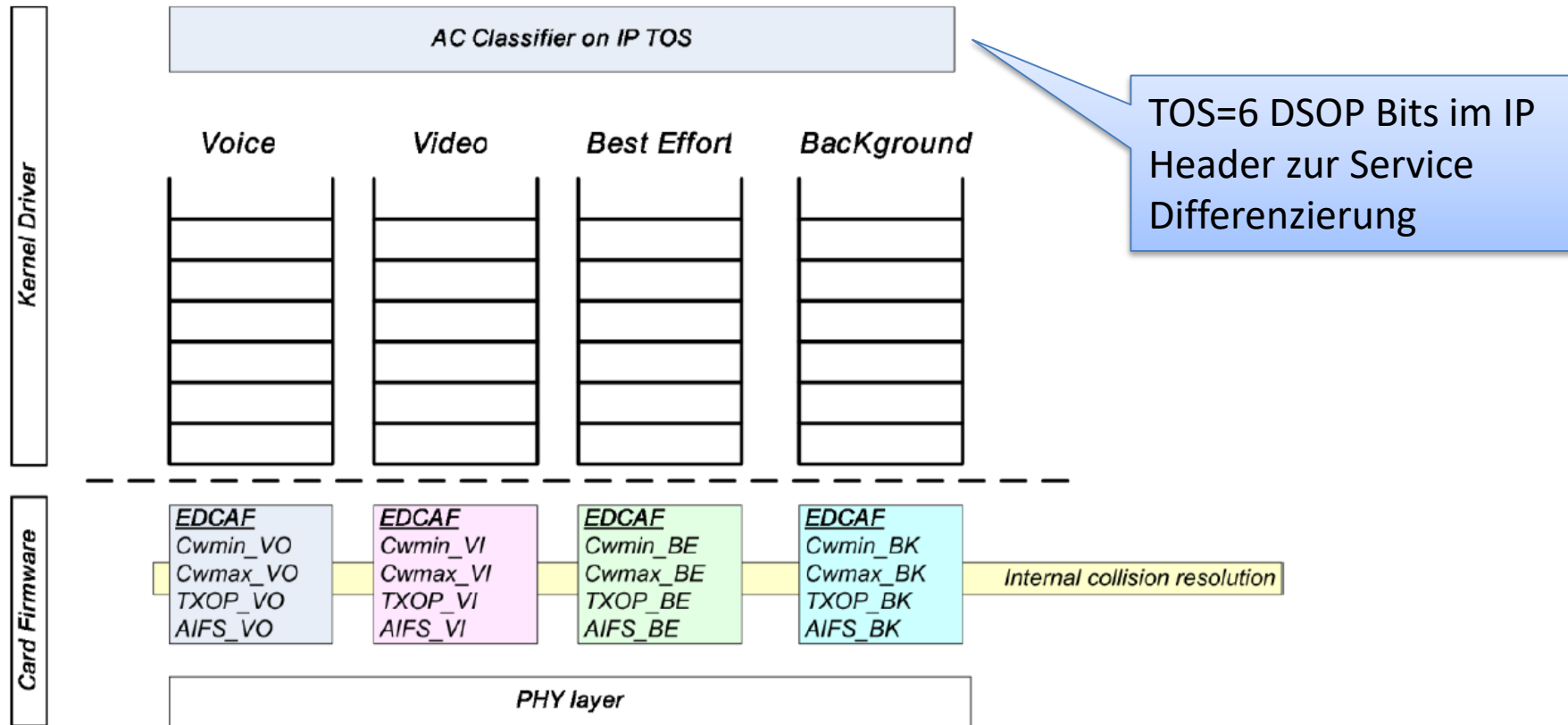
EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

- EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) ist eine Erweiterung der DCF (Distributed Coordination Function, CSMA/CA mit/ohne RTS/CTS) zur Differenzierung von Diensten
- Motivation von EDCA:
 - im Falle von DCF haben alle Stationen die gleiche Chance, den Kanal zu erhalten und müssen warten, falls der Kanal belegt ist. Wenn der Kanal wieder frei ist, konkurrieren sie gleichwertig um den Kanal.
 - DCF funktioniert gut, wenn alle Devices im WLAN delay-unkritischen Internetverkehr übertragen (Web-Seiten, Email, etc.)
 - wenn allerdings Devices mit delay-kritischen Anwendung wie Telefonie, Spielen oder Multimedia mit bandbreiten-intensiven Anwendungen wie YouTube-Videos oder File-Downloads konkurrieren, erzielen die delay-kritischen Anwendungen eine schlechte Qualität (Quality of Service, QoS) aufgrund von großen Delays oder Paketverlusten
- Produkte mit EDCA-Unterstützung werden von der WiFi (Wireless Fidelity) Alliance unter dem Label WMM (WiFi Multimedia) zertifiziert

Prinzip der Differenzierung



EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)



- Parameter der Access Kategorien (AC):
 - AIFS: Arbitrary Inter Frame Space
 - CWmin: minimale Contention Window Größe, aus dem der Backoff bei der ersten Übertragung gewählt wird
 - CWmax: maximale Contention Window Größe, limitiert den Binary Exponential Backoff Algorithmus
 - TXOP: Zeit, die einer Station pro Übertragung zur Verfügung steht

- AIFS: Arbitrary Inter Frame Space
 - ein kleiner AIFS zusammen mit einem kleinen Contention Window gewährt schnellen Zugriff auf den Kanal
 - Contention Window muss zur Vermeidung von Kollisionen innerhalb einer AC erhalten bleiben

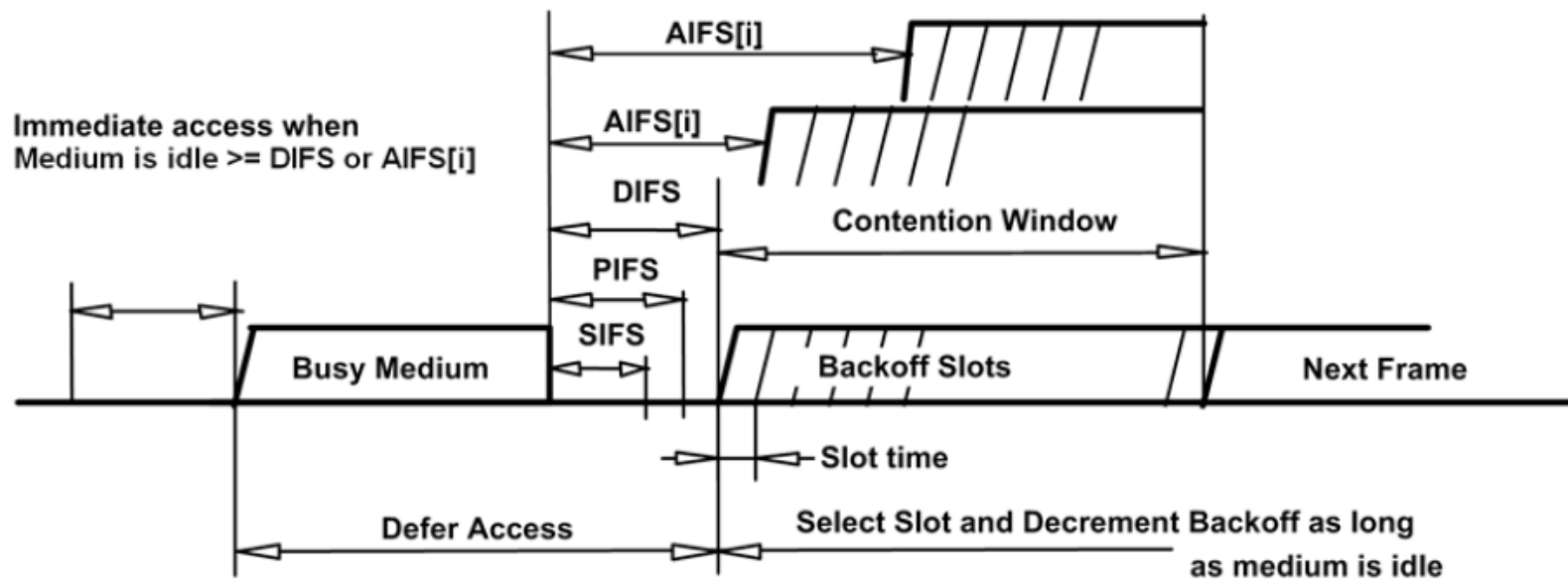
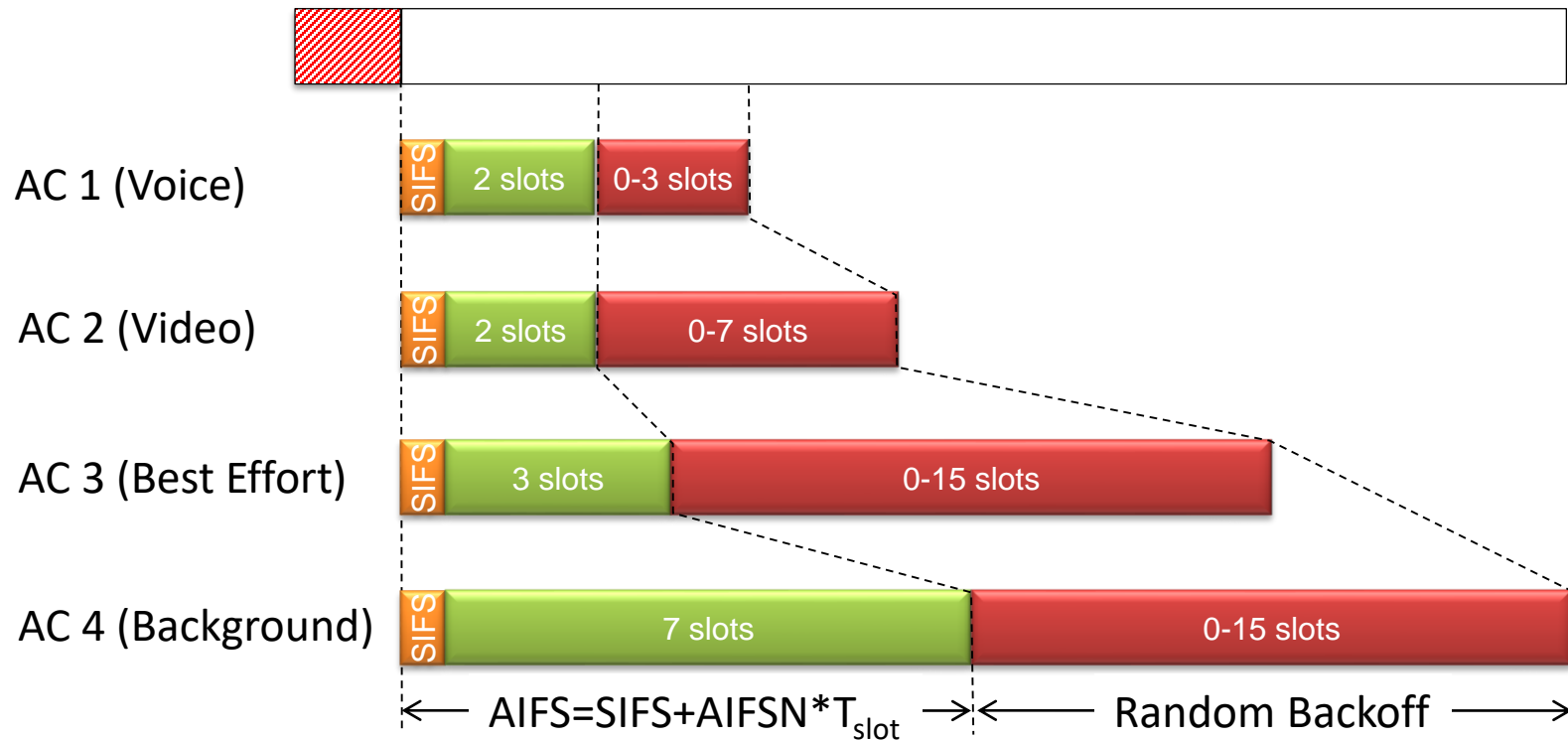


Figure 9-3—Some IFS relationships

Differenzierung beim Zugriff auf den Kanal



- Differenzierung beim Zugriff auf den Kanal erfolgt über AIFS und CWmin. Je kleiner AIFS und CWmin, desto kürzer ist die Wartezeit auf den Kanalzugriff.
 - AC 1 hat strikte Priorität gegenüber AC 4, da $\text{AIFS}[1] + \text{CWmin}[1] < \text{AIFS}[4]$
 - Kürzere AIFS gewähren kurze Wartezeiten und Kollisionsfreiheit mit ACs mit längeren AIFS, da die AC mit kürzerem AIFS zum Zuge kommt, wenn mehrere Stationen den Backoff heruntergezählt haben.

- TXOP: Transmission Opportunity
 - spezifiziert, wie lange eine Station nach Zugriff des Kanals übertragen darf
 - maximale Länge von NAV
 - keine Fragmentierung sondern Übertragung mehrerer MSDUs
 - Default-Werte:
 - 1504µs für AC 1 (Voice)
 - $1504\mu s = 47 * 32\mu s$
 - 3008µs für AC 2 (Video)
 - $3008\mu s = 94 * 32\mu s$
 - 0 für AC 3 und 4
 - 0 bedeutet, dass eine MSDU übertragen werden darf

Default WMM Parameter

3COM Cable/DSL Wireless 11n Firewall Router
Wireless Settings

Configuration Encryption WPS Client List WMM

WMM Function
☒ Enable WMM Function

WMM Parameters of Access Point

	Aifsn	CWMax	CWMin	Txop	ACM	AckPolicy
AC_BE	3	6	4	0		
AC_BK	7	10	4	0		
AC_VI	1	4	3	94	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AC_VO	1	3	2	47	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

WMM Parameters of Station

	Aifsn	CWMax	CWMin	Txop	ACM
AC_BE	3	10	4	0	<input type="checkbox"/>
AC_BK	7	10	4	0	<input type="checkbox"/>
AC_VI	2	4	3	94	<input type="checkbox"/>
AC_VO	2	3	2	47	<input type="checkbox"/>

Callout 1: $CWmin = 2^{CWmin-1}$

Callout 2: Vielfaches von 32μs

Beispiel: NetGear

Access Point Configuration Monitor Maintenance Stacking Diagnostics **LOGOUT**

System **Wireless** Security Profile WLAN Network Captive Portal

Basic
Advanced
 » Radio On/Off
 » Wireless
 » **QoS Settings**
 » RF Management
 » Preferred Band

Advanced QoS Settings

Group-1 Group-2 Group-3

802.11b/bg/ng 802.11a/na

AP EDCA parameters

Queue	AIFS	cwMin	cwMax	Max Burst
Data 0 (Best Effort)	3	15	63	0
Data 1 (Background)	7	15	1023	0
Data 2 (Video)	1	7	15	3008
Data 3 (Voice)	1	3	7	1504

Station EDCA parameters

Queue	AIFS	cwMin	cwMax	TXOP Limit
Data 0 (Best Effort)	3	15	1023	0
Data 1 (Background)	7	15	1023	0
Data 2 (Video)	2	7	15	3008
Data 3 (Voice)	2	3	7	1504

CANCEL APPLY

Keine Verwendung von TXOP am AP, nur MaxBurst

5.1 Basics

5.2 Multiple Access

5.2.1 Multiple Access in a Radio Network

5.2.2 Basic CSMA/CA

5.2.3 Variants and Enhancements

5.2.3.1 NAV und Frame Bursting

5.2.3.2 RTS/CTS – Hidden und Exposed Nodes

5.2.3.3 EDCA – Priorisierung

5.2.3.4 Frame Aggregation

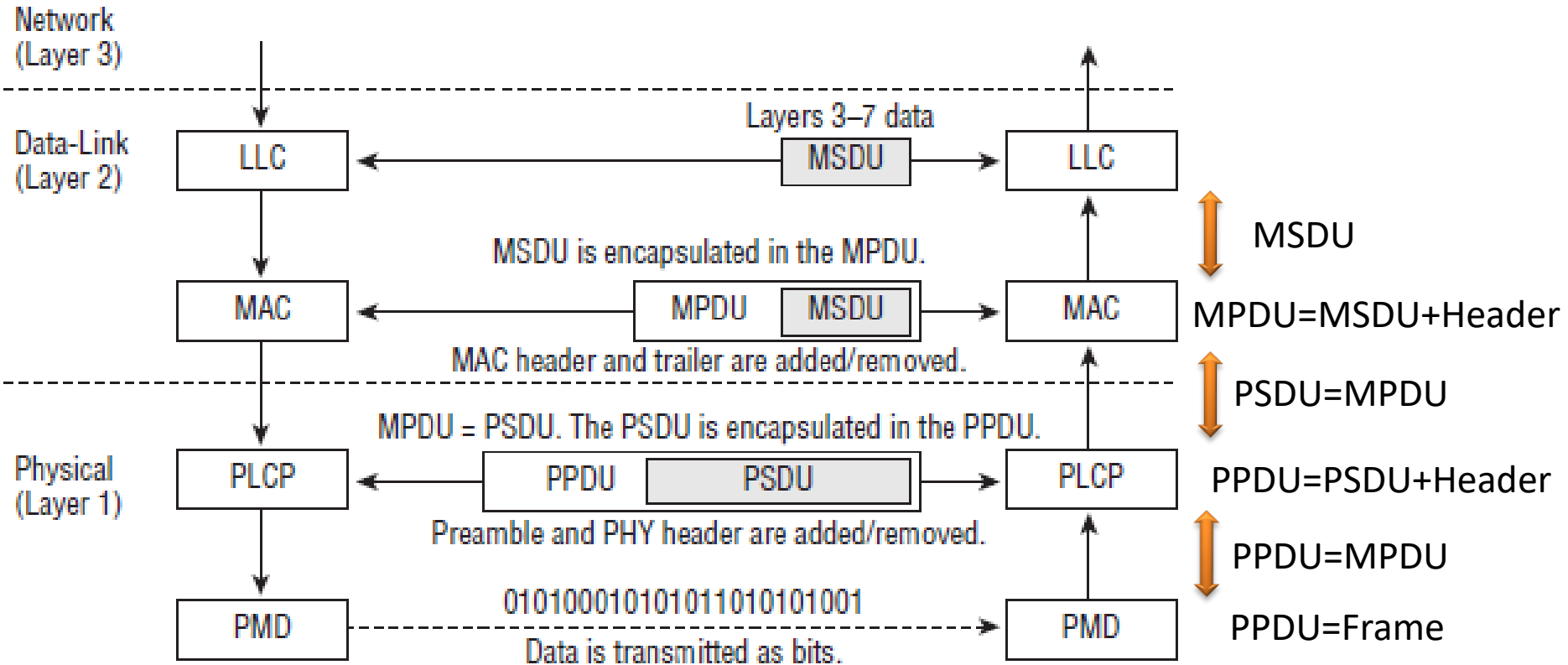
5.3 Channel Coding

5.4 OFDM

5.5 MIMO

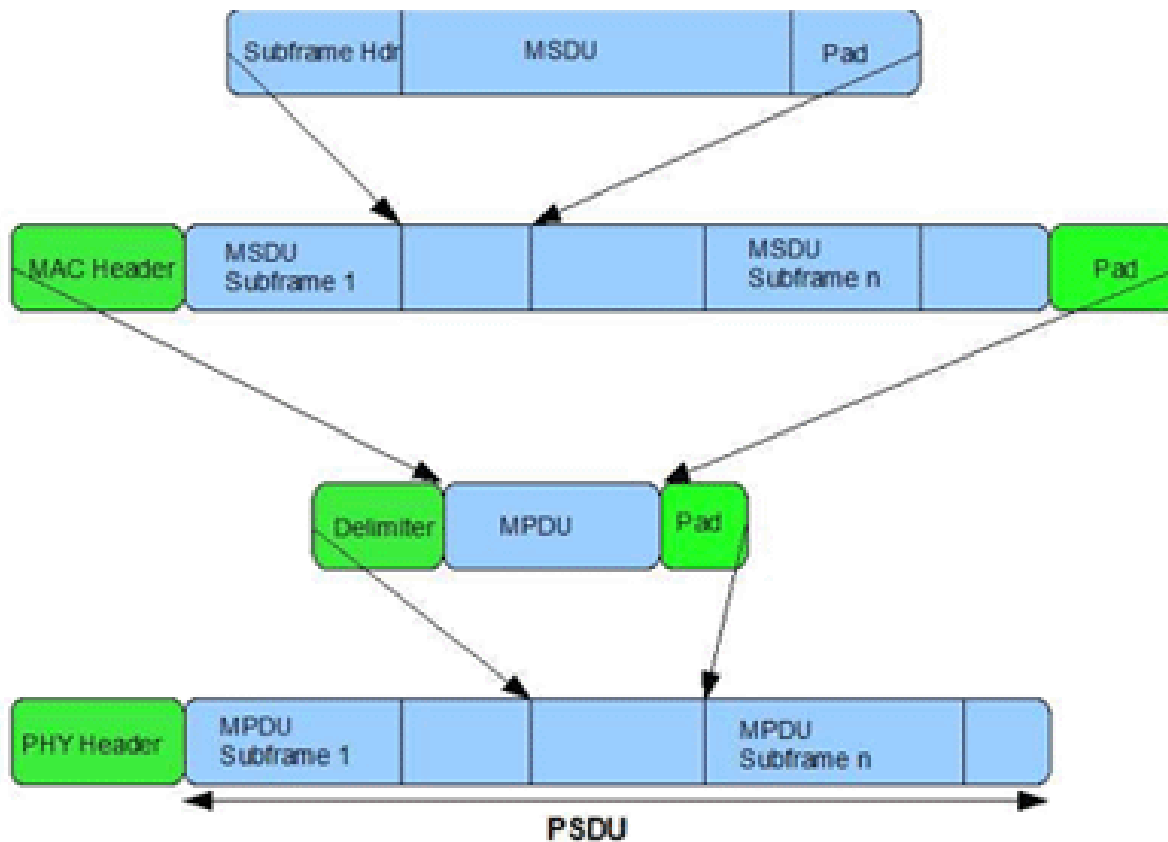
WiFi – Pakete und Protokolle

- LLC (Logical Link Control, IEEE 802.2): Austausch von MSDUs (MAC Service Data Units)



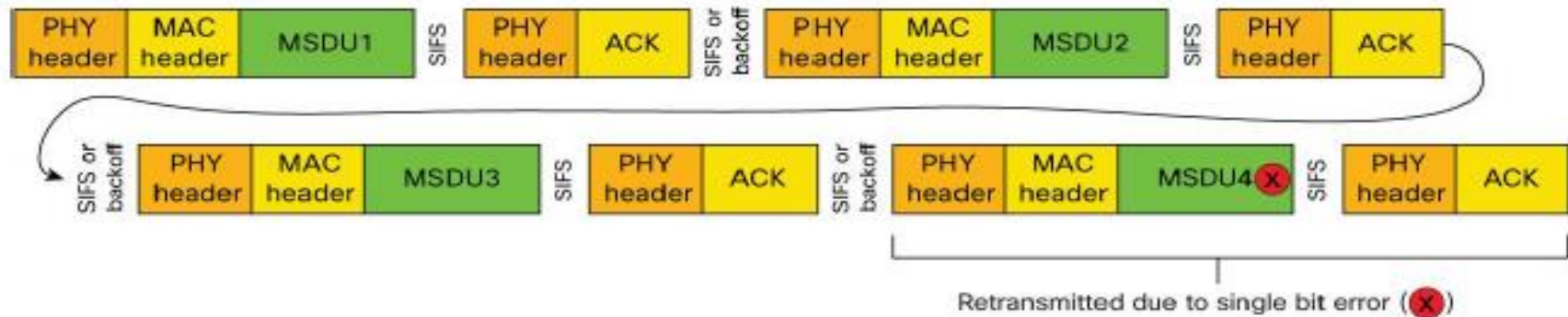
- PLCP (Physical Layer Convergence Procedure, IEEE 802.11) sublayer: Unterstützung verschiedener Physical Layer für einen gemeinsamen MAC Layer
- PMD (Physical Medium Dependent, IEEE 802.11) sublayer: Übertragung von Bits entsprechend dem Physical Layer

Frame Aggregation (IEEE 802.11n)



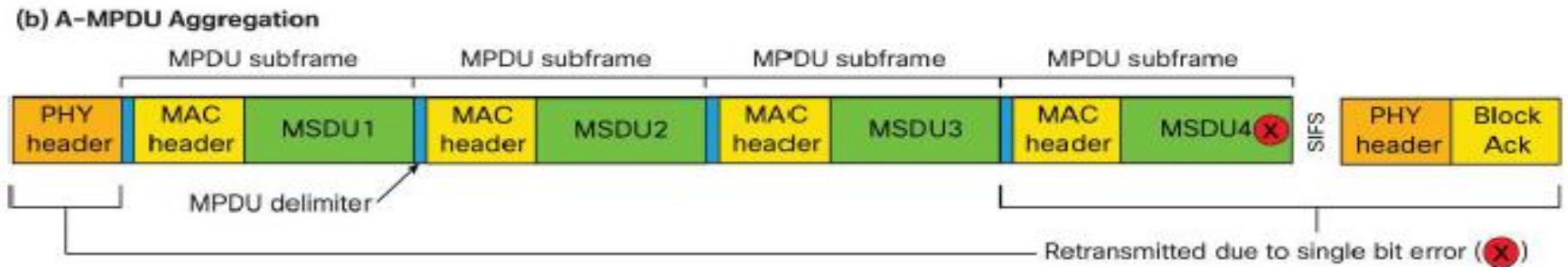
Frame Aggregation in IEEE802.11n

(a) No Aggregation



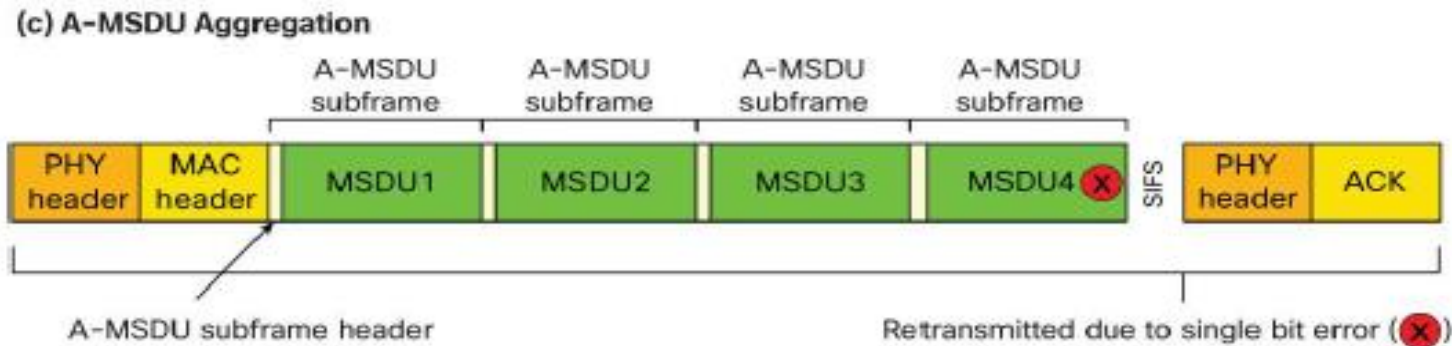
- Datenübertragung:
 - ein MSDU pro Frame entweder einzeln (Backoff) oder als Frame-Burst (SIFS)
- Bestätigung:
 - jede MSDU wird extra durch ein ACK in eigenem Frame bestätigt
- Overhead pro Übertragung:
 - $N \cdot (2 \times \text{PHY-Header} + \text{MAC-Header} + 2 \times \text{SIFS} [+ \text{backoff}])$
 - PHY-Header müssen von ALLEN Stationen verstanden werden und werden daher mit der kleinsten Bandbreite gesendet. Stationen mit sehr großer Bandbreite haben einen sehr großen Overhead bei der Übertragung der Header

Aggregation auf dem PHY Layer



- Aggregation auf der physikalischen Schicht
 - Übertragung mehrerer MPDUs in einem Frame A-MPDU (Aggregate MPDU) mit mehreren Subframes
 - A-MPDU=PHY Header+mehrere MPDUs
 - jeder Subframe enthält einen Delimiter (Mini-Header)+ ein MPDU (MSDU+Header)
 - Hinweis: ACKs werden immer pro MPDU generiert. Der MPDU Delimiter enthält die Information (CRC, Cyclic Redundancy Check), um zu überprüfen ob die Daten korrekt sind
- Block Acknowledgement
 - anstatt ein ACK pro MSDU wird am Ende ein Block ACK übertragen, dass selektiv den korrekten Empfang jeder einzelnen MSDU bestätigt
 - Selective Repeat: individuelle Wiederholungsübertragung einzelner MSDUs
- Overhead pro Übertragung:
 - $2 \times \text{PHY-Header} + \text{BlockACK} + \text{SIFS} + N \times \text{MAC-Header}$
 - Einsparung von $2 \times N - 2$ PHY Header+SIFS+ACK

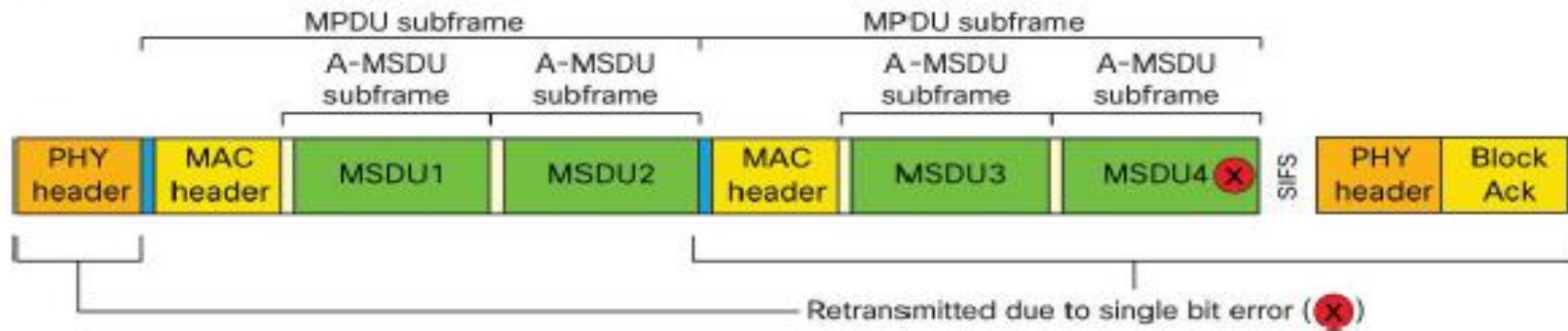
Aggregation auf dem MAC Layer



- Aggregation auf der MAC Schicht
 - mehrere MSDUs werden zu einer aggregierten A-MSDU zusammengepackt
 - es gibt nur einen MAC Header für alle MSDUs
 - $MPDU = MAC\text{-}Header + N \times MSDU$
 - der Physical Layer sieht nur eine MPDU ($PSDU = MPDU$) und fügt einen PHY Header an
 - $PPDU = PSDU + PHY\text{-}Header$
- Acknowledgement
 - in diesem Fall gibt es kein BlockACK sondern nur ein individuelles ACK für die gesamte MPDU, da die CRC nur im PHY Header enthalten ist
 - im Fehlerfall müssen die kompletten Daten noch einmal übertragen werden
- Overhead pro Übertragung:
 - $2 \times PHY\text{-}Header + ACK + SIFS + MAC\text{-}Header$
 - Einsparung von $N-1$ MAC-Header im Vergleich zur Aggregation auf dem PHY-Layer

Aggregation auf PHY und MAC Layer

(d) A-MPDU of A-MSDU Aggregation



- Aggregation auf der MAC und PHY Schicht
 - MAC Aggregation=mehrere MSDUs in einer A-MSDU
 - MPDU=MAC-Header+A-MSDU
 - PHY Aggregation=mehrere MPDUs/PSDUs in einer A-MPDU/A-PSDU
 - PPDU=PHY-Header+A-MPDU/A-PSDU
- Acknowledgement
 - BlockACK mit einem Acknowledgement pro A-MPDU
 - A-MPDUs müssen als ganzes Übertragen werden
- Overhead pro Übertragung:
 - $2 \times \text{PHY-Header} + \text{BlockACK} + \text{SIFS} + N/K \times \text{MAC-Header}$
 - Kompromiss zwischen MAC- und PHY-Aggregation

- Mehrfachzugriffsverfahren (Multiple Access Scheme) legen fest, nach welchen Regeln Stationen auf ein gemeinsames Medium (Funk) zugreifen (übertragen) dürfen
- CSMA/CA bedeutet, dass
 - Stationen andauernde Übertragungen abwarten müssen
 - nach dem Ende einer Übertragung eine zufällige Zeitspanne warten müssen, bis sie eine Übertragung starten können
- Erweiterungen von CSMA/CA dienen dazu
 - Kollisionen im Falle von Hidden Nodes zu verhindern (RTS/CTS)
 - den Overhead von CSMA/CA zu verringern, um eine größere Datenrate zu erzielen (Frame Aggregation, Frame Bursting)
 - Anwendungen über kürzere Wartezeiten (AIFS) zu differenzieren, um delay-kritische oder wichtigere Anwendungen zu priorisieren (EDCA)