

# WLAN-Vorlesung

## Teil-4

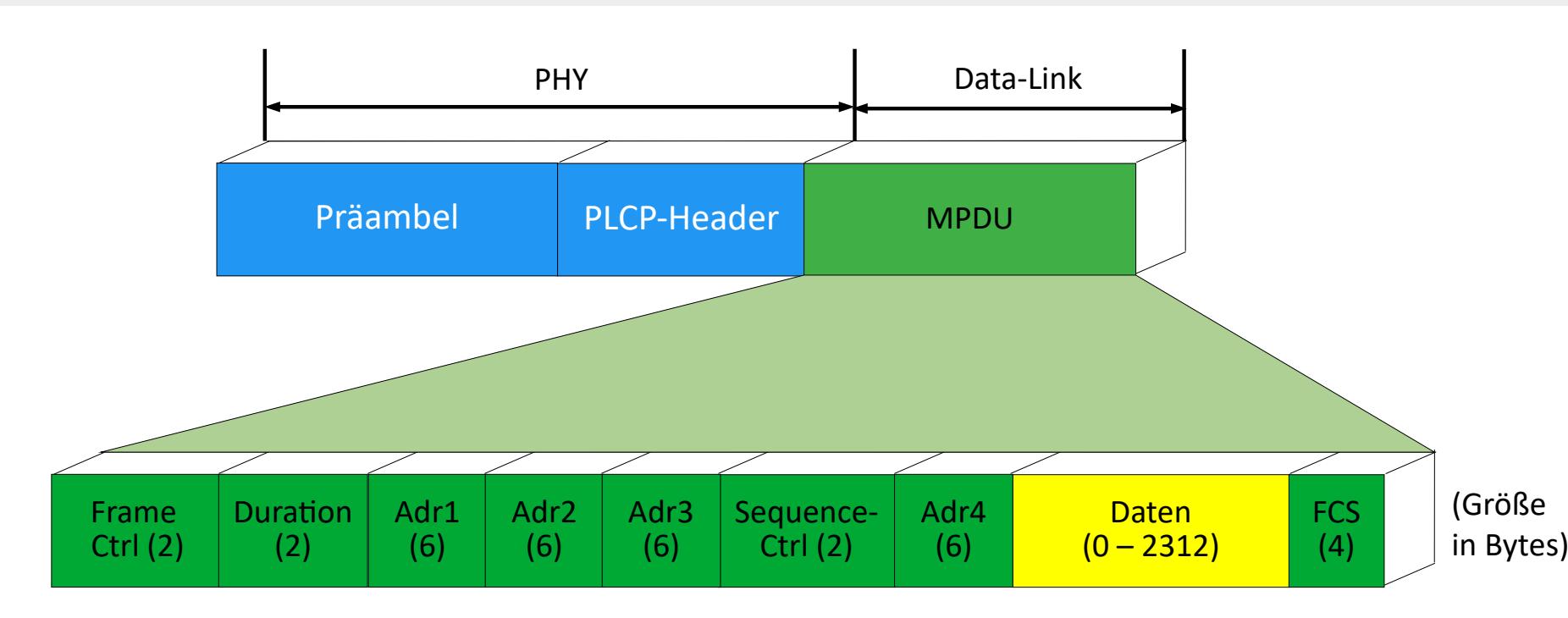
# Inhalt

- MAC-Ebene
  - ◆ Header
  - ◆ Frame-Typen
  - ◆ MAC-Adressen
- Medium-Zugriff
  - ◆ Inter-Frame-Space
  - ◆ Verwendung von DIFS und SIFS / Exponentieller Backoff
- DCF-Ablauf / Kollisionsauflösung
  - Hidden-Station-Problem / Exposed-Station-Problem
- PCF
- Fragmentierung / Zeitsynchronisaton / Energiesparfunktionen
- Management-Frames

## Aufgaben der MAC-Ebene

- Adressierung
- Medien-Zugriffsverfahren (CSMA/CA)
- Bildung von Prüfsummen (CRC)
- Quittierung (ACK)
- Fragmentierung und Reassemblierung
- Verschlüsselung

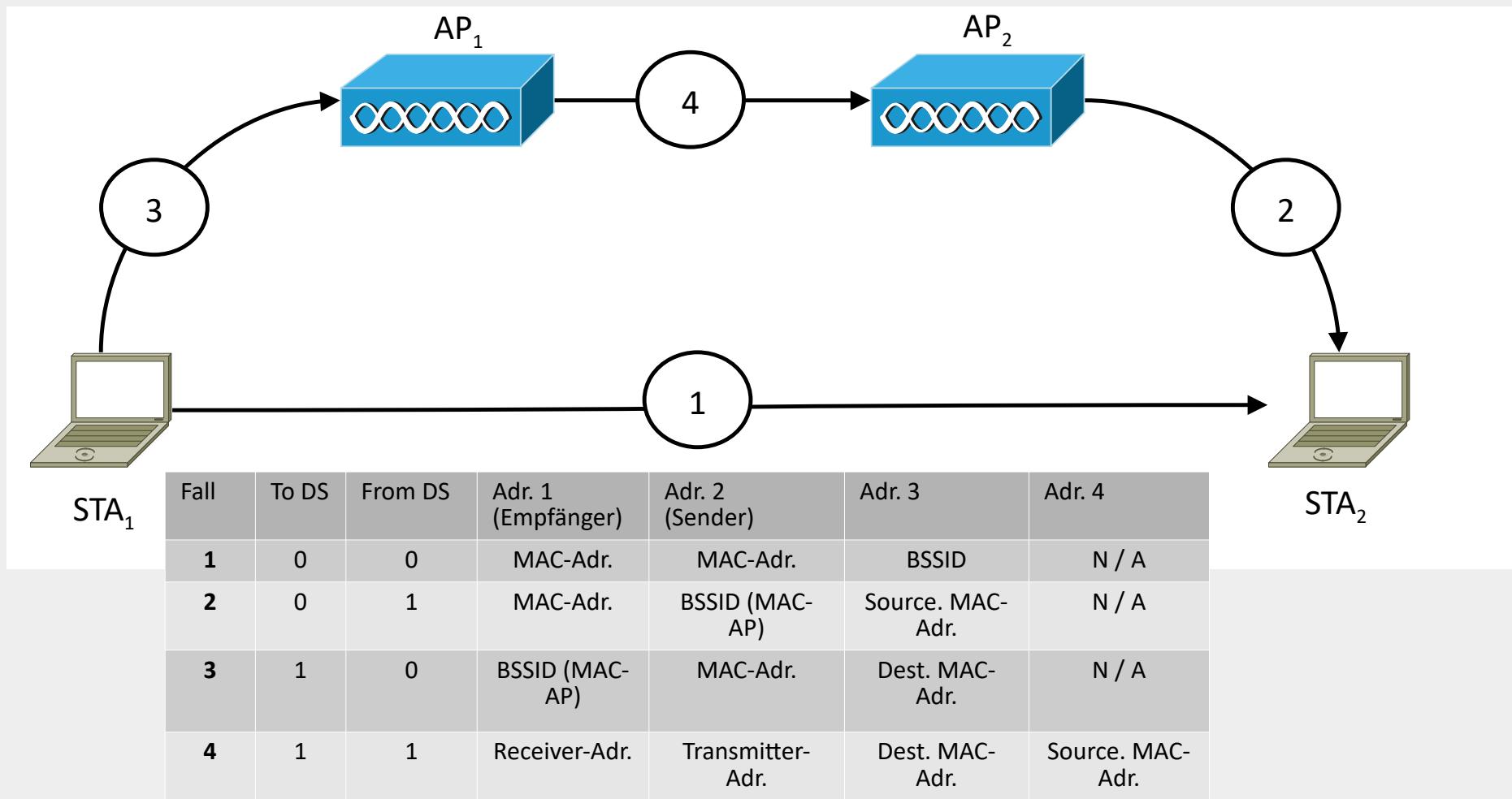
# Frameaufbau auf MAC-Ebene



# Aufbau des Control-Feldes

Protocol Version (2)	Type (2)	Subtype (4)	To DS (1)	From DS (1)	More Frag. (1)	Retry (1)	Power Mgmt (1)	More Data (1)	WEP (1)	Order (1)
-------------------------	-------------	----------------	--------------	----------------	-------------------	--------------	-------------------	------------------	------------	--------------

# Bedeutung der MAC-Adressen



## Medium-Zugriff

### DCF (Distributed Coordination Funktion)

Hierbei wird das Zugriffsverfahren über alle Teilnehmer verteilt realisiert

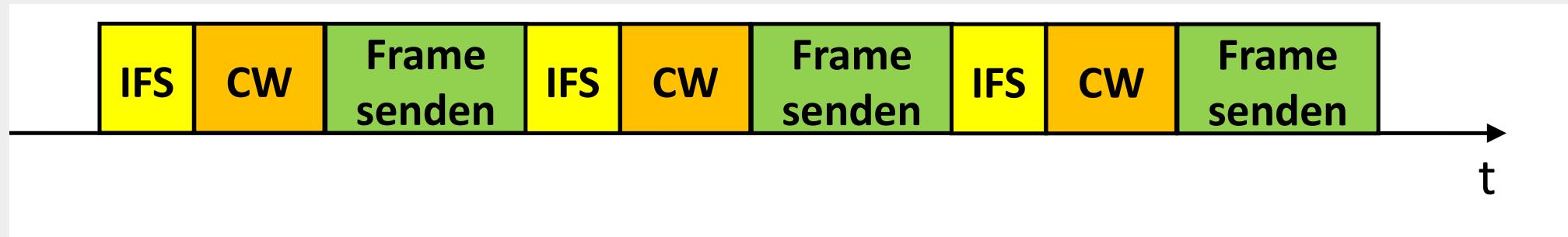
Mit CSMA/CA (obligatorisch)

Mit RTS/CTS (optional)

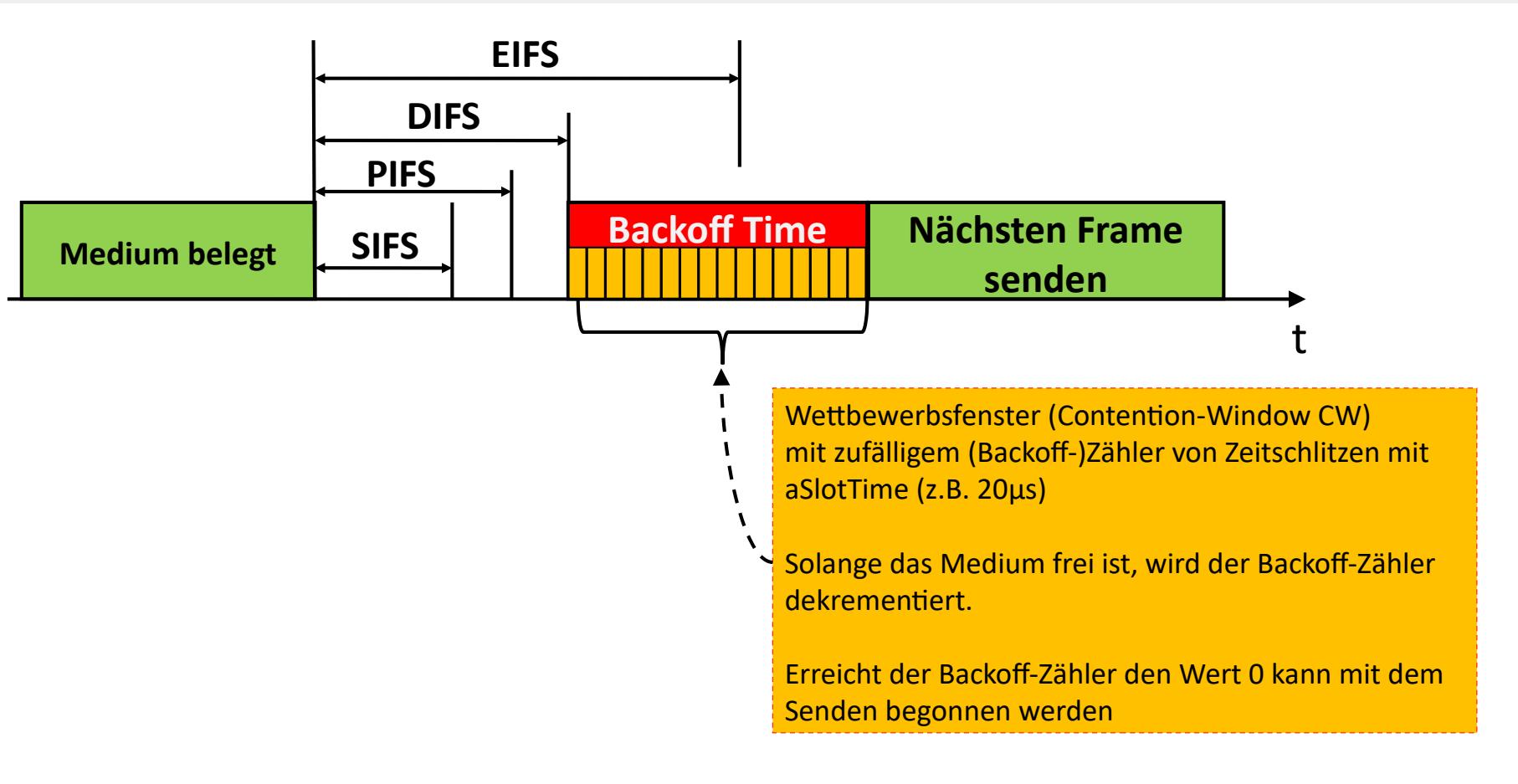
### PCF (Point Coordination Function) mit QoS-Unterstützung

Hierbei wird das Zugriffsverfahren an einer zentralen Stelle (also dem AP) realisiert

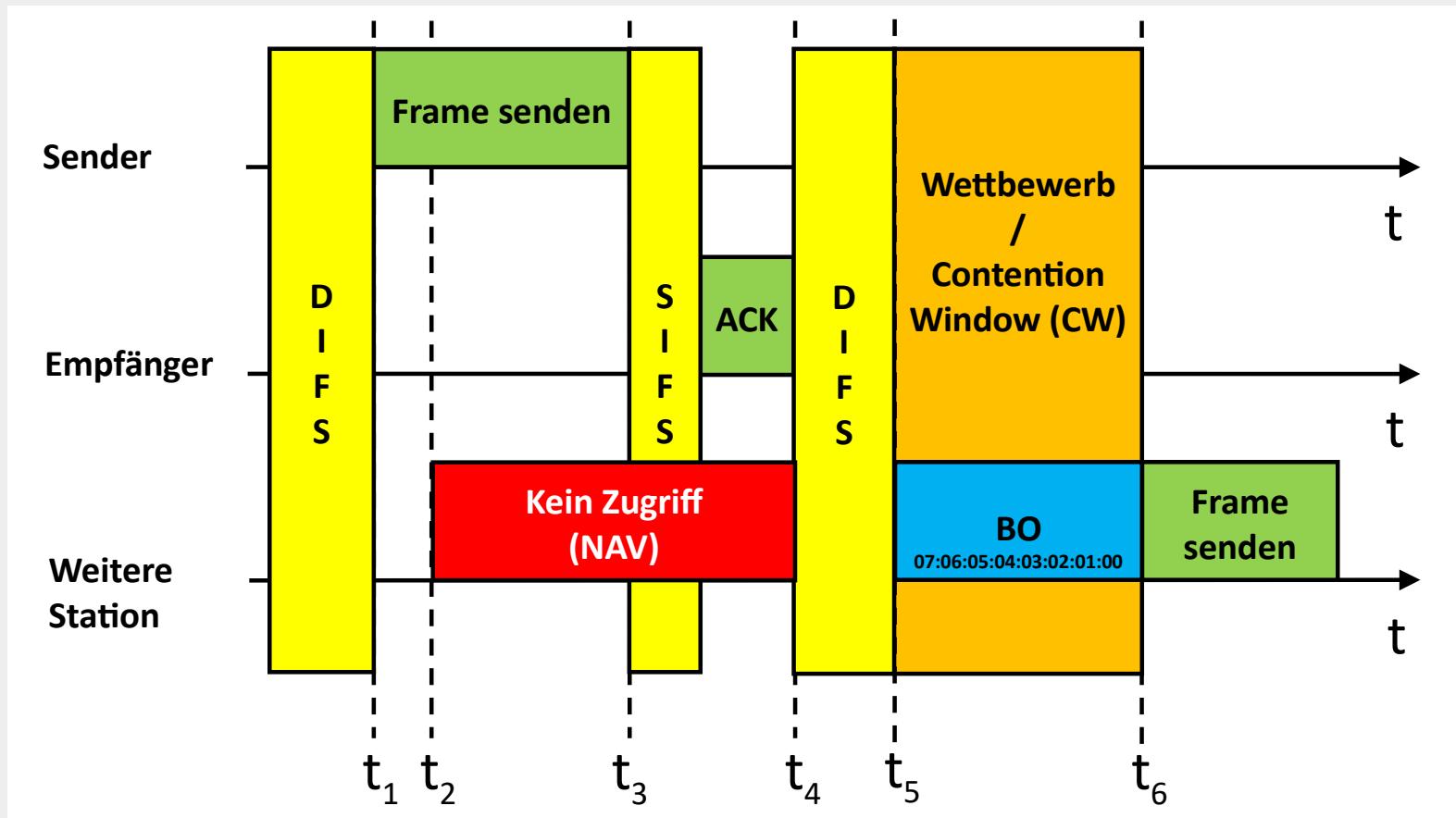
# Inter Frame Space / Contention-Window



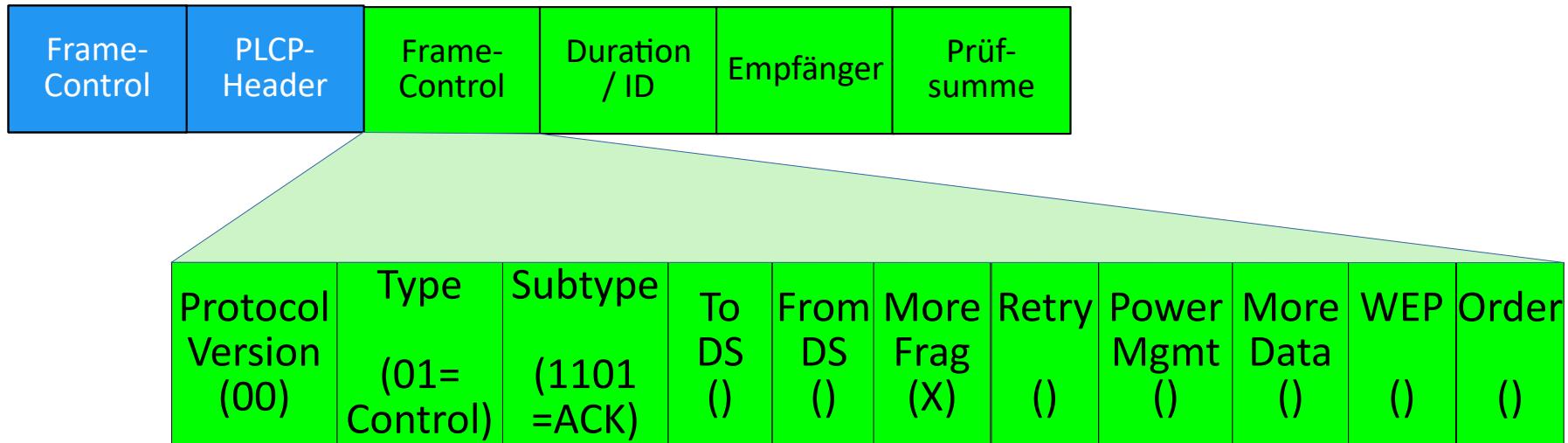
# Unterschiedliche IFS



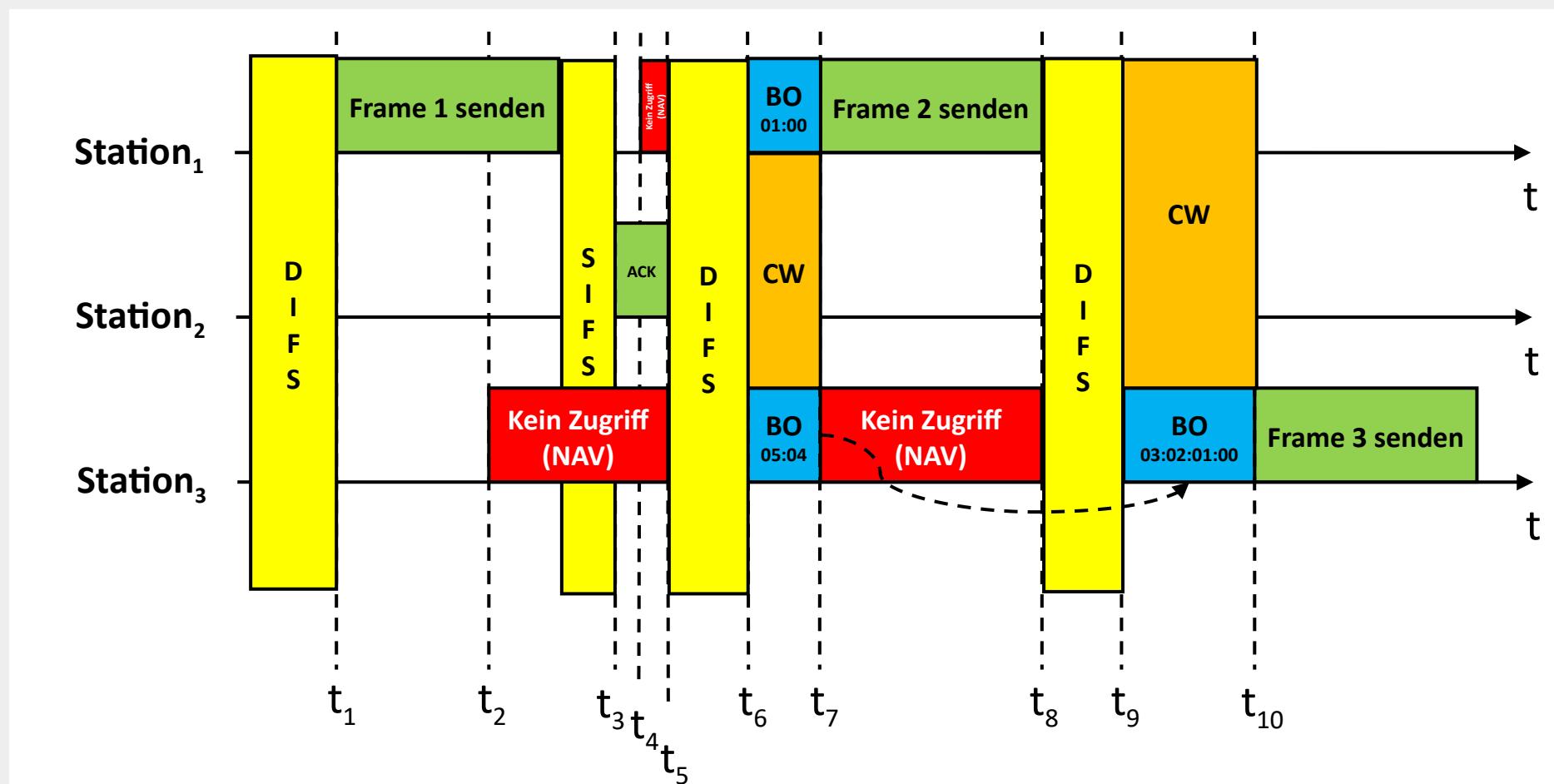
# Verwendung von DIFS und SIFS



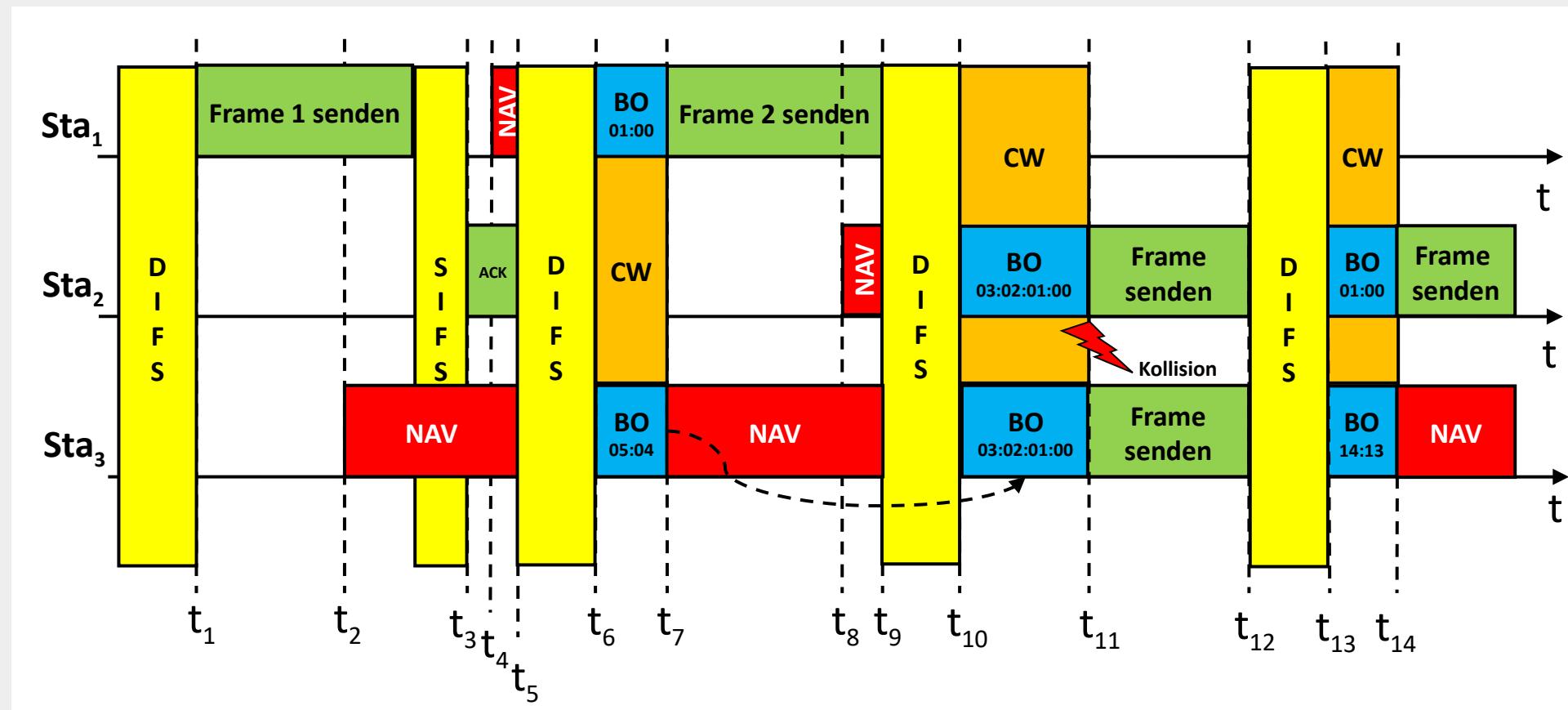
# Quittungen bei der DCF



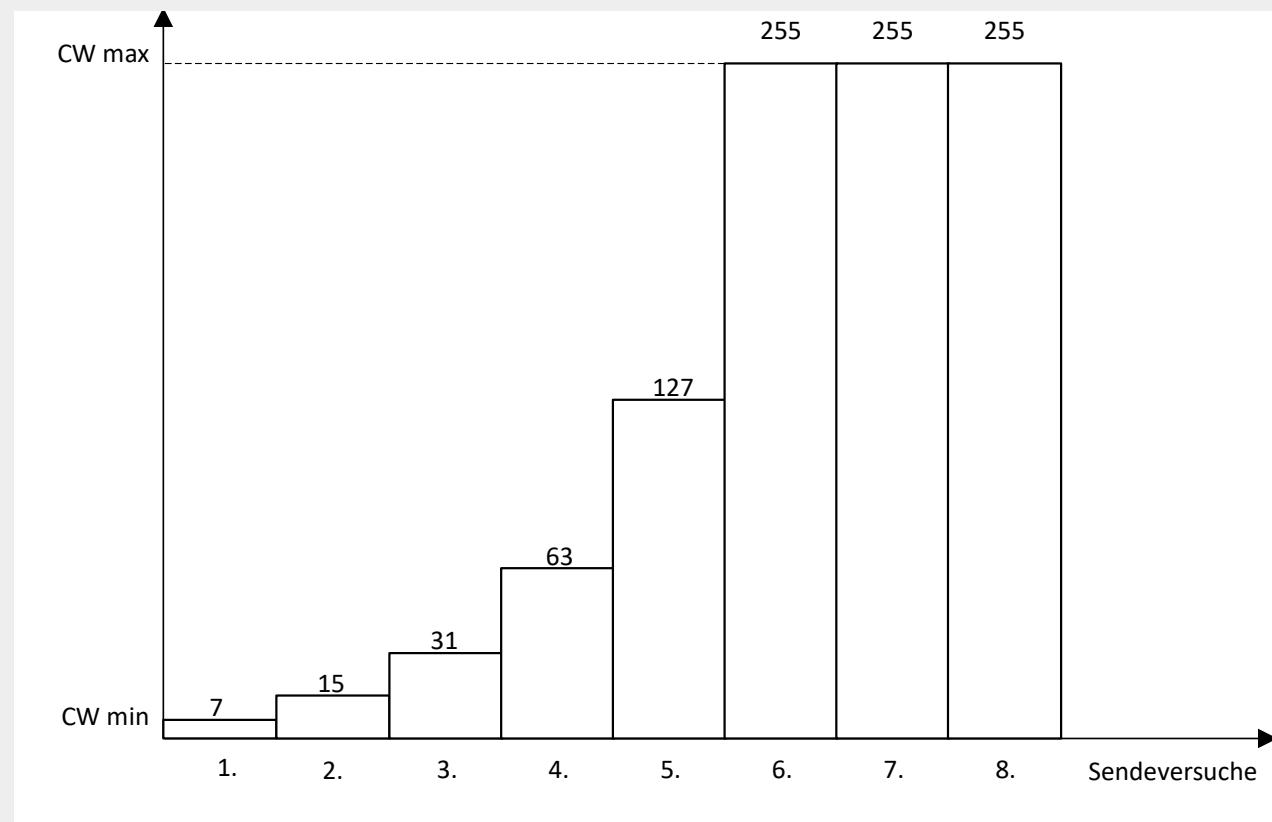
## DCF-Ablauf



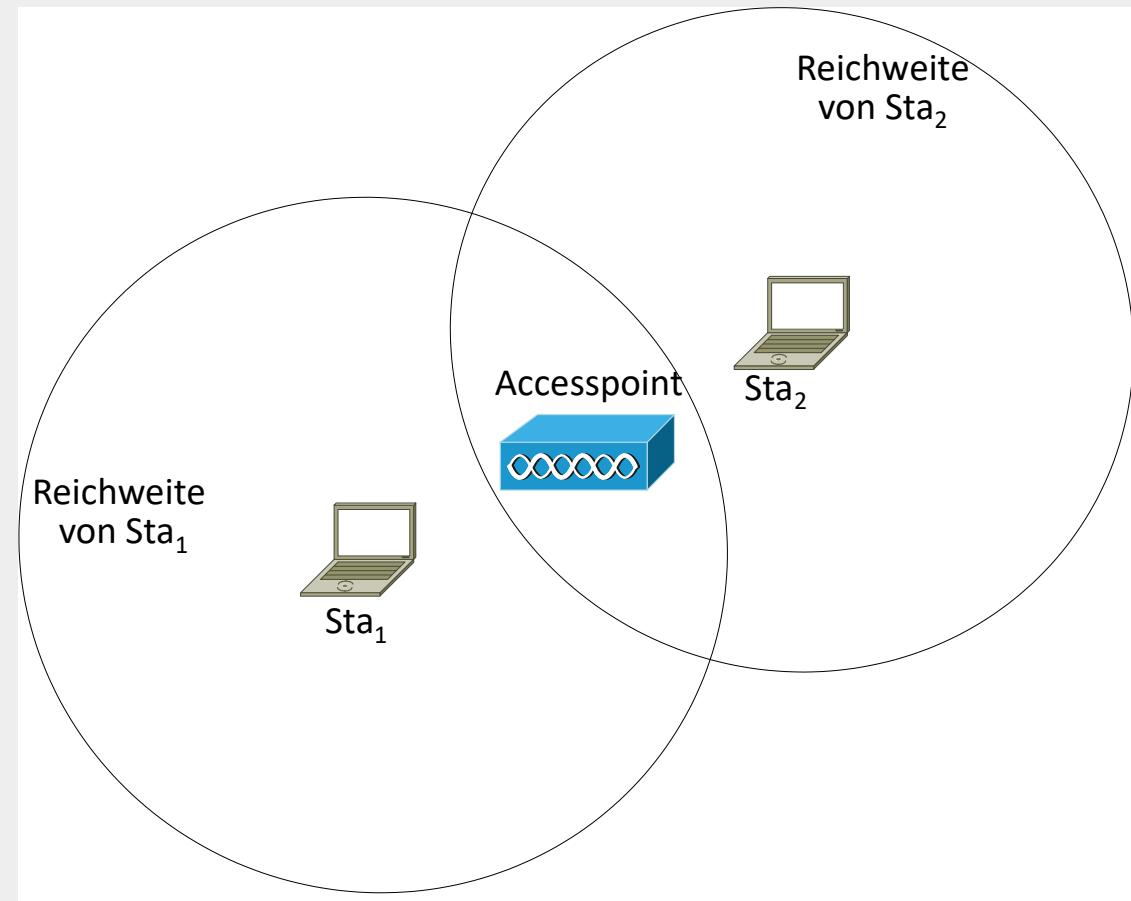
# Kollision und deren Auflösung



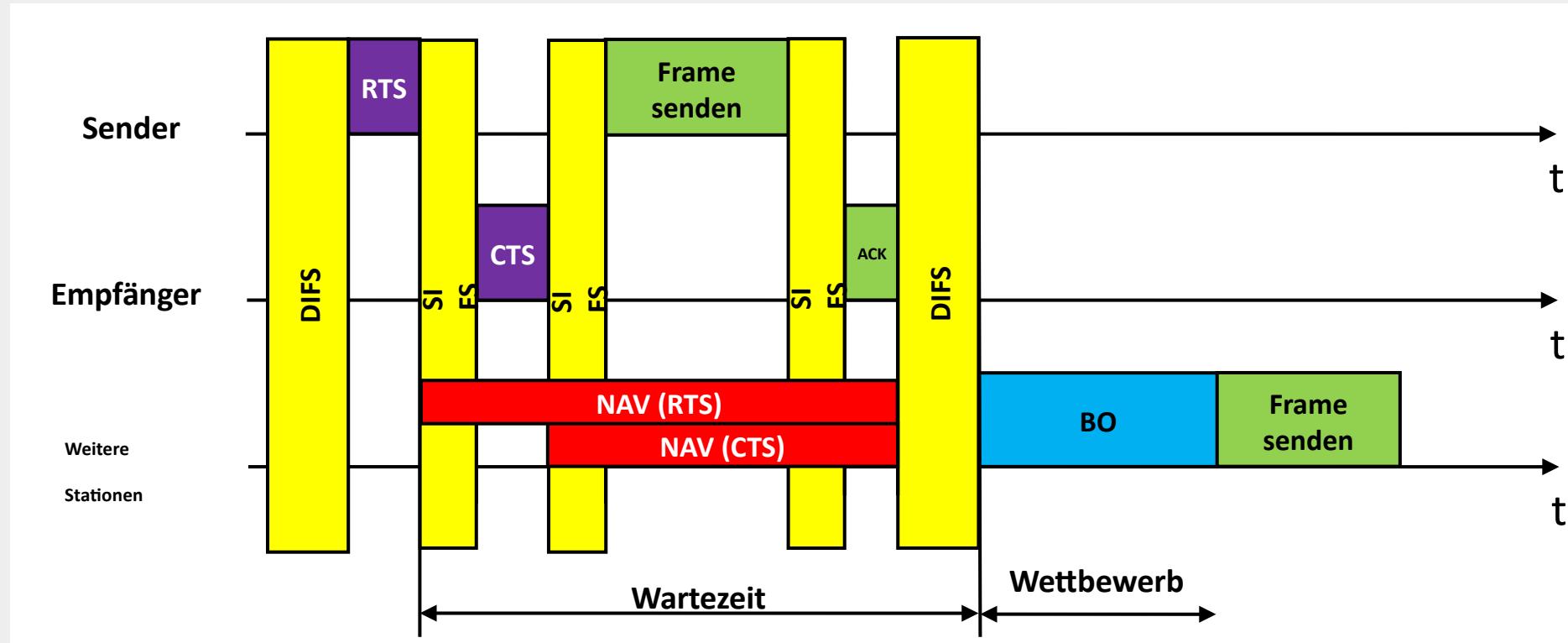
# Exponentieller Backoff



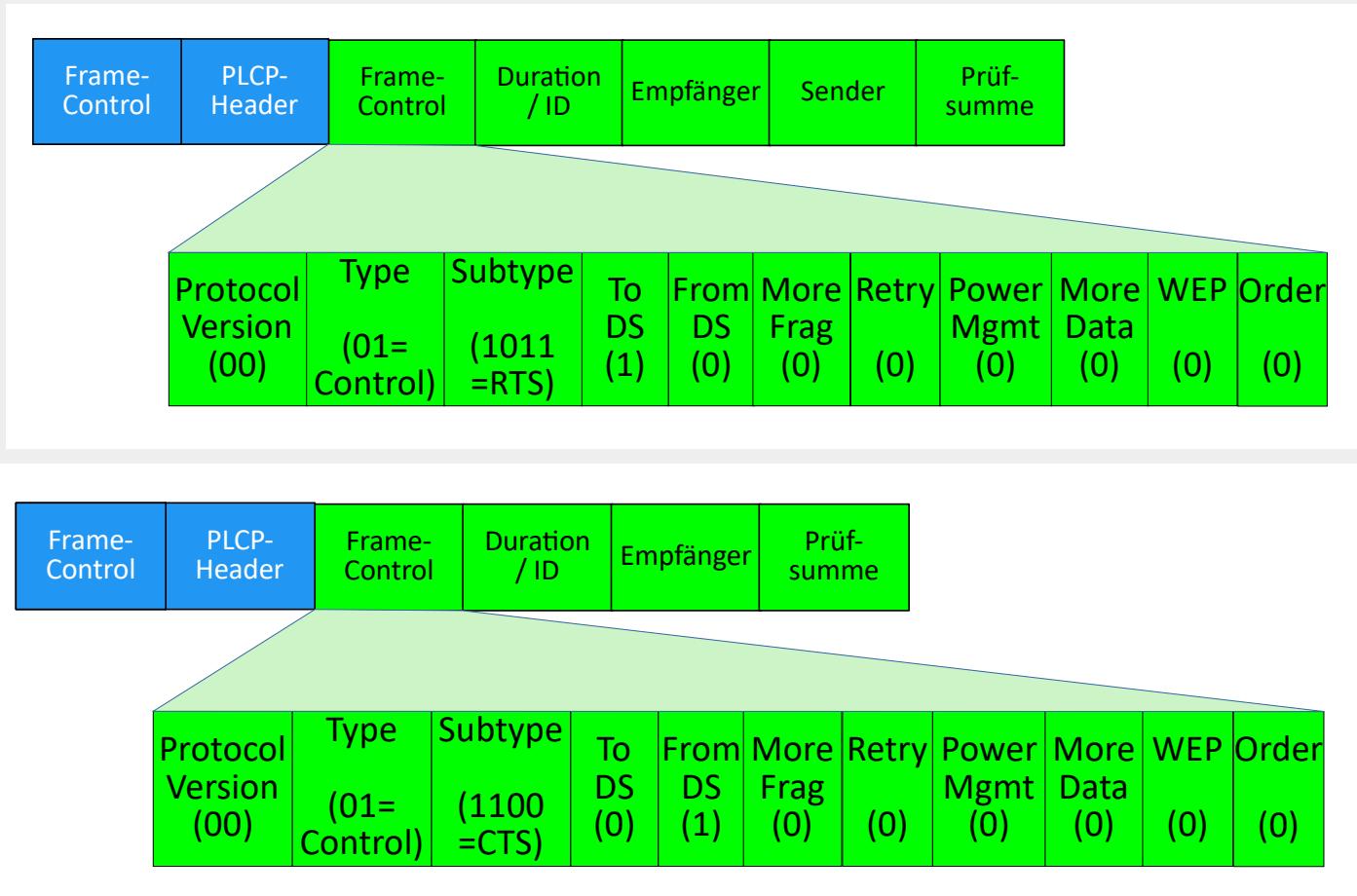
# Hidden Station Problem



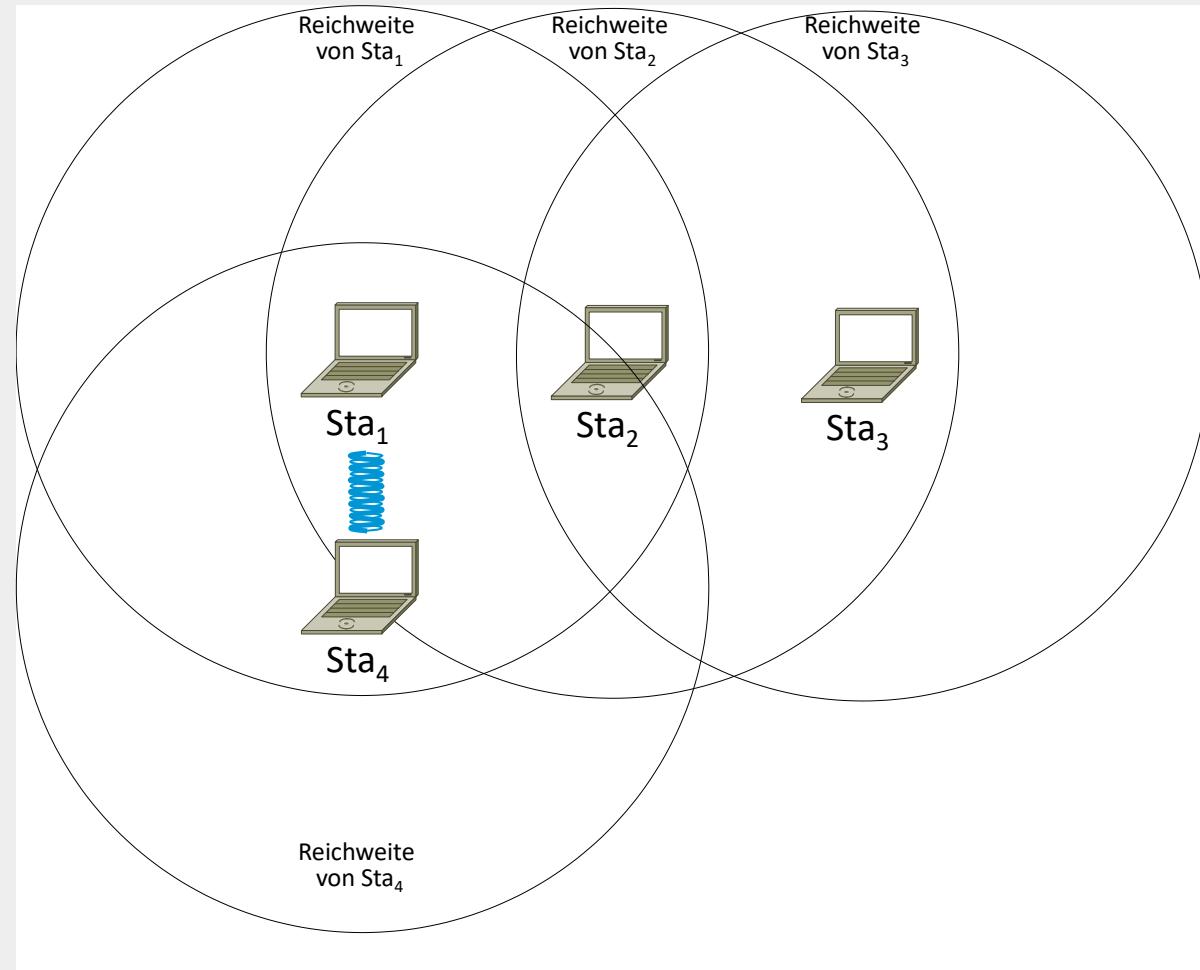
## RTS / CTS



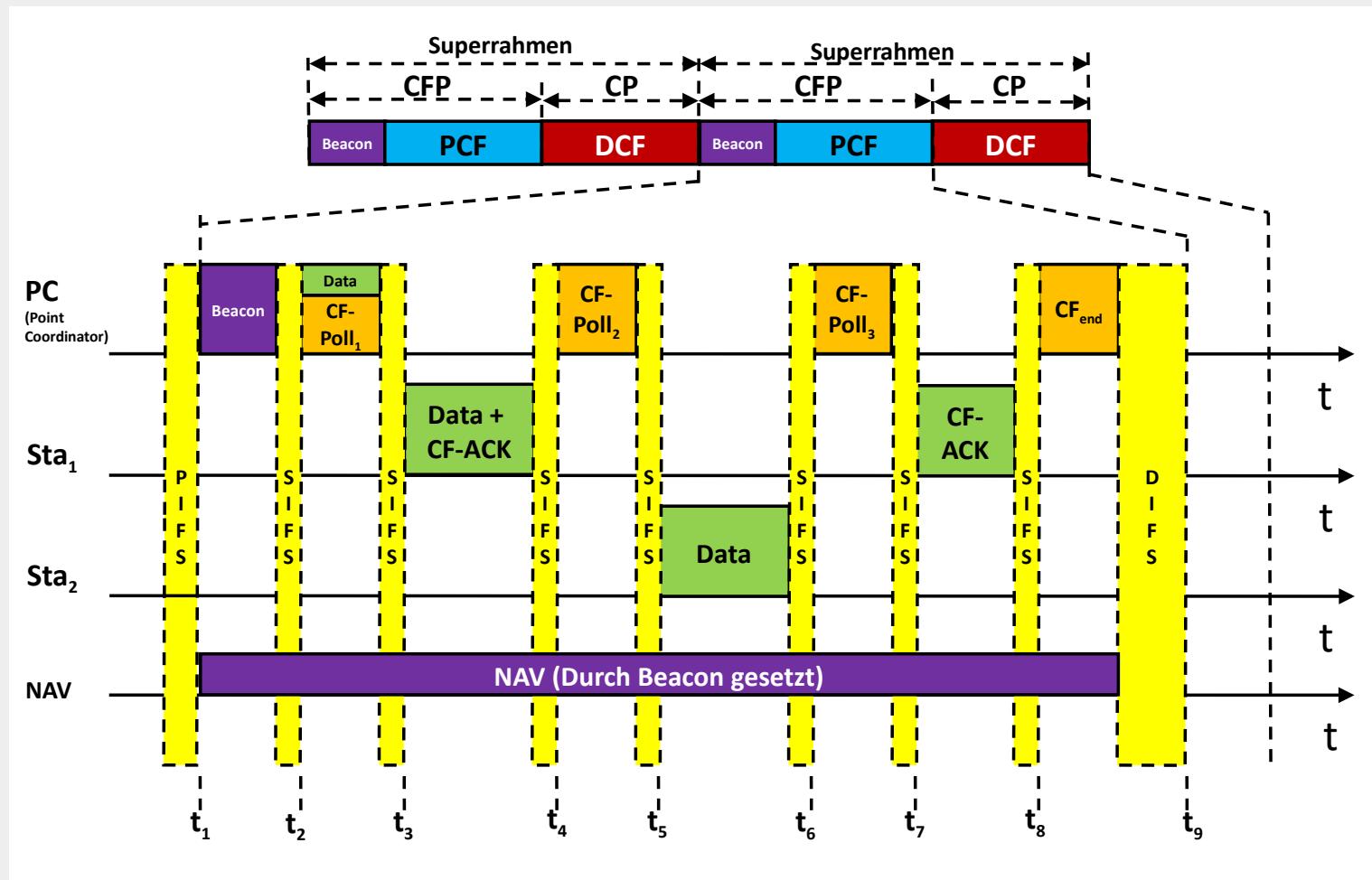
# RTS / CTS - Frameformat



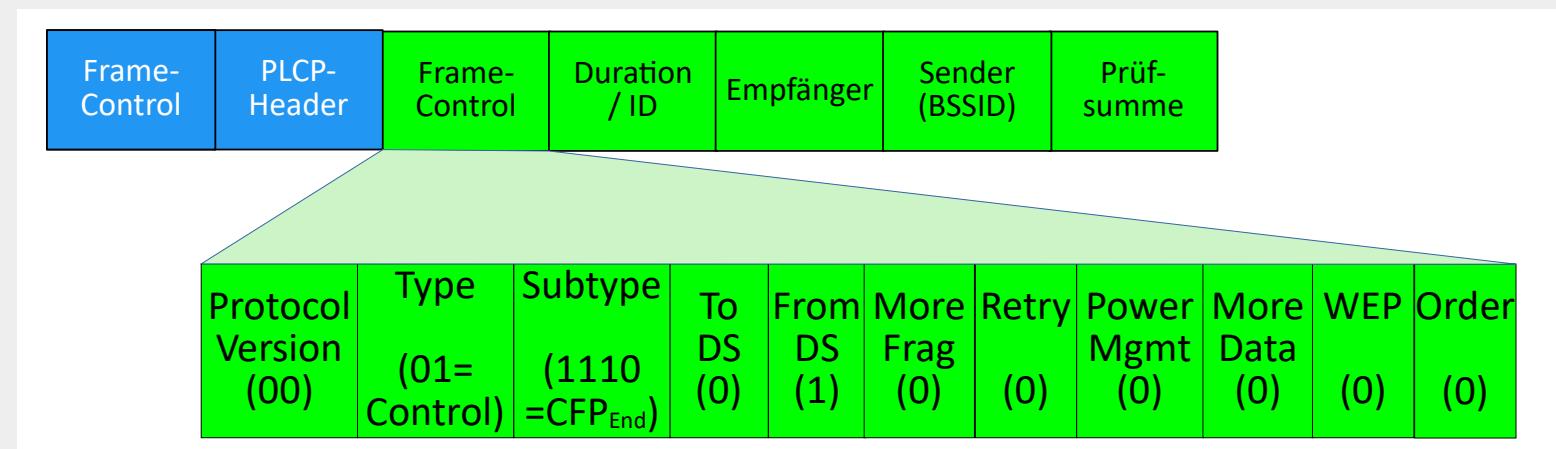
# Exposed-Station-Problem



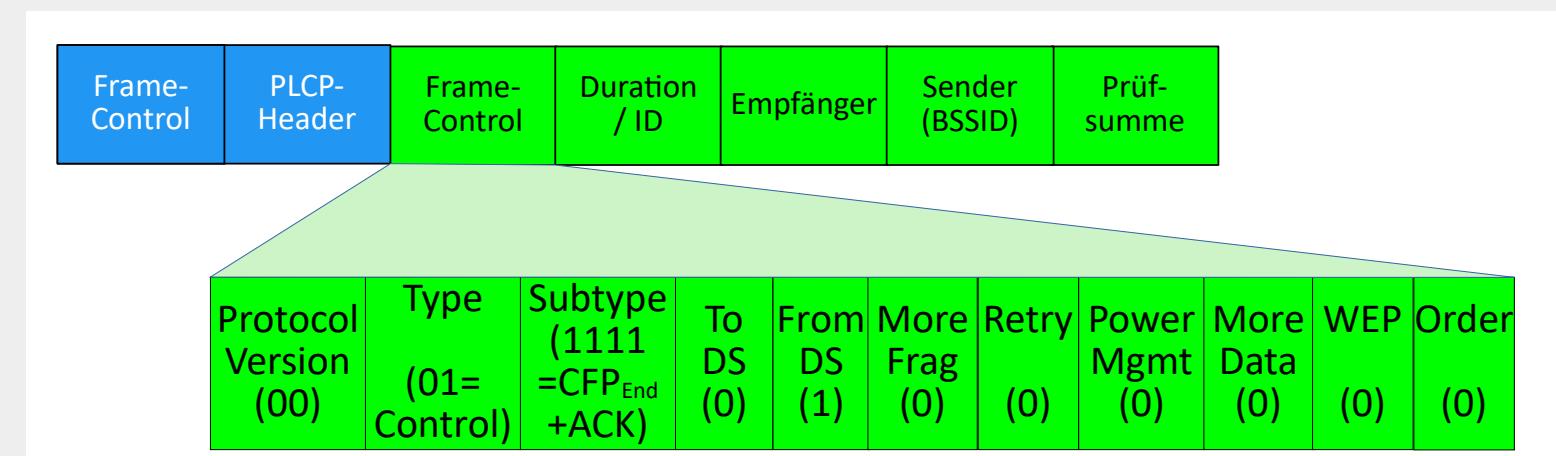
## PCF



# Frameformate für PCF

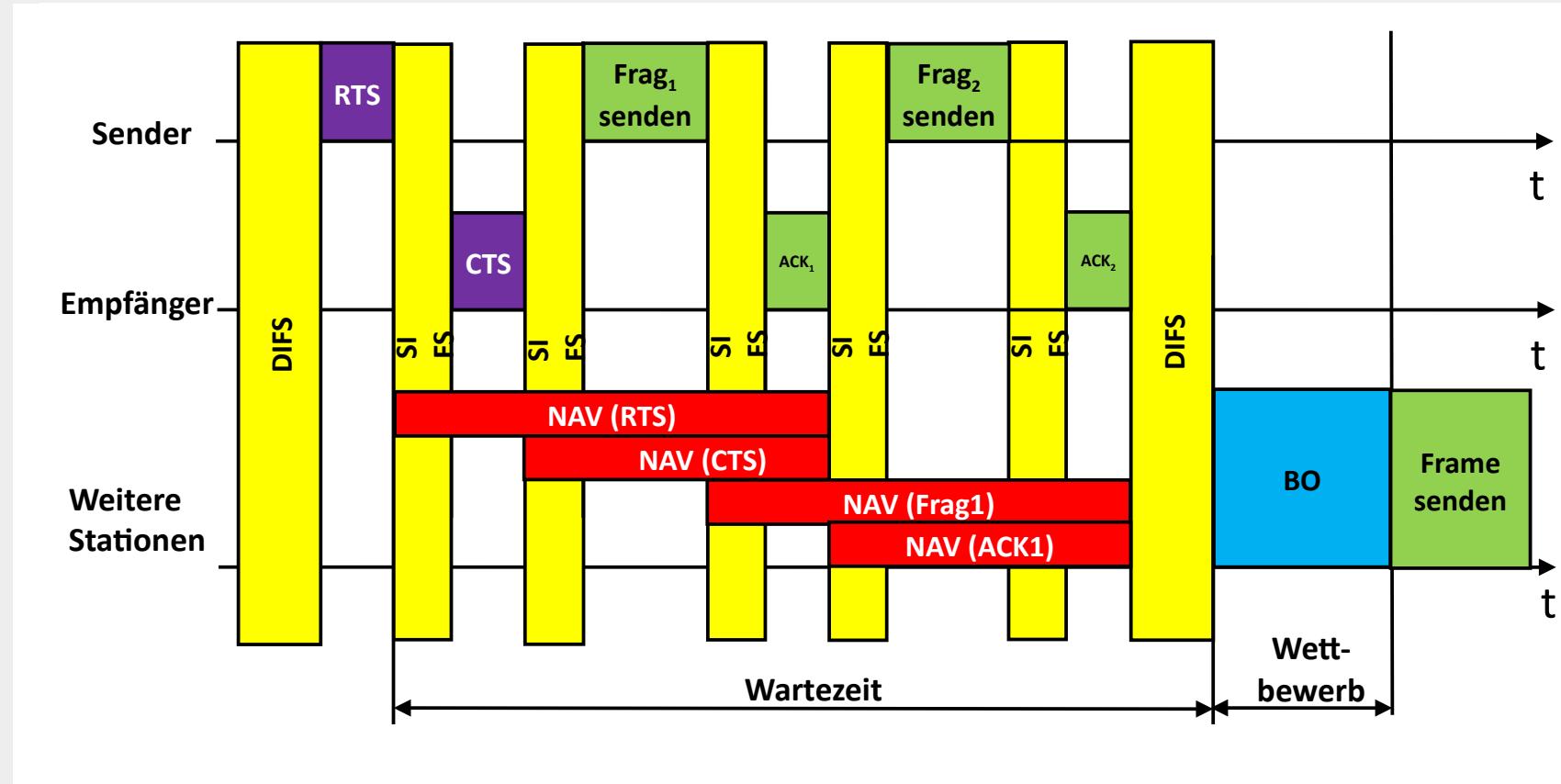


CFP-End

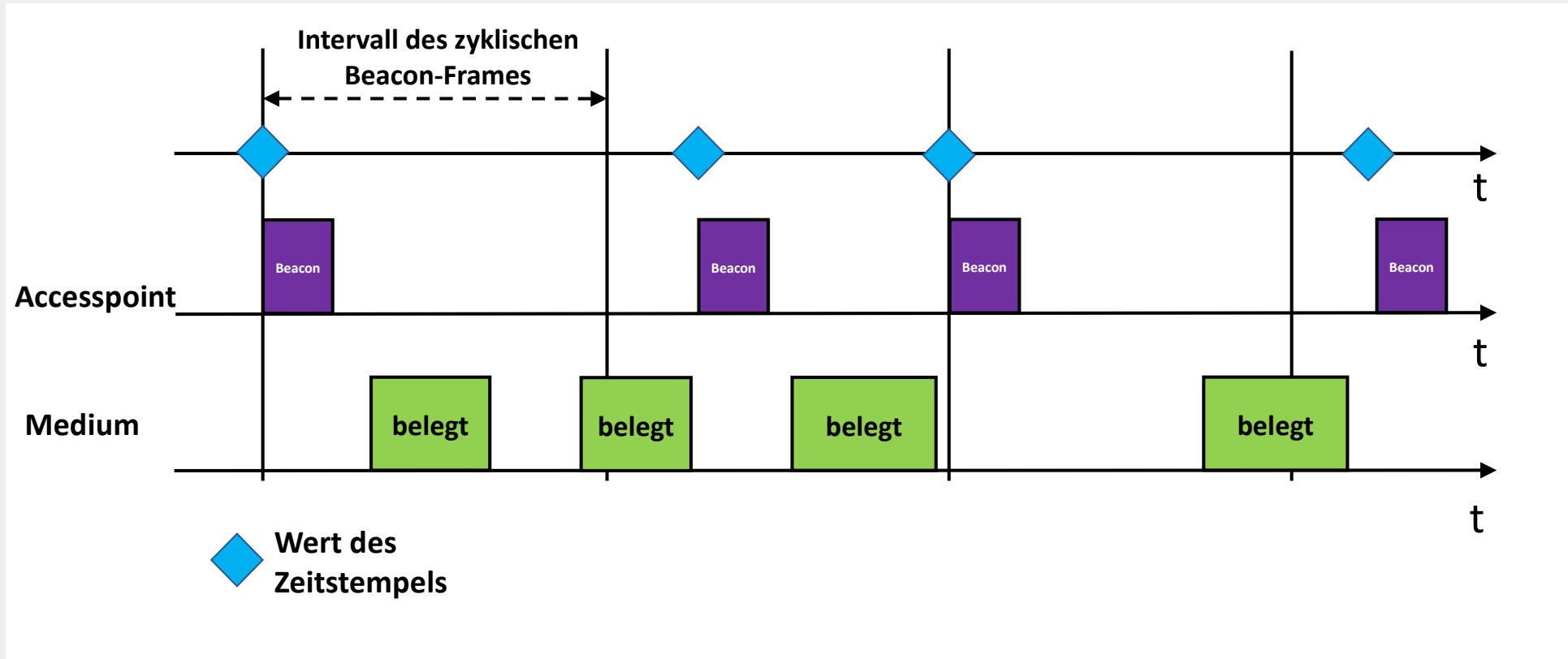


CFP-End + ACK

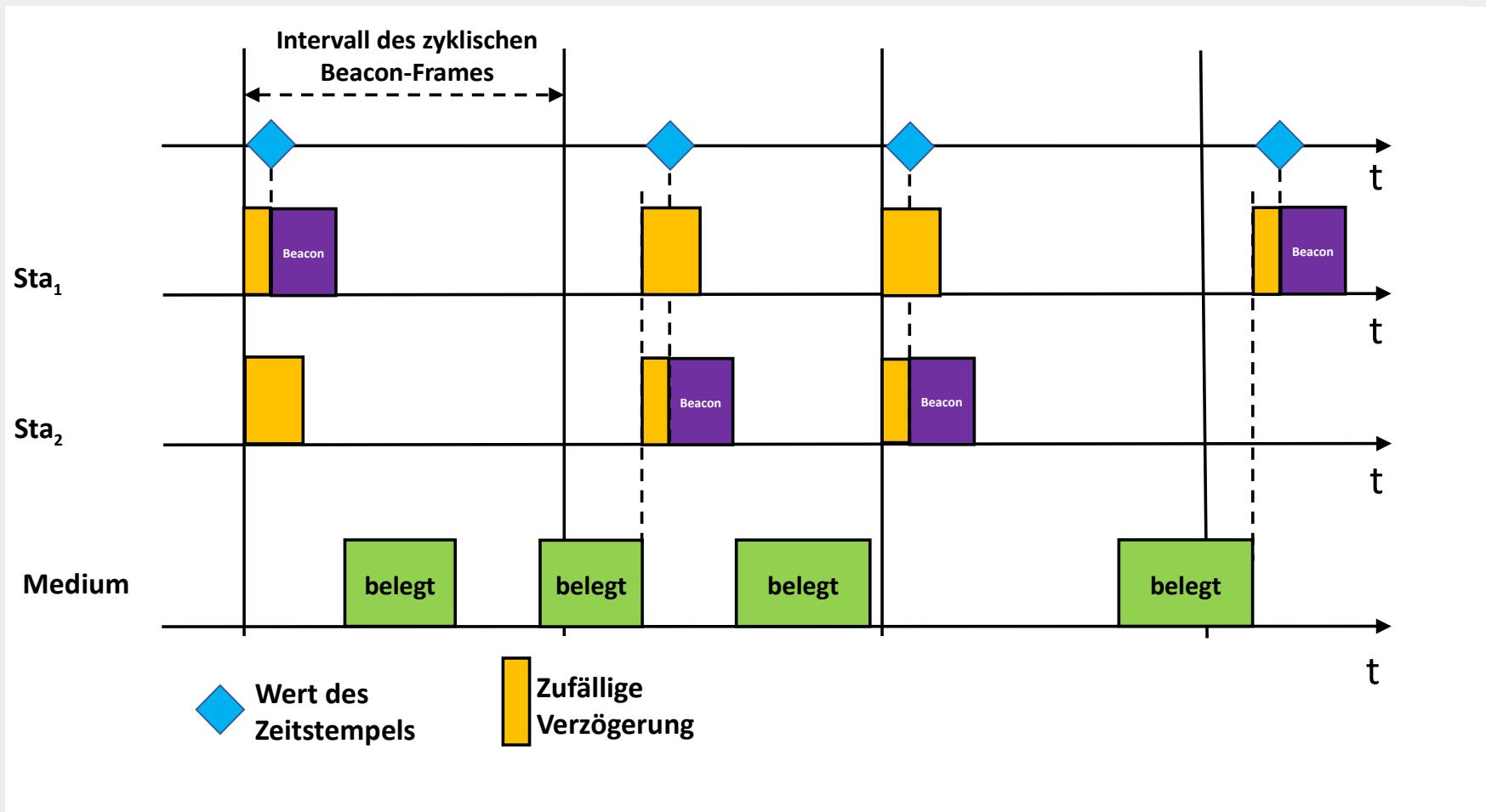
# Fragmentierung



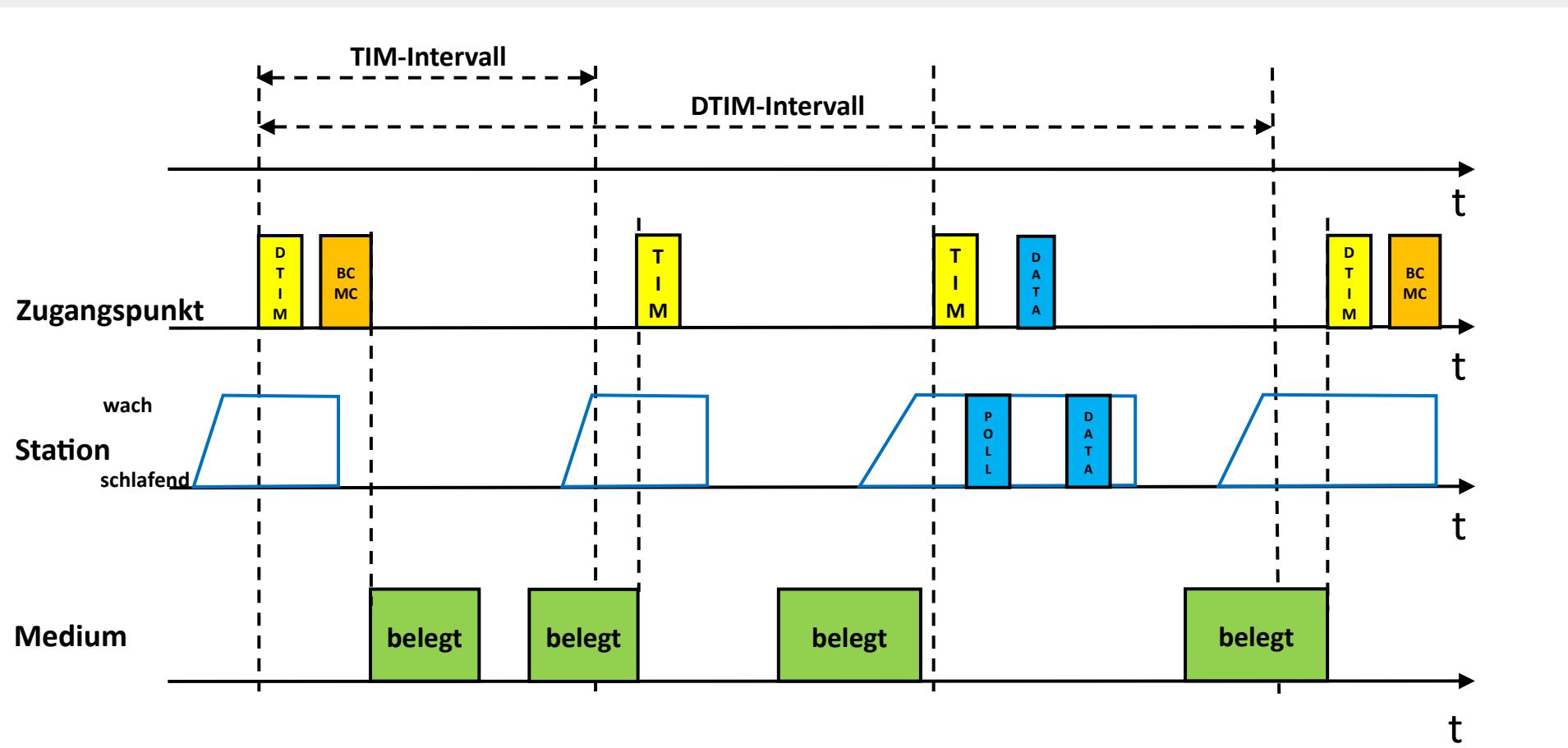
# Zeitsynchronisation im Infrastruktur-Modus



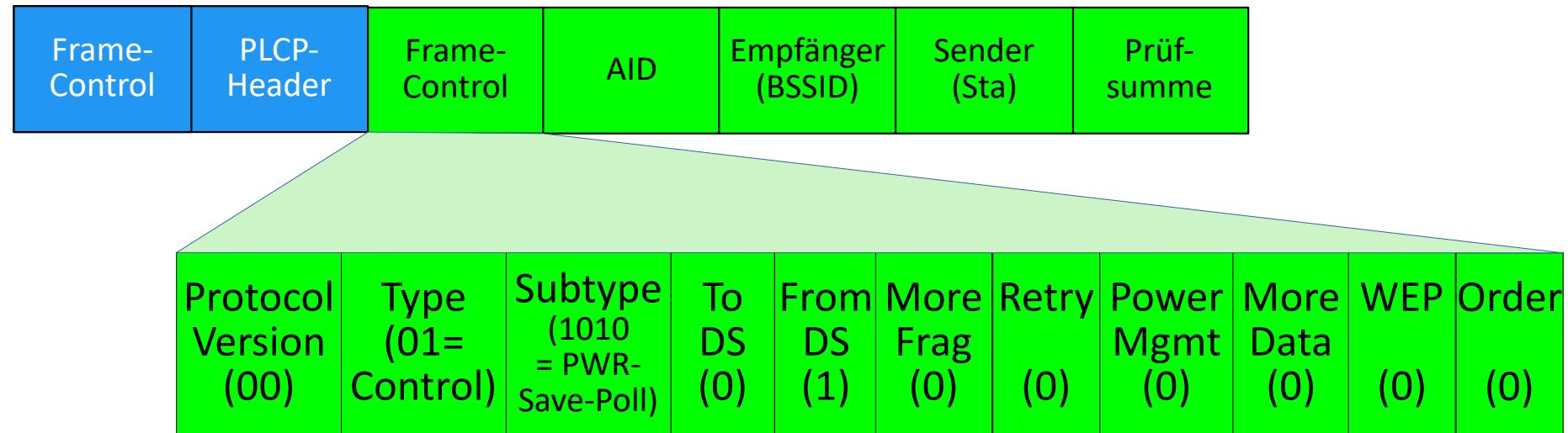
# Zeitsynchronisation im Ad-hoc-Modus



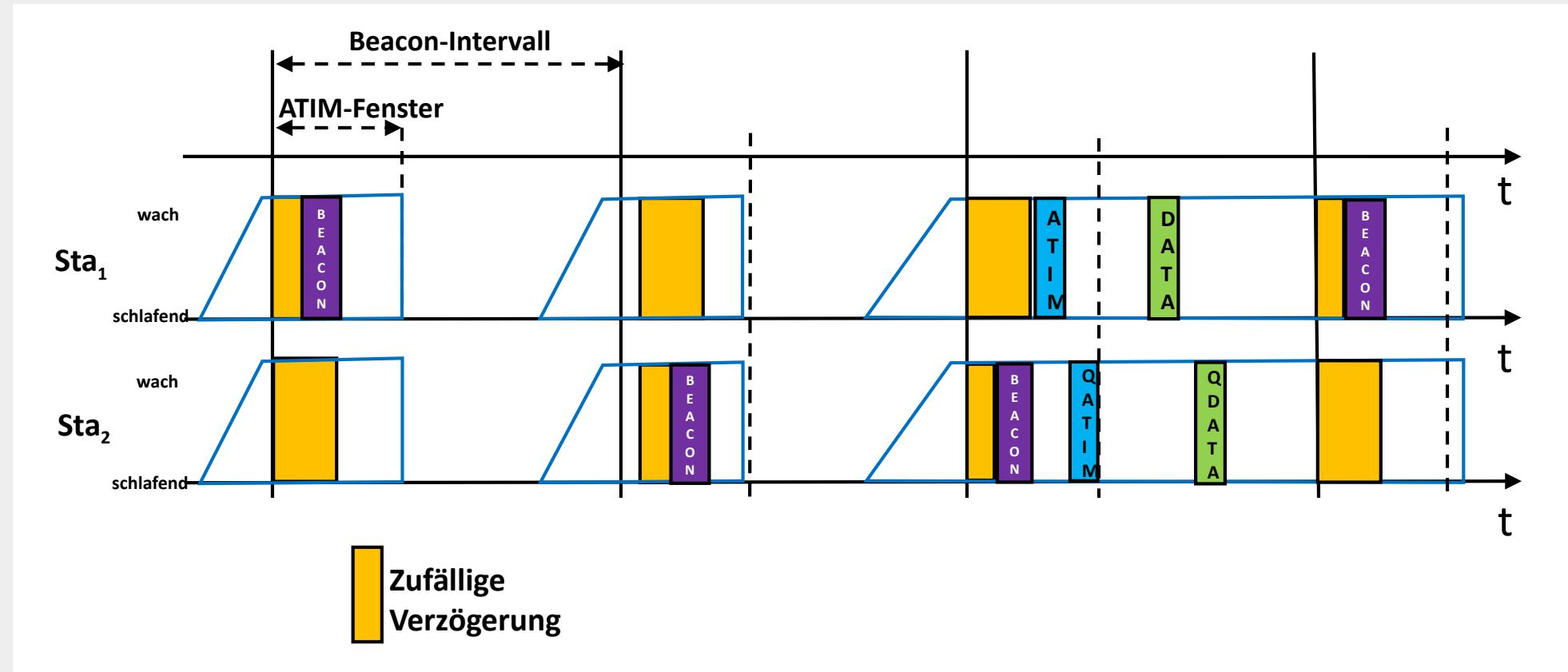
# Steuerung der Leistungsaufnahme im Infrastruktur-Modus



# Power-Save-Poll Frame Format



# Energie sparen im Ad-hoc-Modus



# Management-Frames

- Auffinden eines APs
- An- und Abmelden einer Station an einem Funkzelle (BSS)
- Datenverwaltung während des Stromsparmodus

Management-Frames von Typ 00 (b3, b2)

Subtyp (b7, b6, b5, b4, )	Subtyp-Bezeichnung	Beschreibung
0000	Association Request	Frames zur An- und Abmeldung am AP
0001	Association Response	
0010	Reassociation Request	
0011	Reassociation Response	
0100	Probe Request	Frames zum Auffinden von Stationen und APs. Die APs senden in regelmäßigen Abständen Beacon-Frames aus, in denen sie die Attribute der Zelle bekannt machen.
0101	Probe Response	
0110 - 0111	Reserviert	
1000	Beacon	
1001	Disassociation	Frames zum Authentifizieren von Stationen
1011	Authentication	
1100	Deauthentication	
1101	Action	Erweiterung für 802.11h
1110 – 1111	Reserviert	Reserviert

# Rückblick

- MAC-Ebene
  - ◆ Header
  - ◆ Frame-Typen
  - ◆ MAC-Adressen für 4 Fälle
- Medium-Zugriff (DCF / PCF)
  - ◆ Inter-Frame-Space (IFS: SIFS, PIFS, DIFS, EIFS)
  - ◆ Verwendung von DIFS und SIFS / Exponentieller Backoff
- DCF-Ablauf / Kollisionsauflösung
  - Hidden-Station-Problem / Exposed-Station-Problem (RTS/CTS)
- PCF
- Fragmentierung / Zeitsynchronisaton / Energiesparfunktionen
- Management-Frames

## WLAN-Vorlesung Teil-4

- MAC-Ebene
  - ◆ Header
  - ◆ Frame-Typen
  - ◆ MAC-Adressen
- Medium-Zugriff
  - ◆ Inter-Frame-Space
  - ◆ Verwendung von DIFS und SIFS / Exponentieller Backoff
- DCF-Ablauf / Kollisionsauflösung
  - Hidden-Station-Problem / Exposed-Station-Problem
- PCF
- Fragmentierung / Zeitsynchronisaton / Energiesparfunktionen
- Management-Frames

- Adressierung
- Medien-Zugriffsverfahren (CSMA/CA)
- Bildung von Prüfsummen (CRC)
- Quittierung (ACK)
- Fragmentierung und Reassemblierung
- Verschlüsselung

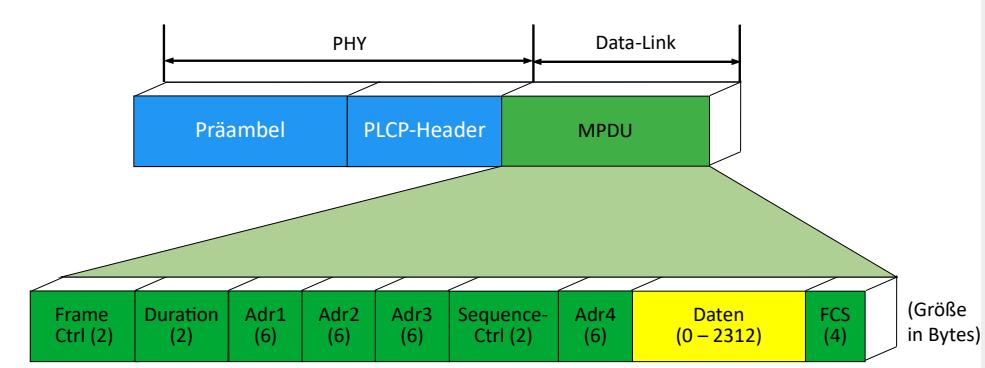
Für die Adressierung stehen 4 MAC-Adresse für 4 unterschiedliche Fälle zur Verfügung.

Der Medium-Zugriff wird mittels zweier Funktionen DCF und PCF, abgehandelt. Dabei handelt es sich um einen Verteilte und eine zentralisierte Funktion.

Zentraler Bestandteil für die Abhandlung der Medium-Zugriffsfunktionen sind die Inter Frame Spaces (IFS), die in unterschiedlicher Ausprägung Anwendung finden.

Die Verschlüsselung wird im Kapitel Security gesondert betrachtet.

## Frameaufbau auf MAC-Ebene



### ● Control

- ◆ **Management** (Type = 00)
  - Verbindungsaufbau/-Wiederaufbau/-Abbau

### **Control** (Type = 01)

- Beamforming
- Block-Ack
- RTS/CTS

### **Data** (Type = 10)

- Daten
- Polling
- Quittungen

### **Extension** (Type = 11)

- DMG Beacon

### ● Duration

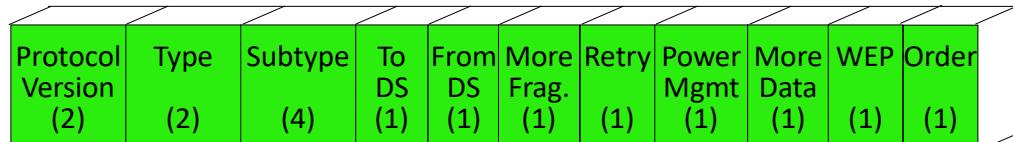
- ◆ Setzen des NAV

### ● MAC-Adressen

### ● Sequenz zur Steuerung der Fragmentierung

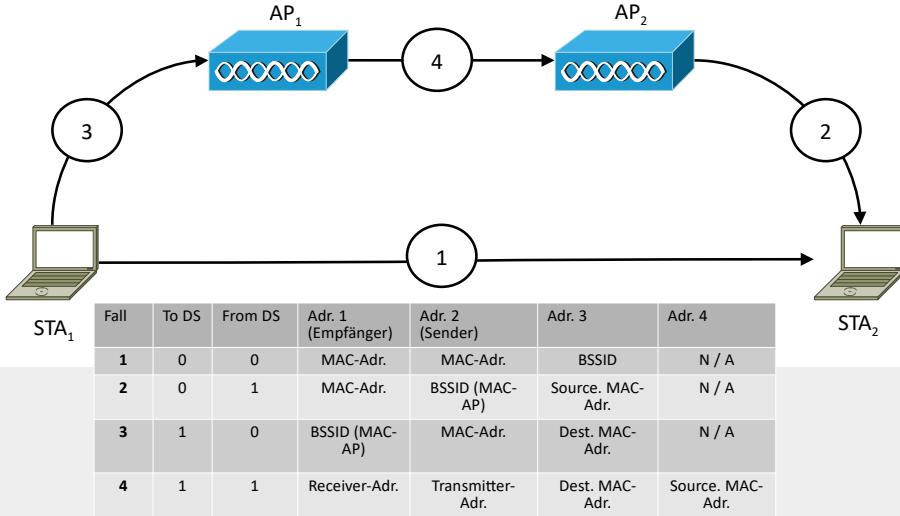
### ● Prüfsumme für Header und Daten

## Aufbau des Control-Feldes



- Protocol (Nicht genutzt / Immer 00)
- Type (00 = Management / 01 = Control / 10 = Data / 11 = Extensions)
- Subtype zur Detailsteuerung
- ToDS / FromDS
  - ◆ Fallunterscheidung für MAC-Adressen
- More Fragments
  - ◆ Fragmentierung
- Retry
  - ◆ Wiederholungen
- Powermanagement
  - ◆ Stromsparfunktionen
- More Data
  - ◆ Weitere Fragmente folgen
- WEP
  - ◆ Verschlüsselung der Daten
- Order
  - ◆ Erzwingen der Einhaltung der Sendereihenfolge

### Bedeutung der MAC-Adressen



#### Fall-1

Kommunikation verläuft innerhalb der Funkzelle zwischen zwei Stationen (von STA<sub>1</sub> zu STA<sub>2</sub>) im Ad-hoc-Modus in einem IBSS.

Multicasts und Broadcasts werden nur an die höheren Schichten weiter geleitet, wenn die BSSID übereinstimmt um zu vermeiden, dass sie in einer fremden IBSS empfangen und fälschlicherweise interpretiert werden. Das Feld Adr. 4 wird nicht genutzt.

#### Fall-2

Hier sendet ein AP (AP<sub>2</sub>) einen Frame aus einem Distributionsnetzwerk an eine Station (STA<sub>2</sub>). Im Feld Adr. 3 steht die MAC-Adresse des Gerätes, das die Daten ursprünglich erzeugt hat. Das Feld Adr. 4 wird nicht genutzt.

#### Fall-3

Hier sendet eine Station (STA<sub>1</sub>) einen Frame an einen AP (AP<sub>1</sub>), der den Frame über ein Distributionsnetz weiter leitet. Im Feld Adr. 3 steht die MAC-Adresse des eigentlichen Ziels. Das Feld Adr. 4 wird nicht genutzt.

#### Fall-4

Hier werden zwei LANs über ein WLAN miteinander verbunden. Das entspricht einer Richtfunkstrecke und in der Abbildung 4 dem Brige Modus. Adr.2 entspricht der Sender Adresse (AP<sub>1</sub>). Die Adr.1 entspricht der Empfänger Adresse (AP<sub>2</sub>). Die MAC-Adresse des ursprünglichen Senders (STA<sub>1</sub>) steht im Feld Adr.4 und die MAC-Adresse des eigentlichen Ziels (STA<sub>2</sub>) steht im Feld Adr.3.

### DCF (Distributed Coordination Funktion)

Hierbei wird das Zugriffsverfahren über alle Teilnehmer verteilt realisiert

Mit CSMA/CA (obligatorisch)

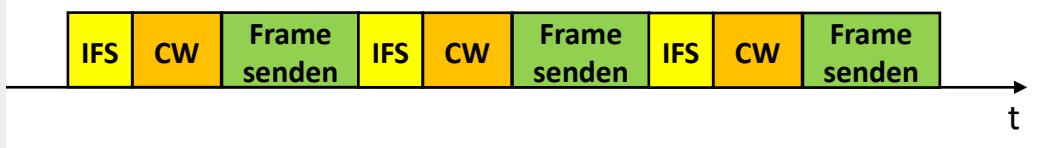
Mit RTS/CTS (optional)

### PCF (Point Coordination Function) mit QoS-Unterstützung

Hierbei wird das Zugriffsverfahren an einer zentralen Stelle (also dem AP) realisiert

### Unterscheidung in:

- DCF → Verteilte Medium-Zugriffsfunktion
  - ◆ Geht auch im Ad-hoc-Modus
  - ◆ Ist Default-Einstellung
  - ◆ Hidden-Station-Problem benötigt RTS/CTS
- PCF → Zentralisierte Zugriffsfunktion
  - ◆ Geht nur im Infrastruktur-Modus



Zentraler Bestandteil der Medium-Zugriffsfunktion sind die unterschiedlich langen Inter Frame Spaces (IFS)

Mit ihnen werden viele Funktionen gesteuert.

Die unterschiedlich langen IFSs bedeuten eine unterschiedliche Priorisierung. Je kürzer das IFS desto höher Prior sind die Frames.

Nach Ablauf des IFS haben alle Geräte eine gleichberechtigte Möglichkeit auf das Medium zuzugreifen. Damit stehen sie in einem Wettbewerb um den Zugriff auf das Medium. Diese Phase wird Contention-Window Genannt (CW).

Wollen Geräte Daten senden ermitteln sie sich während des IFS eine individuelle Backoff-Time aus.

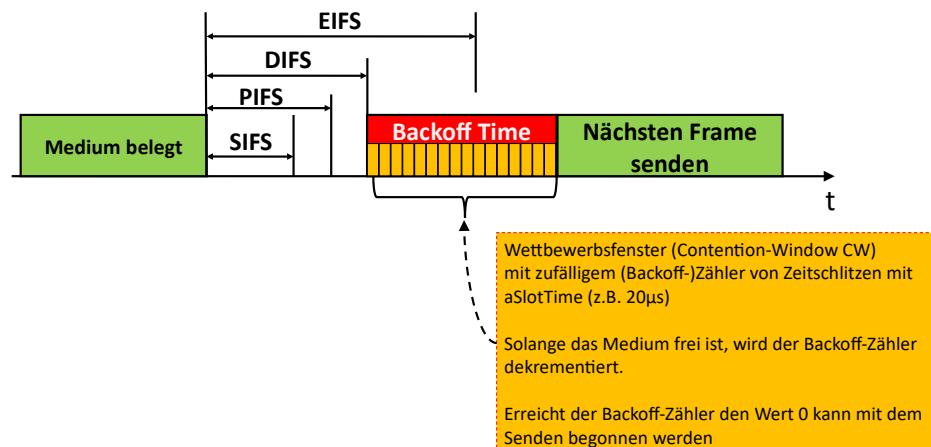
Die Backoff-Time ist eine Zufallszahl aus einem Intervall multipliziert mit der Slot-Time.

So lange keine Station sendet, dekrementieren alle sendewilligen Stationen, nach jedem Ablauf der Slot-Time die Zufallszahl.

Die erste Station, bei der der Zähler auf 0 gelaufen ist kann mit dem Senden beginnen falls keine Station sendet.

Alle anderen Stationen unterbrechen das Dekrementieren des Zählers. Aus dem Duration-Feld des Datenframe-Headers können die Stationen entnehmen wie lange der aktuelle Sendevorgang inklusive Quittungen dauert. Mit der Sendezeit setzen sie den Network Allocation Vector (NAV)

## Unterschiedliche IFS

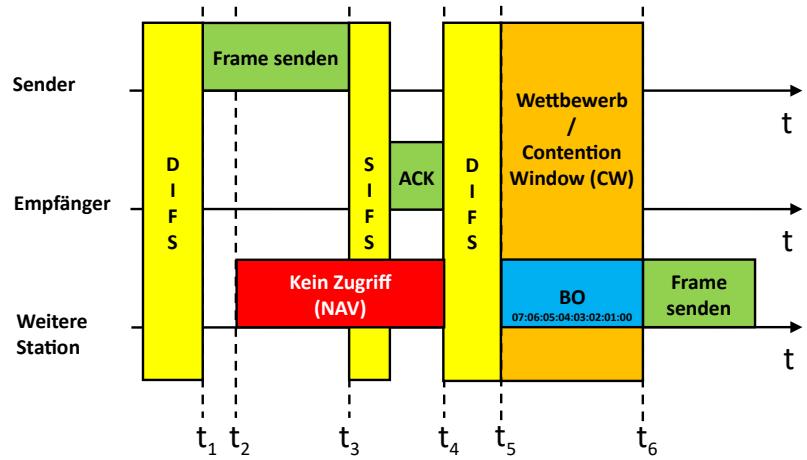


Nach einem DIFS können die Stationen, sobald das Medium frei ist, in das Contention Window (CW) eintreten und den Backoff-Timer herunter zählen.

Für unterschiedliche Funktionen gibt es unterschiedlichen IFSs:  
(Je kürzer der IFS, desto höher prior ist die Funktion, die damit gesteuert wird)

- RIFS Reduced IFS
- SIFS Short IFS
- PIFS PCF IFS
- DIFS DCF IFS
- AIFS Arbitration IFS (für QoS)
- EIFS Extended IFS
- SBIFS Short Beamforming IFS
- BRPIFS Beam Refinement Protocol IFS
- MBIFS Medium Beamforming IFS
- LBIFS Long Beamforming IFS

## Verwendung von DIFS und SIFS



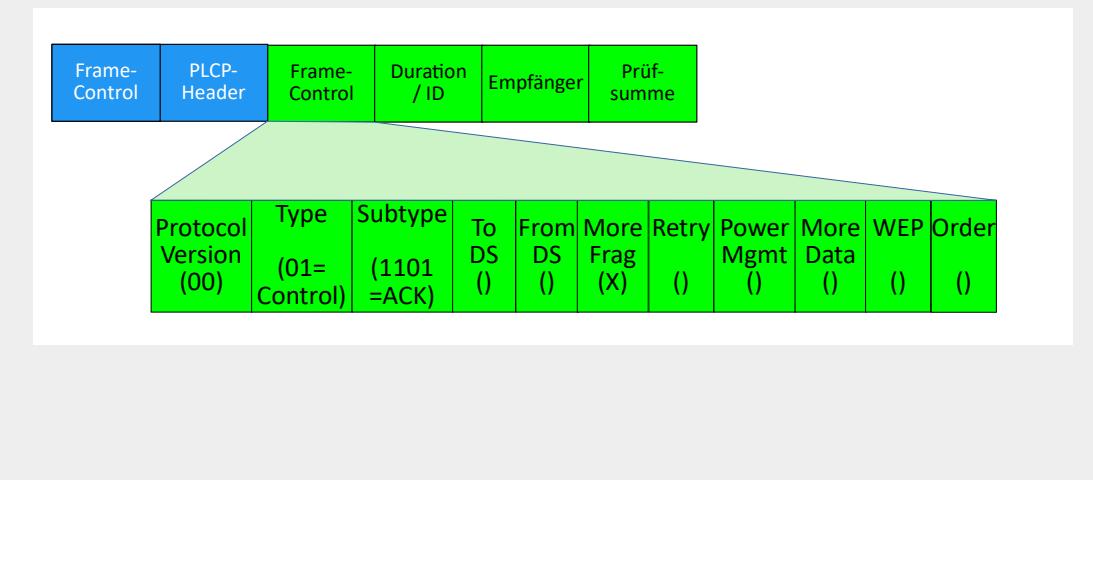
Wurden Daten gesendet kann bereits nach einem SIFS eine Quittung gesendet werden.

Damit sind Quittungen höher Prior als weitere Daten.

Will eine Station Daten senden, hört sie zuerst das Medium ab. In jedem Datenframe wird die voraussichtliche Sendezeit inklusive der Quittung im Header mitgegeben.

Damit setzt eine Station, die senden will den Network Allocation Vector. Erst nachdem dieser abgelaufen ist und einem weiteren DIFS kann die Station im CW den Backoff-Timer weiter herunter zählen.

## Quittungen bei der DCF

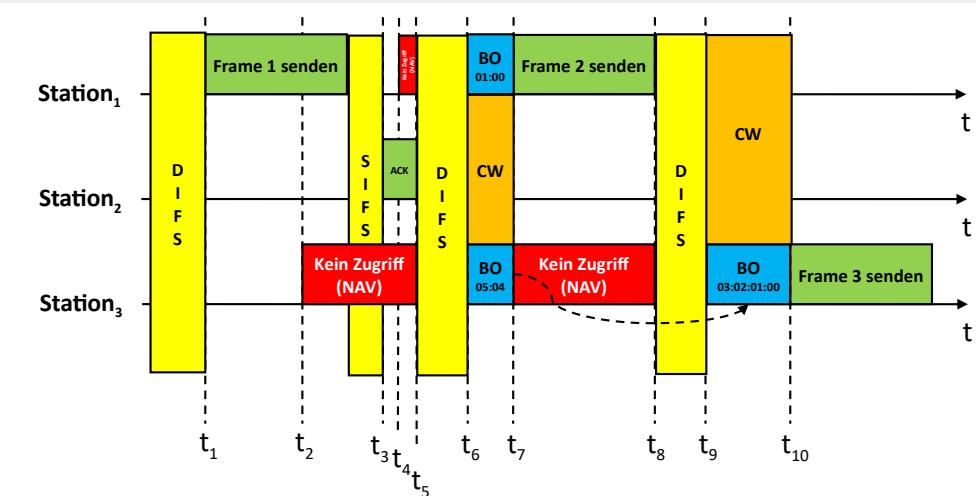


Der Ack-Frame ist von den zu quittierenden Daten abhängig.

Werden unfragmentierte Daten quittiert, steht in Duration/ID-Feld 0 und das More-Fragments-Flag hat den Wert 0.

Wird ein Fragment quittiert, steht in Duration/ID-Feld die Restdauer für die Übertragung und Quittierung der restlichen Fragmente und das More-Fragments-Flag ist auf 1 gesetzt.

### DCF-Ablauf



Hierbei handelt es sich um das Beispiel eines unfragmentierten Datenaustauschs.

Nach dem Ablauf von DIFS war bei der Station 1 der Backoff-Timer abgelaufen. Dadurch konnte Station 1 mit dem Senden an Station 2 beginnen. ( $t_1$ )

Während Station 1 sendet möchte Station 3 auch Daten senden. ( $t_2$ ) Beim Abhören des Kanals stellt Station 3 fest, dass Station 1 bereits an Station 2 sendet. Aus dem Header des Frame 1 kann Station 3 die restliche Sendedauer herauslesen und setzt daraufhin den Network Allocation Vector (NAV). Damit kann Station 3 den NAV und den Backoff-Timer setzen und sich bis zum Ablauf von DIFS schlafen legen.

Nachdem der Frame 1 gesendet wurde kann Station 2 nach Ablauf eines SIFS die Quittung senden. ( $t_3$ )

Während Station 2 die Quittung sendet steht bei Station 1 der nächste Frame zum Senden an. ( $t_4$ ). Station 1 kann seinen NAV auf das Ende der Quittung setzen und kann den Backoff-Timer setzen und auf den Ablauf von DIFS warten.

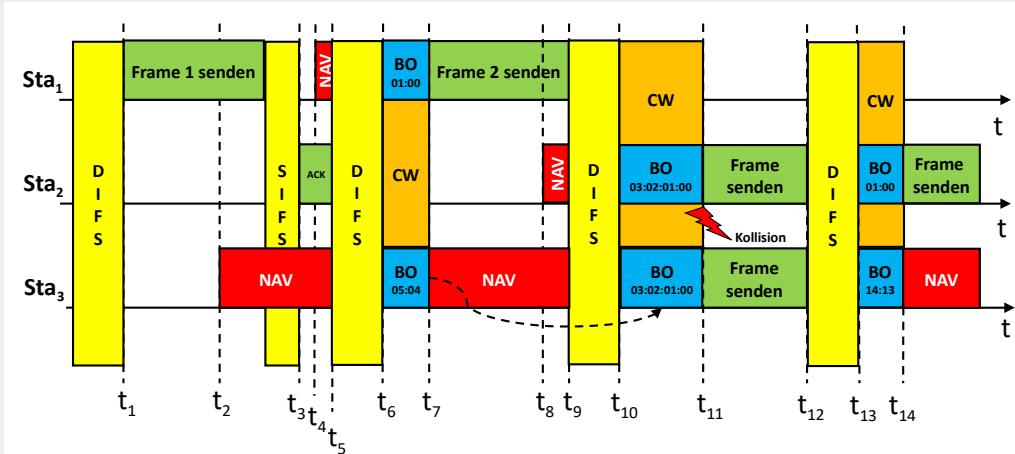
Nach dem Ablauf von DIFS hören die sendewilligen Stationen den Kanal ab und das Contention Window (CW) ist geöffnet. Ist der Kanal frei, werden die Backoff-Timer gestartet und laufen ab. ( $t_6$ )

Bei Station 1 läuft der Backoff-Timer zuerst ab. ( $t_7$ ) Das CW wird damit beendet und der Frame 2 wird gesendet. Dies bekommt Station 3 mit, unterbricht den Ablauf seines Backoff-Timers und setzt seinen NAV. ( $t_8$ )

Da der Frame 2 keine Quittung benötigt, kann nach dem Ablauf von DIFS ( $t_9$ ) das nächste CW geöffnet werden

Nun kann Station 3 versuchen seinen Frame zu senden. Dazu muss zuerst noch der restliche Backoff-Timer ablaufen. ( $t_{10}$ ) Dann kann der Frame 3 gesendet werden.

## Kollision und deren Auflösung



Der Ablauf bis zum Zeitpunkt  $t_7$  ist in diesem Beispiel gleich wie im vorigen Beispiel.

Zum Zeitpunkt  $t_8$  möchte Station 2 Daten senden. Da gerade gesendet wird setzt Station 2 seinen NAV und ermittelt den Wert für den Backoff-Timer.

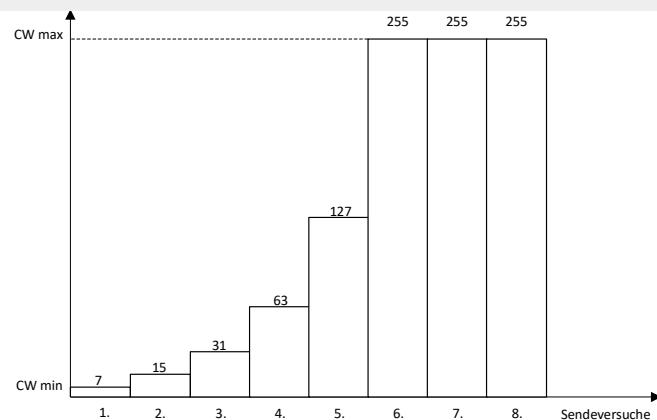
Dummerweise stehen die Werte für die Backoff-Timer von Station 2 und Station 3 auf dem selben Wert (03).

Nach dem Senden von Frame 2 ( $t_9$ ) läuft der DIFS ab. Nach Ablauf des DIFS ( $t_{10}$ ) öffnet sich das Contention Window und die Backoff-Timer von Station 2 und Station 3 laufen gleichzeitig ab. ( $t_{11}$ )

Die Frames kollidieren und die Quittung bleibt aus. ( $t_{12}$ ) Deshalb werden die Backoff-Timer neu ermittelt und nach Ablauf eines DIFS ( $t_{13}$ ) beginnt ein neues CW.

( $t_{14}$ ) Diesmal gewinnt Station 2 und kann mit dem Senden beginnen

## Exponentieller Backoff



Sind mehrere Zugriffsversuche notwendig, weil z. B. trotz aller Koordinierungsmaßnahmen ein Frame kollidiert ist, muss das Senden wiederholt werden.

Durch die Verlängerung der Intervall-Obergrenze wird versucht dem Frame über einen längeren Zeitraum eine Sendemöglichkeit zu verschaffen. Ist die Obergrenze erreicht bleibt es bei diesem Wert.

Es gibt zwei Zähler für die Wiederholungen. Einer für kurze Frames wie Quittungsframes (STA short retry count (SSRC)) und einen für lange Frames wie Datenframes (STA long retry count (SLRC)).

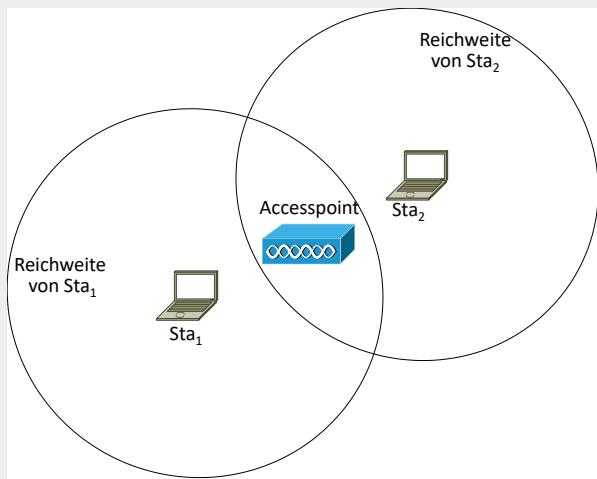
Die Aufteilung in kurze und lange Datenframes wird über den RTS-Threshold gesteuert.

Mit ihm wird auch RTS/CTS ein und ausgeschaltet:  
RTS-Threshold = 0 bedeutet RTS/CTS ist eingeschaltet, da eine Wiederholung nicht erforderlich ist.

Nach einer vorgegebenen Anzahl von Wiederholungsversuchen wird die Übertragung mit einem Fehler abgebrochen.

- Dot11ShortRetryLimit = 7
- Dot11LongRetryLimit = 4

## Hidden Station Problem



Dieses Problem wird auch Hidden-Terminal-Problem genannt.

Sta<sub>1</sub> kann zwar den Accesspoint sehen, jedoch aufgrund von zu geringer Reichweite die Sta<sub>2</sub> nicht.

Umgekehrt kann Sta<sub>2</sub> auch den Accesspoint sehen, jedoch die Sta<sub>1</sub> nicht.

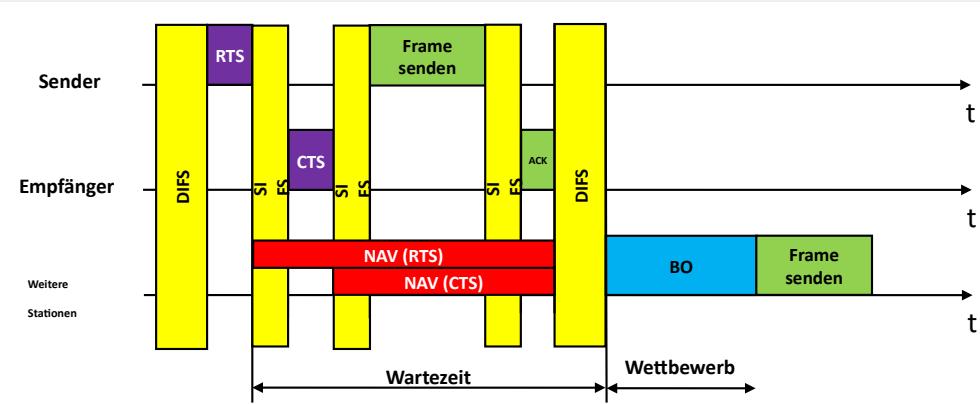
Dies führt dazu, dass beide Stationen gleichzeitig anfangen zu senden, denn sie können nicht erkennen, dass der Kanal bereits belegt ist.

Die Daten der beiden Stationen überschneiden sich am Accesspoint und führen dort zur Kollision.

Durch Erhöhung oder Verminderung der Sendeleistung der Stationen kann das Problem nicht gelöst werden.

Abhilfe bei diesem Dilemma kann die Konfiguration von RTS/CTS auf den Geräten herbeiführen.

## RTS / CTS



Bei dieser Vorgehensweise übernimmt ein AP die Funktion eines Koordinators über den der Transport von Frames abgewickelt werden.

Grundlage für die Nutzung von RTS/CTS ist der Wert von RTS-Threshold.

Wert = 0                    RTS/CTS ist eingeschaltet

1 < Wert < 65535        Bestimmung der Trennung der Zähler für die Wiederholung von kurzen und langen Frames

Wert = 65536            RTS/CTS ausgeschaltet (Default)

Ablauf:

Eine sendewillige Station muss erst das Senden beim AP mit einem Request To Send (RTS) beantragen.

Dies ist auch das Signal für alle anderen Stationen den NAV zu setzen. Damit werden Stationen bei denen kein RTS/CTS eingestellt ist, von ihrer Priorität nach hinten gestellt und auf das CW verwiesen

Sobald möglich, erteilt der AP mit einem Clear To Send (CTS) die Freigabe zum Senden. Dabei setzen die anderen Stationen nochmals den NAV.

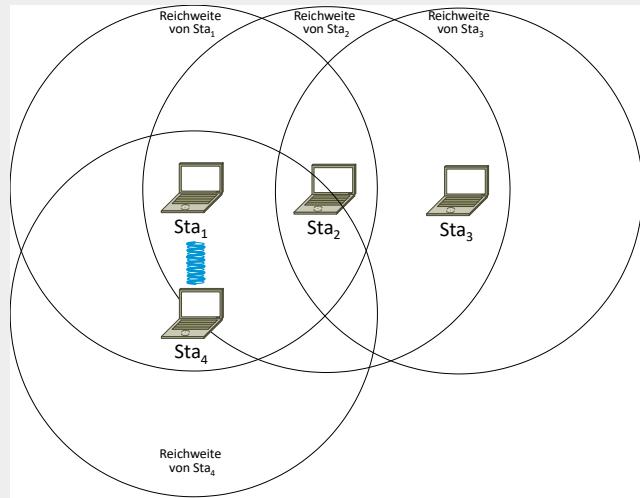
## RTS / CTS - Frameformat



Wichtig an den Frames sind  
Type → Control-Frame  
Subtype → RTS oder CTS  
Duration / ID → Dauer der Kanalbelegung inklusive der Quittungen.

Das Duration/ID-Feld im RTS kann dazu verwendet werden dem AP mitzuteilen wie lange die Gesamtübertragung dauern wird.  
Alle Stationen die das mitbekommen können daraufhin auch ihren NAV setzen. Das sind unter Umständen nicht alle Stationen!  
Erst wenn der AP das CTS sendet kann davon ausgegangen werden, dass alle relevanten Stationen den NAV setzen können.

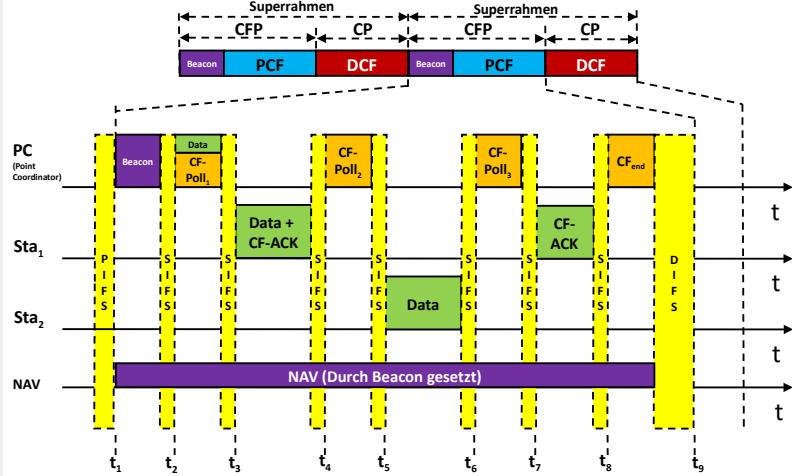
## Exposed-Station-Problem



Beim Exposed-Station-Problem (auch Exposed-Terminal-Problem, oder Exposed-Node-Problem genannt) will Sta<sub>2</sub> an Sta<sub>3</sub> senden, stellt jedoch fest, dass der Kanal belegt ist weil gerade Sta<sub>1</sub> an Sta<sub>4</sub> sendet.

Eigentlich könnte Sta<sub>2</sub> an Sta<sub>3</sub> senden, denn Sta<sub>3</sub> ist außerhalb der Reichweite von Sta<sub>4</sub>.. Sta<sub>2</sub> muss warten bis der Kanal frei ist. Damit wird eine Übertragungsmöglichkeit verschwendet.

## PCF



Bei der Point Coordination Function (PCF) wird die verteilte Kontrolle des Mediumzugriffs einer zentralen Instanz (dem AP) übergeben.

Damit kann das WLAN nicht im Ad-hoc-Modus betrieben werden!

Allerdings müssen nicht alle Stationen auf die PCF eingestellt werden.  
→ Der Betrieb von DCF und PCF kann parallel erfolgen.

Dazu wird der zeitliche Ablauf in einen Contention Free-Period (CFP) und eine Contention Period (CP) unterteilt.

In der CFP muss kein Wettbewerb stattfinden da der AP den Medium-Zugriff regelt.

In der darauf folgenden CP können dann die Stationen bei denen die PCF nicht eingestellt wurde, ihre Daten austauschen.

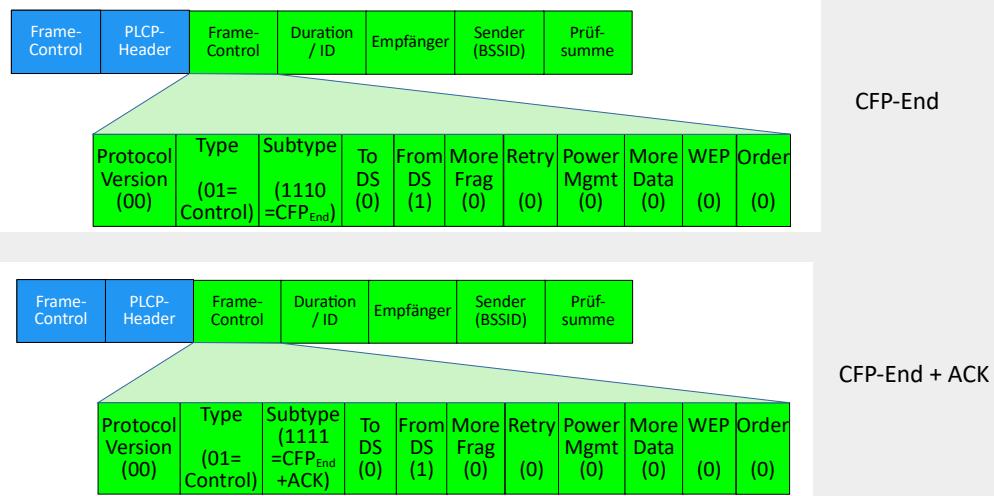
Ablauf:

Der AP wartet nicht auf den Ablauf eines DIFS ab sondern signalisiert bereits nach Ablauf von PIFS in seinem Beacon den Beginn eines Superrahmens. Damit setzen alle Stationen ihren NAV.

In der Folge werden die konfigurierten Stationen der Reihe nach Abgefragt, ob sie Daten senden wollen.

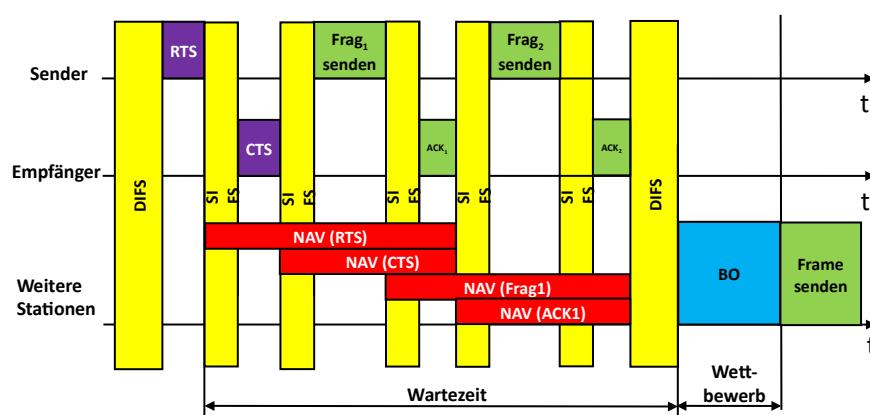
Nachdem alle konfigurierten Stationen abgefragt wurden wird mit einem CFEnd-Rahmen das Ende der CFP signalisiert. Nach Ablauf eines DIFS können dann alle Stationen senden die nicht auf die PCF konfiguriert wurden.

## Frameformate für PCF



In der Folie sind die erforderlichen Control-Frames abgebildet.

## Fragmentierung



Die Fragmentierung ist ein weiteres Beispiel für den Einsatz von RTS/CTS.

Um die Fragmentierung zu aktivieren ist der Wert von FragmentationThreshold von 65535 auf den Wert zu setzen bei dem eine MSDU fragmentiert werden muss.

Im Control-Feld wird die Fragment-Nummer beim ersten Fragment auf 0 und das More-Fragment-Bit auf 1 gesetzt.

Bei weiteren Fragmenten wird die Fragment-Nummer inkrementiert.

Bei Wiederholungen wird die Fragment-Nummer nicht inkrementiert und das Retry -Bit gesetzt.

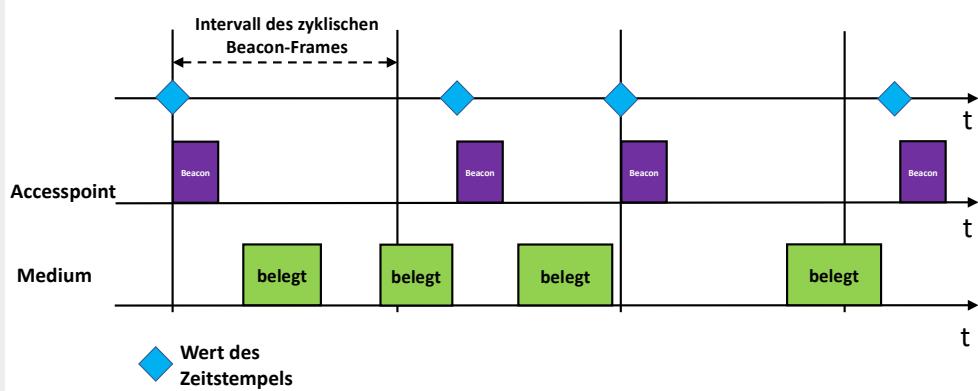
Die Fragmente werden einzeln mit einem ACK direkt nach einem SIFS bestätigt. Damit haben die Quittungen die höchste Priorität beim Medienzugriff. Für die einzelnen Fragmente gilt dasselbe. Direkt nach einem ACK und einem SIFS kann das nächste Fragment gesendet werden, ohne dass eine andere Station sich dazwischen drängelt. Dies ist möglich, da bei jedem Fragment und bei jedem ACK der NAV-Wert erneut gesetzt wird.

Da der priorisierte Fragment-Transport sicher gestellt ist, muss der NAV-Wert nicht über den Zeitraum für die Übertragung aller Fragmente gesetzt werden. Das wäre bei einem Abbruch der fragmentierten Übertragung schädlich, denn alle müssten auf den NAV-Ablauf warten. Stattdessen wird durch jedes Fragment und jedes ACK der NAV erneut gesetzt.

Hinweis :

Sequenznummern werden beim ersten Rahmen auf 0 gesetzte und dann Modulo 4096 verwaltet.

## Zeitsynchronisation im Infrastruktur-Modus

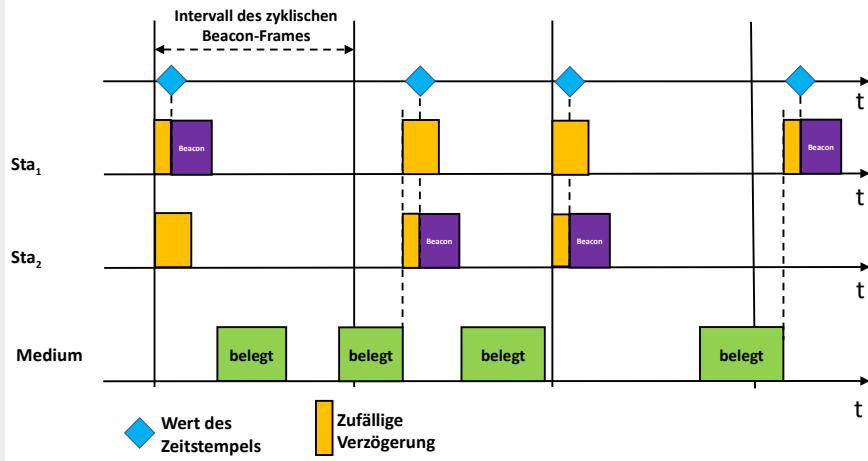


Einige Funktionen benötigen genau synchronisierte Zeiten auf den Stationen.

Dazu sendet im Infrastruktur-Modus die Timing Synchronisation Function (TSF) auf dem APs im Beacon-Intervall Beacon-Frames mit einem Zeitstempel aus.

Sollte zum Zeitpunkt eines Beacon Intervalls das Medium gerade belegt sein wartet der AP darauf, dass das Medium wieder frei ist und sendet dann den Beacon-Frame.

## Zeitsynchronisation im Ad-hoc-Modus

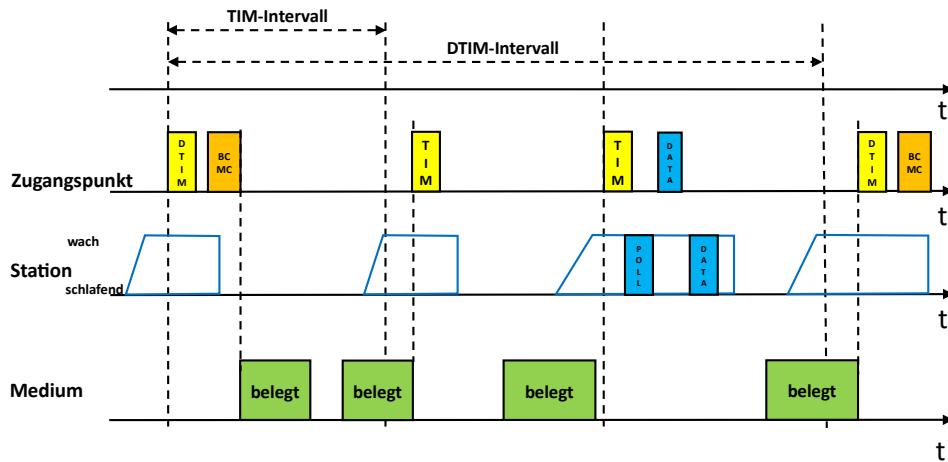


Im Ad-hoc-Modus senden die Stationen auch Beacon-Frames mit ihren Zeitstempel aus.

Das Senden wird im Gegensatz zum Infrastruktur-Modus mit einer zufälligen Wartezeit verzögert.

Ist das Medium belegt, wird gewartet bis es wieder frei ist und dann mit zufälliger Verzögerung gesendet.

## Steuerung der Leistungsaufnahme im Infrastruktur-Modus



Besonders für mobile Geräte ist die Stromsparfunktion wichtig um die Akkulaufzeit zu verlängern.

Um Energie zu sparen, können die Geräte ihre Sende- und Empfangseinheit herunter fahren und wieder hoch fahren.

Damit können sie den Zustand „schlafend“ oder „wach“ annehmen.

Grundlage ist die Timing Synchronisation Function (TSF).

Die APs verwalten eine Liste der Stationen für Unicasts. Diese Liste wird Traffic Indication Map (TIM) genannt.

Für Broadcasts (BCs) und Multicasts (MCs) wird die Delivery Traffic Indication Map (DTIM) von den APs ausgesandt.

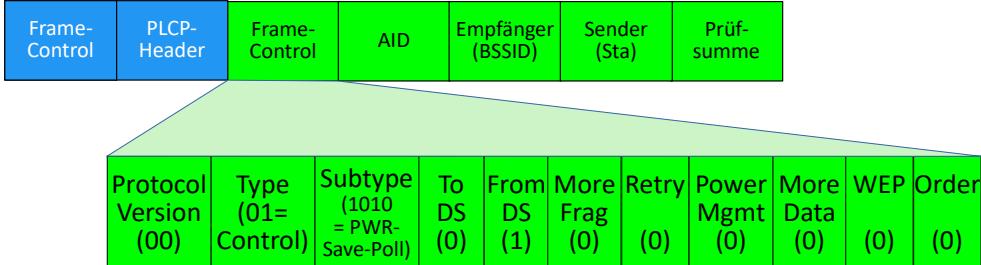
Es gibt 2 Intervalle, die im Beacon-Frame mitgegeben werden:

- TIM-Intervall für die Unicasts
- DTIM-Intervalle für die BCs und MCs.

Zu Beginn eines jeden TIM-Intervalls wachen die Stationen kurz auf. Liegen Daten für die Stationen vor, bekommen sie das mitgeteilt und die Stationen können mit einem Poll die Daten anfordern. Sind Daten auf einer Station zu senden, können sie im Wachintervall gesendet werden.

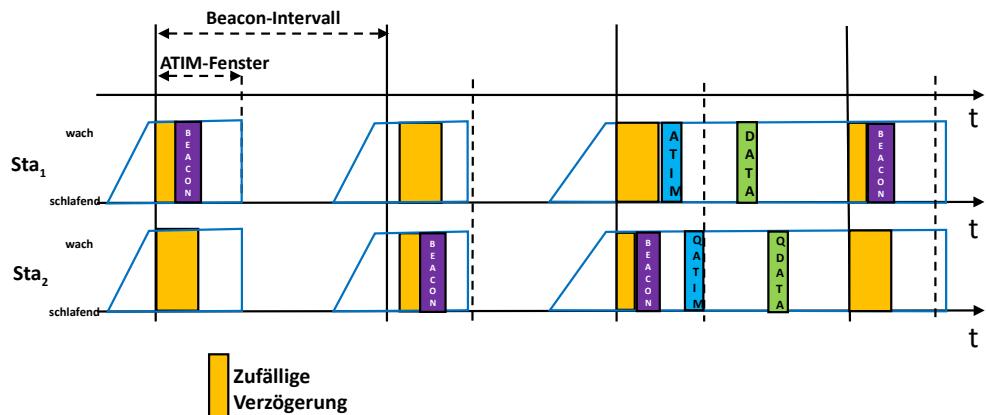
Broadcasts (BCs) und Multicasts (MCs) werden nicht direkt von einer Station an die anderen Stationen versandt. Sie sind zuerst dem AP zu senden, der sie dann im DTIM-Intervall verteilt, damit alle die BCs und MCs empfangen können.

## Power-Save-Poll Frame Format



Anstelle des Duration/ID-Feldes steht hier das Association AID-Feld, welches die Association-ID (AID) der Station beinhaltet, die ihre Daten beim AP abrufen möchte.

## Energie sparen im Ad-hoc-Modus



Im Ad-hoc-Modus ist die Bearbeitung komplexer, da eine zentrale Steuerung fehlt. Verwaltet werden die Empfänger in der Ad-hoc Traffic Indication Map (ATIM). Kollisionen von ATIMs sind möglich.

Der Beacon-Frame wird regelmäßig während der Bearbeitung von CSMA/CA übertragen. ATIM-Frames werden nach dem Beacon-Frame als Unicast nach dem CSMA-CA-Verfahren gesendet. Dabei wird angekündigt, dass Daten vorliegen.

Die Stationen wachen regelmäßig gleichzeitig auf und hören den Beacon Frame sowie die ATIMs ab. Wurden Daten angekündigt, können diese mittels Polling angefordert werden.

## Management-Frames

- Auffinden eines APs
- An- und Abmelden einer Station an einem Funkzelle (BSS)
- Datenverwaltung während des Stromsparmodus

Management-Frames von Typ 00 (b3, b2)

Subtyp (b7, b6, b5, b4, )	Subtyp- Bezeichnung	Beschreibung
0000	Association Request	Frames zur An- und Abmeldung am AP
0001	Association Response	
0010	Reassociation Request	
0011	Reassociation Response	
0100	Probe Request	Frames zum Auffinden von Stationen und APs. Die APs senden in regelmäßigen Abständen Beacon-Frames aus, in denen sie die Attribute der Zelle bekannt machen.
0101	Probe Response	
0110 - 0111	Reserviert	
1000	Beacon	
1001	Disassociation	Frames zum Authentifizieren von Stationen
1011	Authentication	
1100	Deauthentication	
1101	Action	Erweiterung für 802.11h
1110 – 1111	Reserviert	Reserviert

In der Liste der Frame-Subtypen kommen die Management-Frames an erster Stelle (b0 und b1 beinhalten die Version) im Control-Feld

Damit werden die grundlegenden Funktionen zur Verbindung einer Station mit einer anderen Station oder einem Accesspoint abgehandelt:

- Finden einer anderen Station/AP
- Authentifizieren beim Partner
- Assoziieren beim Partner
- Stromsparfunktionen

- MAC-Ebene
  - ◆ Header
  - ◆ Frame-Typen
  - ◆ MAC-Adressen für 4 Fälle
- Medium-Zugriff (DCF / PCF)
  - ◆ Inter-Frame-Space (IFS: SIFS, PIFS, DIFS, EIFS)
  - ◆ Verwendung von DIFS und SIFS / Exponentieller Backoff
- DCF-Ablauf / Kollisionsauflösung
  - Hidden-Station-Problem / Exposed-Station-Problem (RTS/CTS)
- PCF
- Fragmentierung / Zeitsynchronisaton / Energiesparfunktionen
- Management-Frames