

WLAN-Vorlesung

Teil-6

Inhalt

- WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften
 - ◆ IEEE802.11ad
 - ◆ IEEE802.11af
 - ◆ IEEE802.11ah
- Der IEEE-802.11ax-Standard (HE) (Wi-Fi-6)
 - ◆ Neuer Modus (Uplink / Downlink)
 - ◆ Verkleinerung des Subcarrier-Spacing
 - ◆ OFDMA
 - ◆ Reduzierung der Präambeln
 - ◆ Multi-User Uplink
 - ◆ Aufbau eines Frequenzbandes
 - ◆ Multi-User-Beamforming
 - ◆ BSS-Coloring
 - ◆ Zusammenfassung der Formate
 - ◆ Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax
 - ◆ Wi-Fi-6e
- Der IEEE-802.11be-Standard (EHT) (Wi-Fi-7)
 - ◆ Neuerungen
 - ◆ Multi-Link Operation
 - ◆ Simultaneous Transmit and Receive (STR)
 - ◆ Durchsatzsteigerung
 - ◆ Reduzierung der Latenzzeit
 - ◆ Robustheit
 - ◆ Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
 - ◆ Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
 - ◆ Multi-Link Single Radio (MLSR)
 - ◆ Optimierungen am Medienzugriffsverfahren OFDMA

WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften

- IEEE802.11ad
 - ◆ Im 60GHz-Band
 - ◆ Maximale Reichweite 20m
 - ◆ Kanalbreite 2160MHz
 - ◆ Maximale Brutto-Datenübertragungsrate 6,75GBit/s
 - ◆ Anwendungsfälle: Hohe Datenrate auf kurze Distanz. (Beamer, o. ä)
- IEEE802.11af
 - ◆ Im Bereich zwischen 540MHz und 790MHz (Sub-800MHz-Bereich)
 - ◆ Kanalbreite: 6, 7, 8MHz
 - ◆ Maximale Brutto-Datenrate: 35,6 Mbit/s
 - ◆ Anwendungsfälle: kleine / billige Möglichkeit zur Datenübertragung im TV-Frequenzbereich
- IEEE802.11ah (HaLow)
 - ◆ Im Sub-900MHz-Bereich (Unterschiedliche Bereiche in Regionen)
 - ◆ Maximale Reichweite 1km
 - ◆ Bis zu 8191 Endgeräte (→ IoT)
 - ◆ Maximale Brutto-Datenübertragungsrate: 8,67MBit/s (bei Short GI)
 - ◆ Anwendungsfälle: Große Distanzen bei geringer Datenübertragungsrate / viele Endgeräte → IoT

Designziele für IEEE802.11ax

Erhöhung des mittleren Durchsatzes pro Benutzer
in dichten Umgebungen um den Faktor 4

Eigenschaften des IEEE802.11ax

Für den Multiuserbetrieb wurden unterschiedliche Modi spezifiziert.

Single User Modus

Das wurde bereits mit DCF eingeführt. Die Stationen senden sequentiell nacheinander, sobald der Kanal frei ist.

Multi-User-Modus

Damit ist der simultane Betrieb von Teilnehmer-Stationen gemeint, die nicht APs sind.

Der Standard unterteilt hier noch in einen Uplink und einen Downlink.

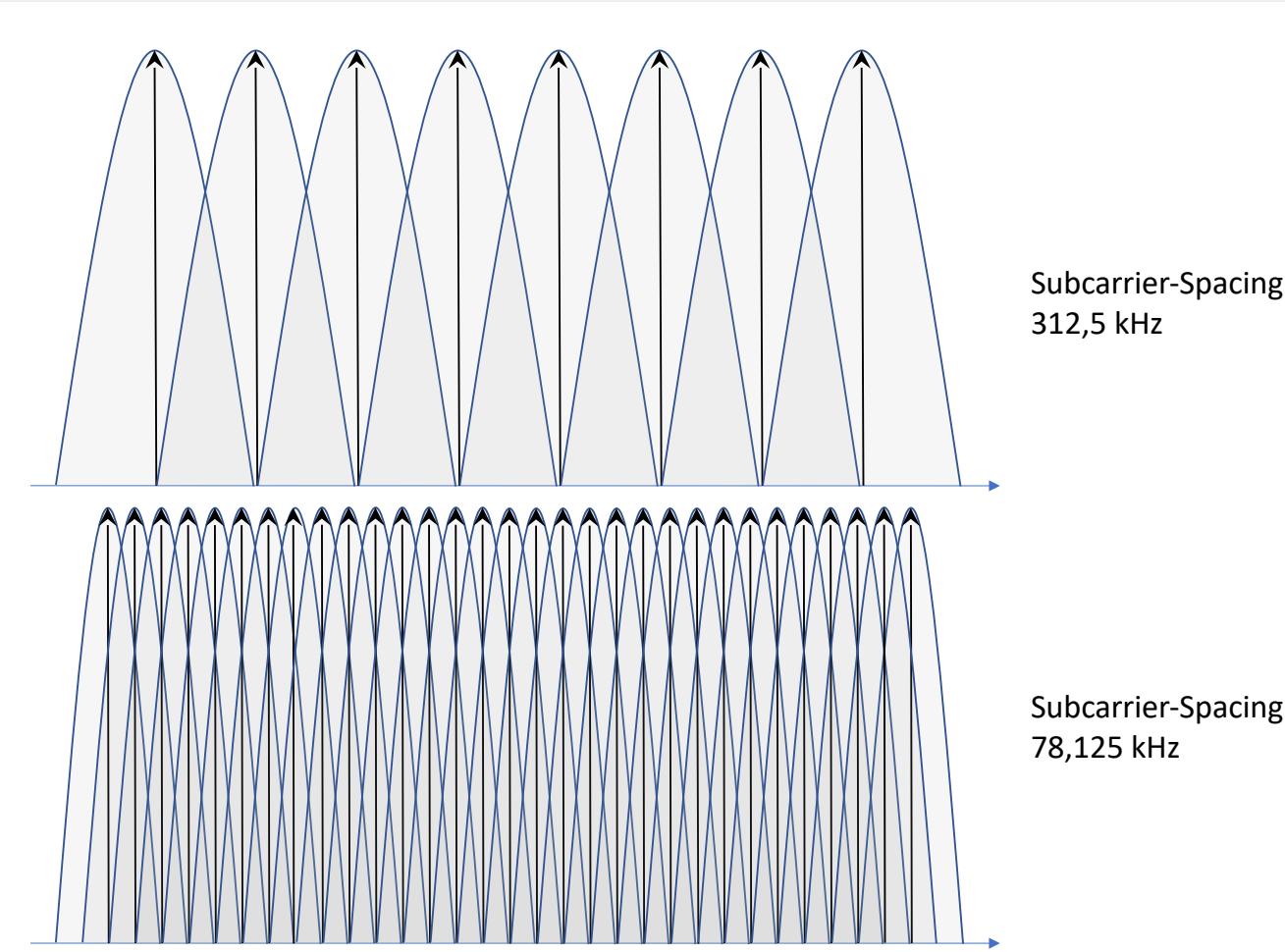
Multi-User-Downlink

Hier sind die Daten gemeint, die vom AP gleichzeitig an die Stationen gesendet werden.

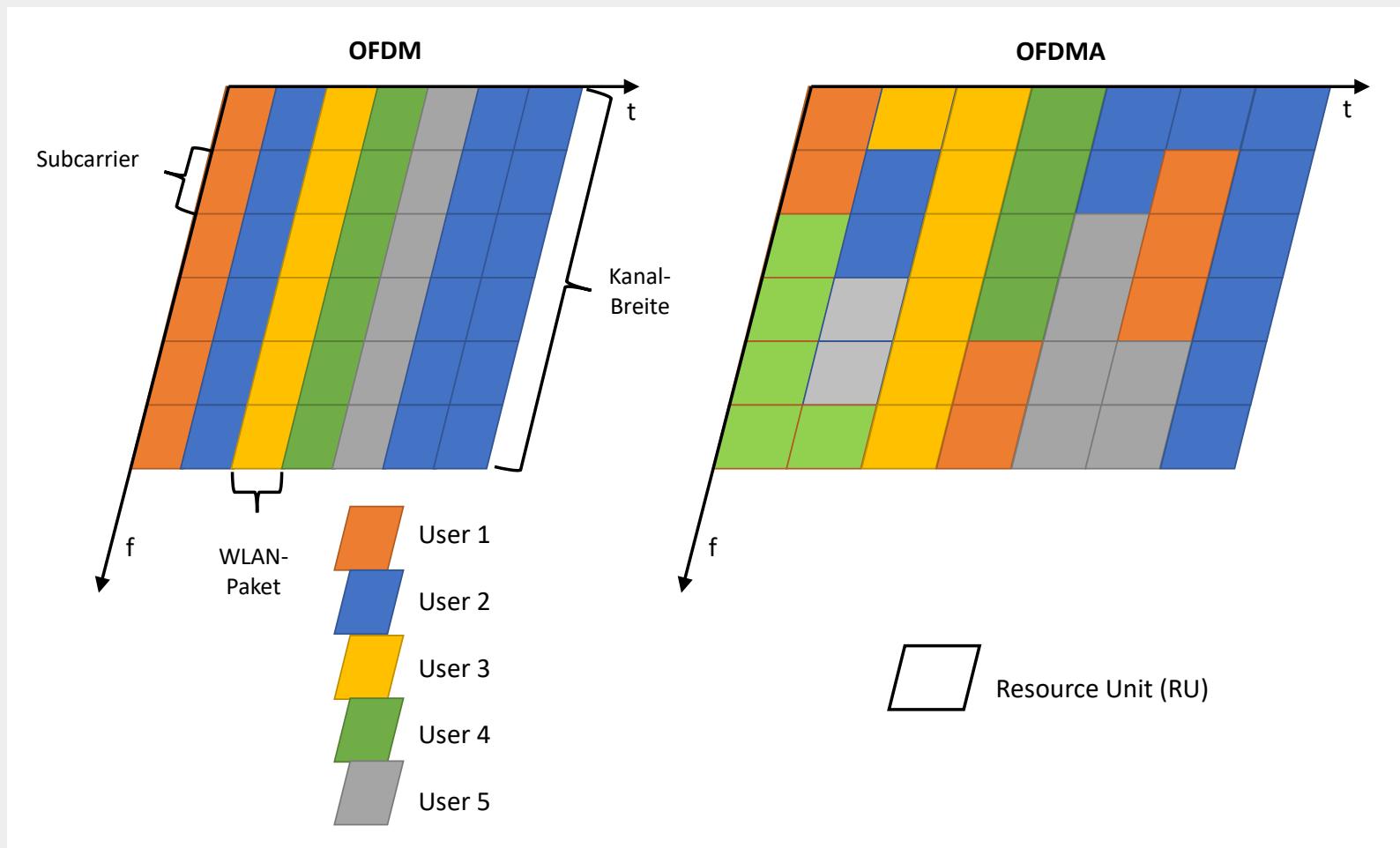
Multi-User-Uplink

Hierbei sind die Daten gemeint, die von mehreren Stationen gleichzeitig an einen AP gesendet werden. Der AP verwaltet die Verbindungen und triggert die simultane Übertragung der Daten an den AP.

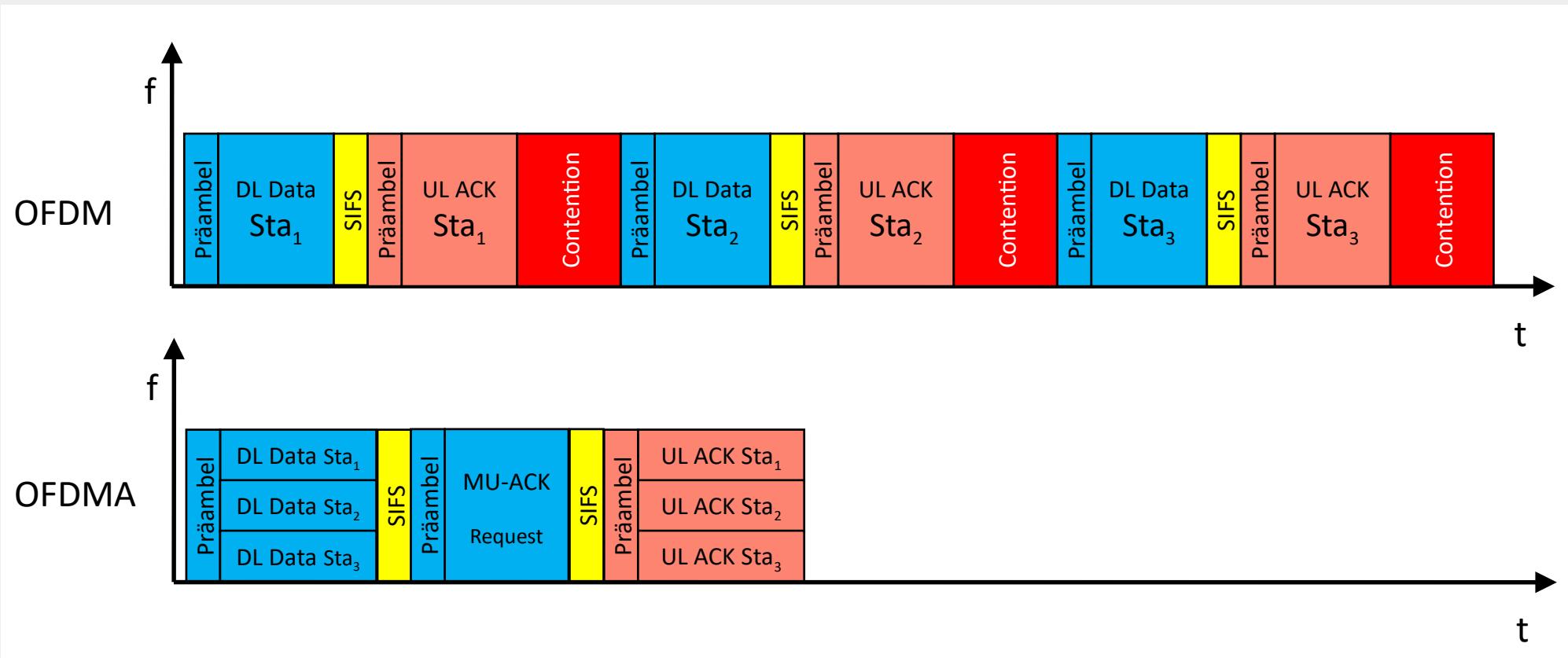
Verkleinerung des Subcarrier-Spacing



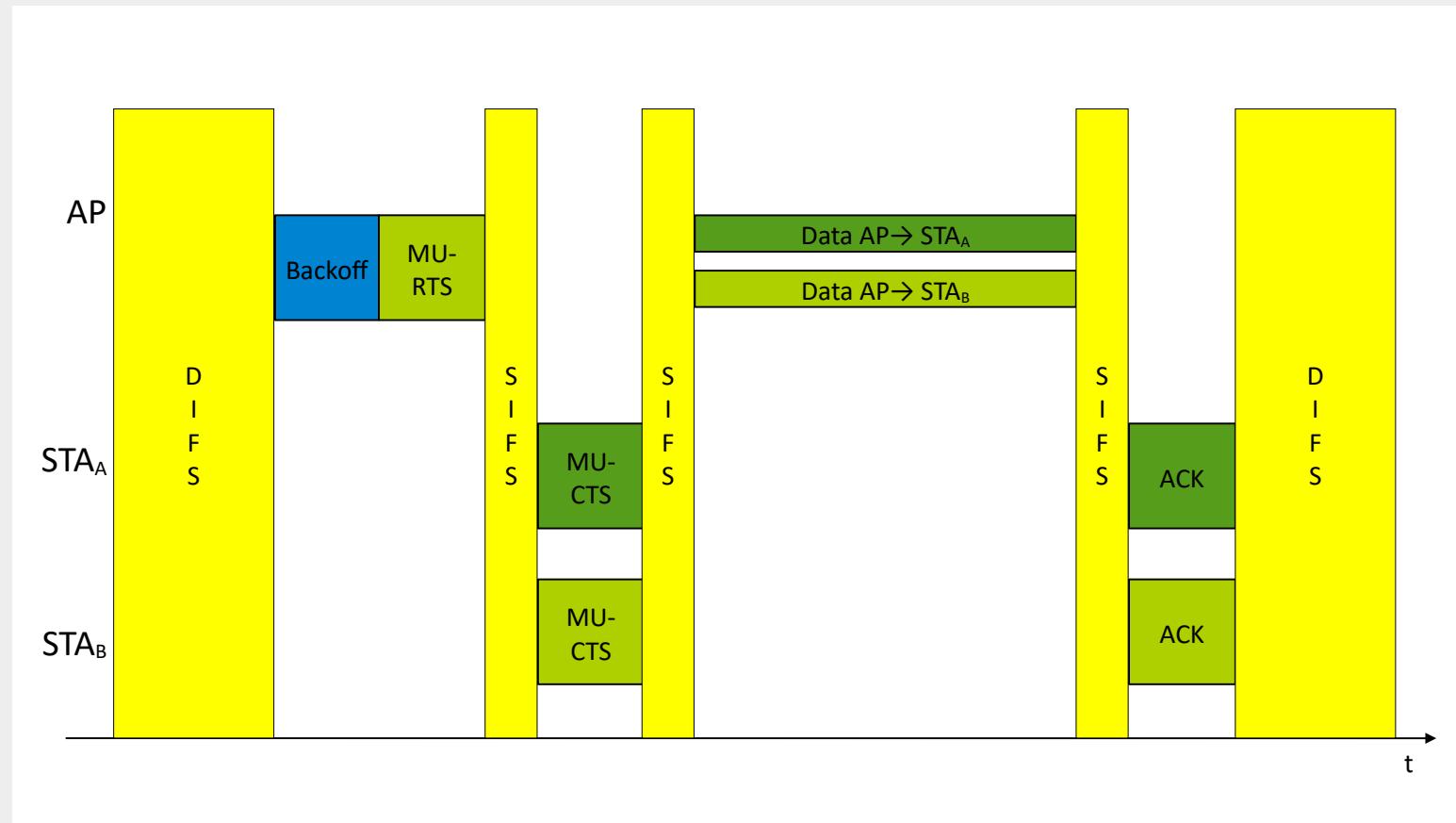
Einführung von OFDMA



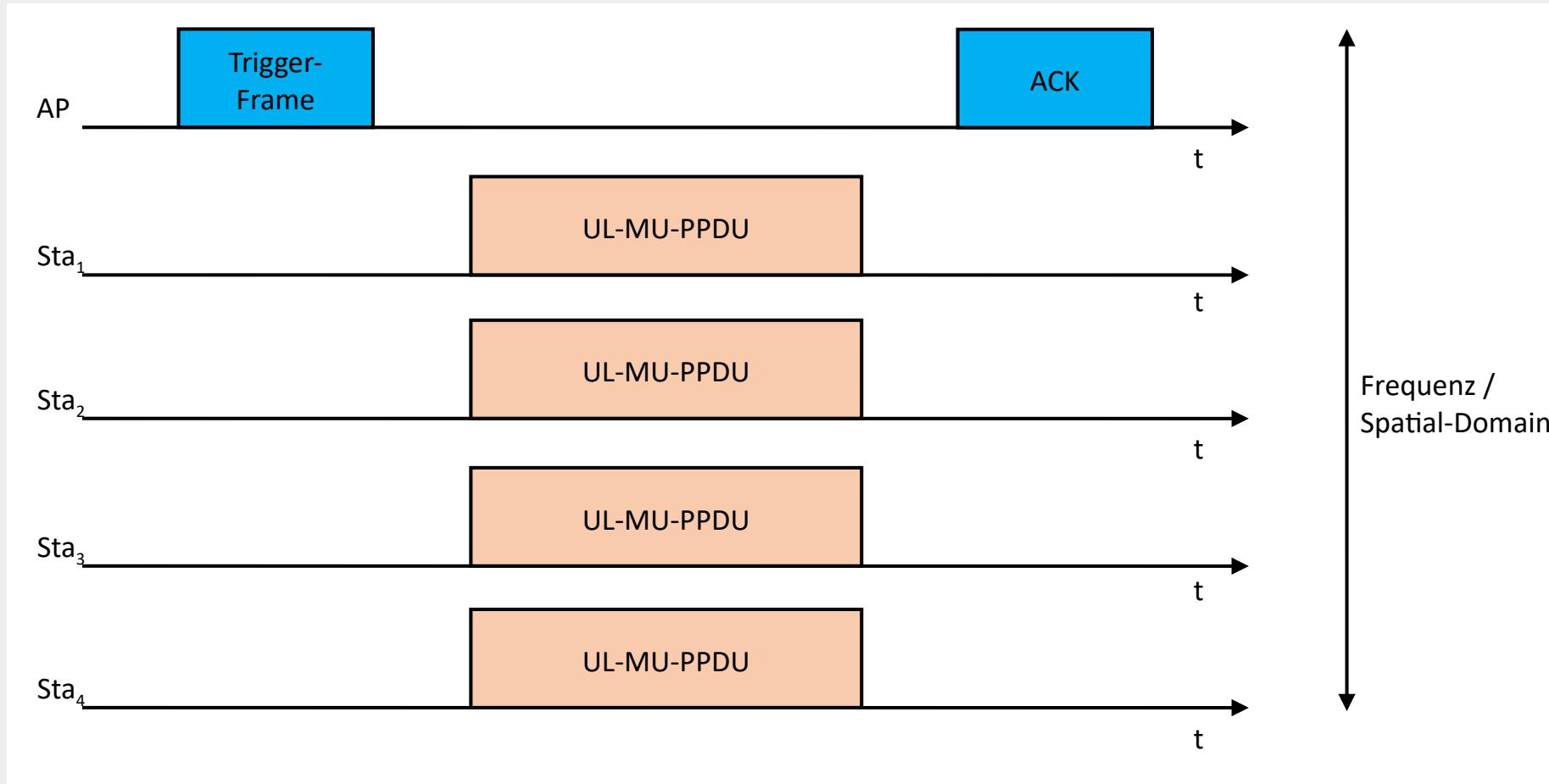
Reduzierung des Overheads



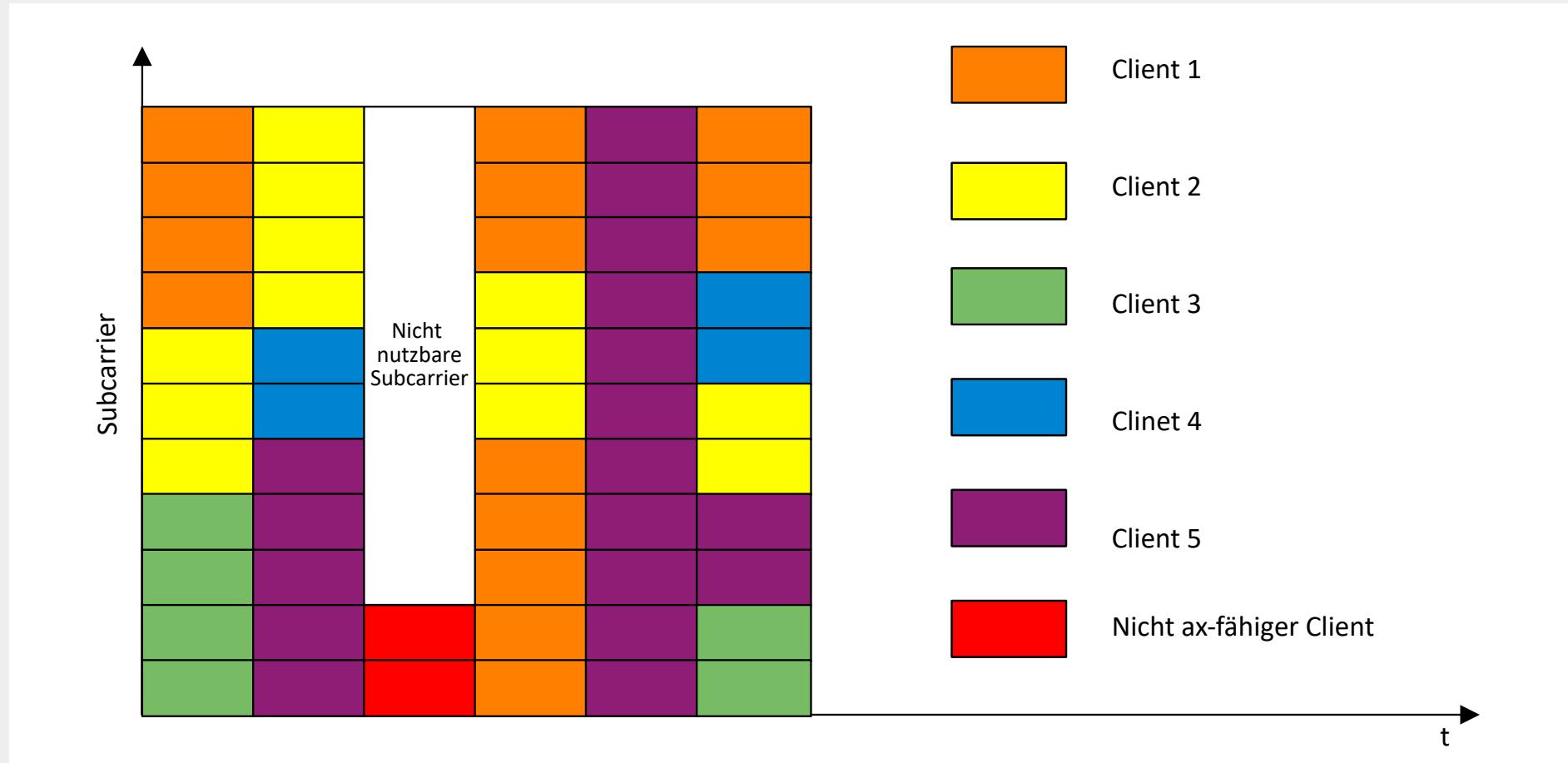
MU-Downlink



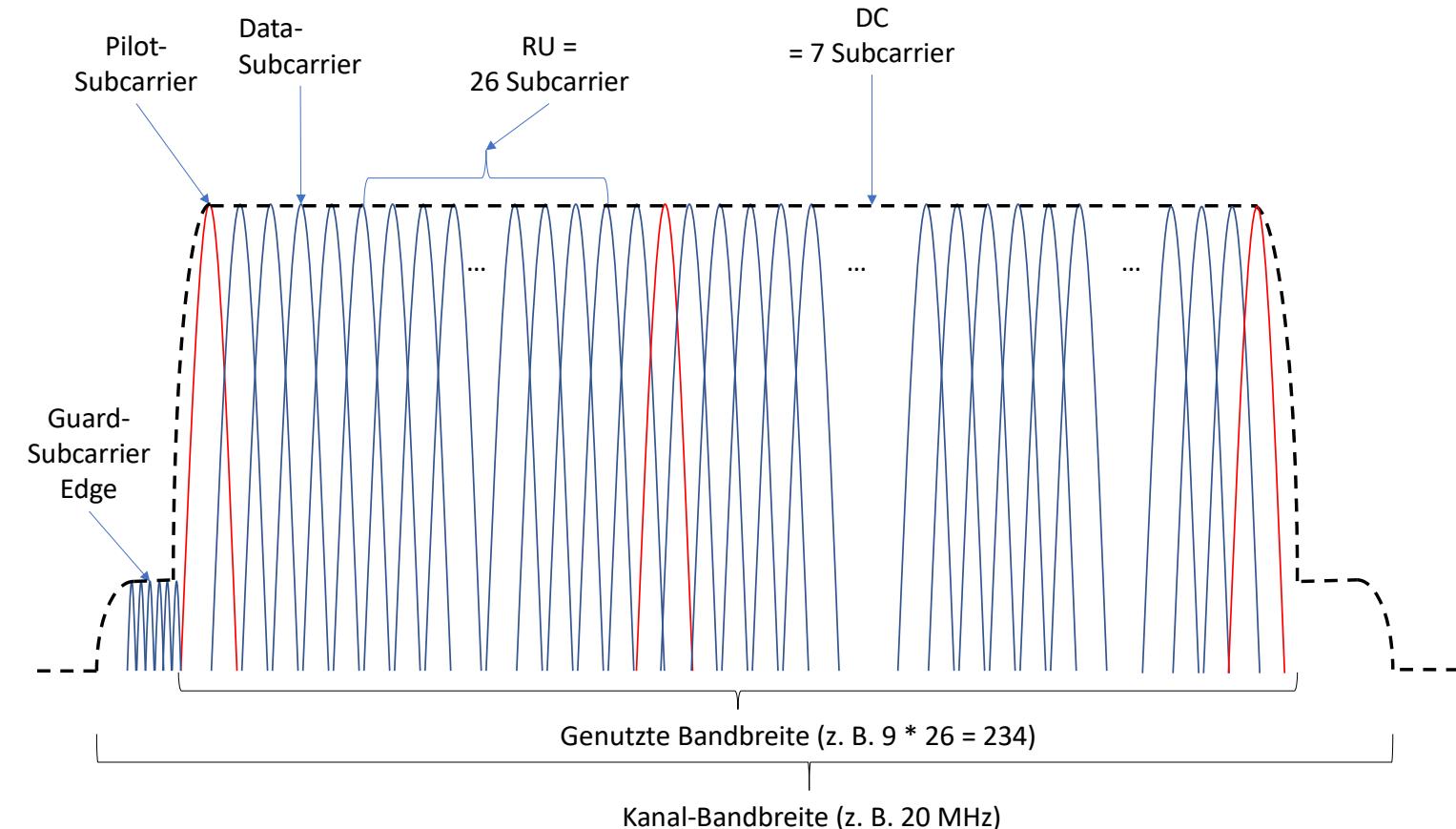
Zusammenfassung der Uplink-Multiuser-Frames



OFDMA in gemischter Umgebung

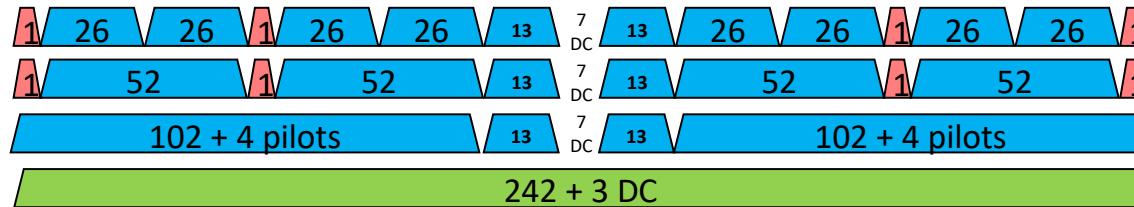


Kanalaufbau im Detail

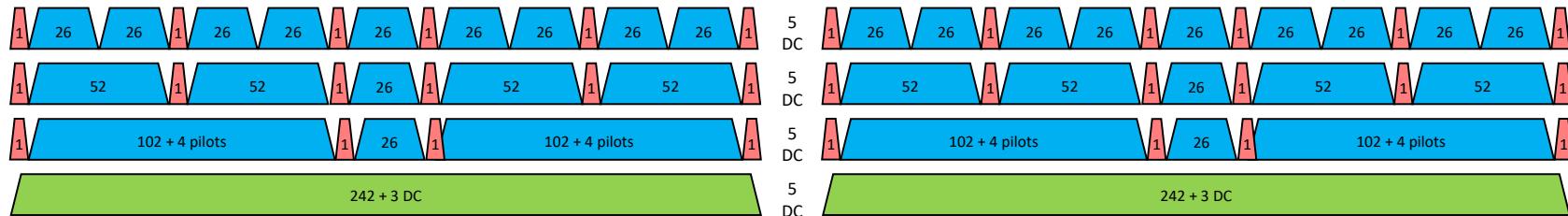


Übersicht der möglichen Kanäle

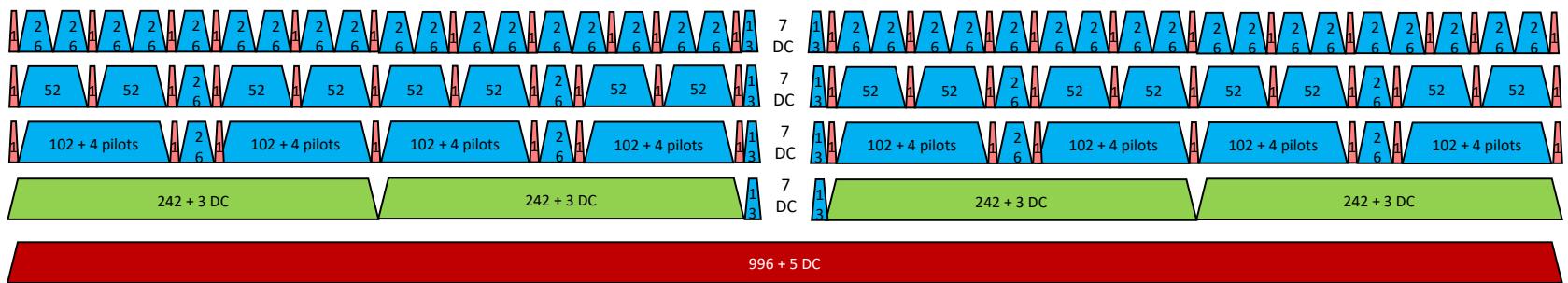
20 MHz



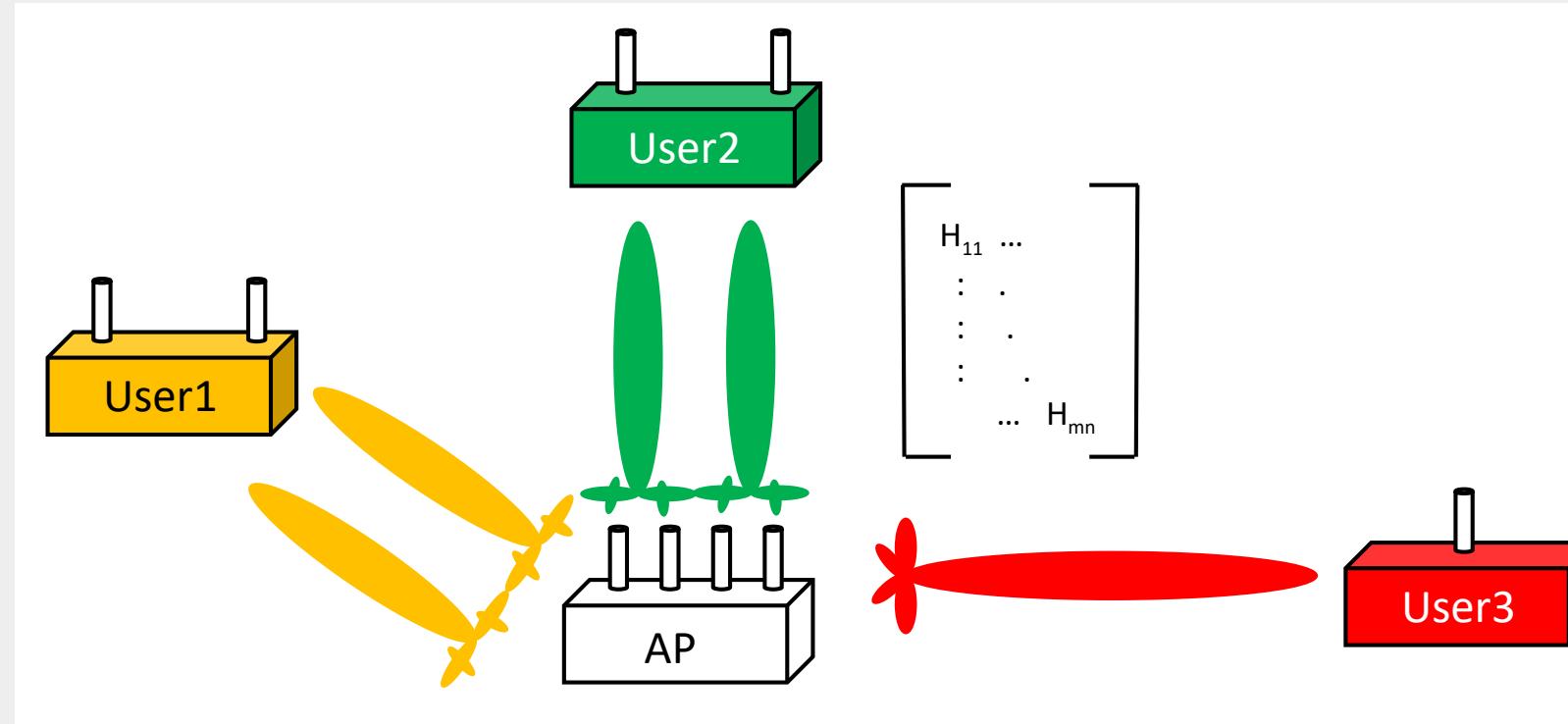
40 MHz



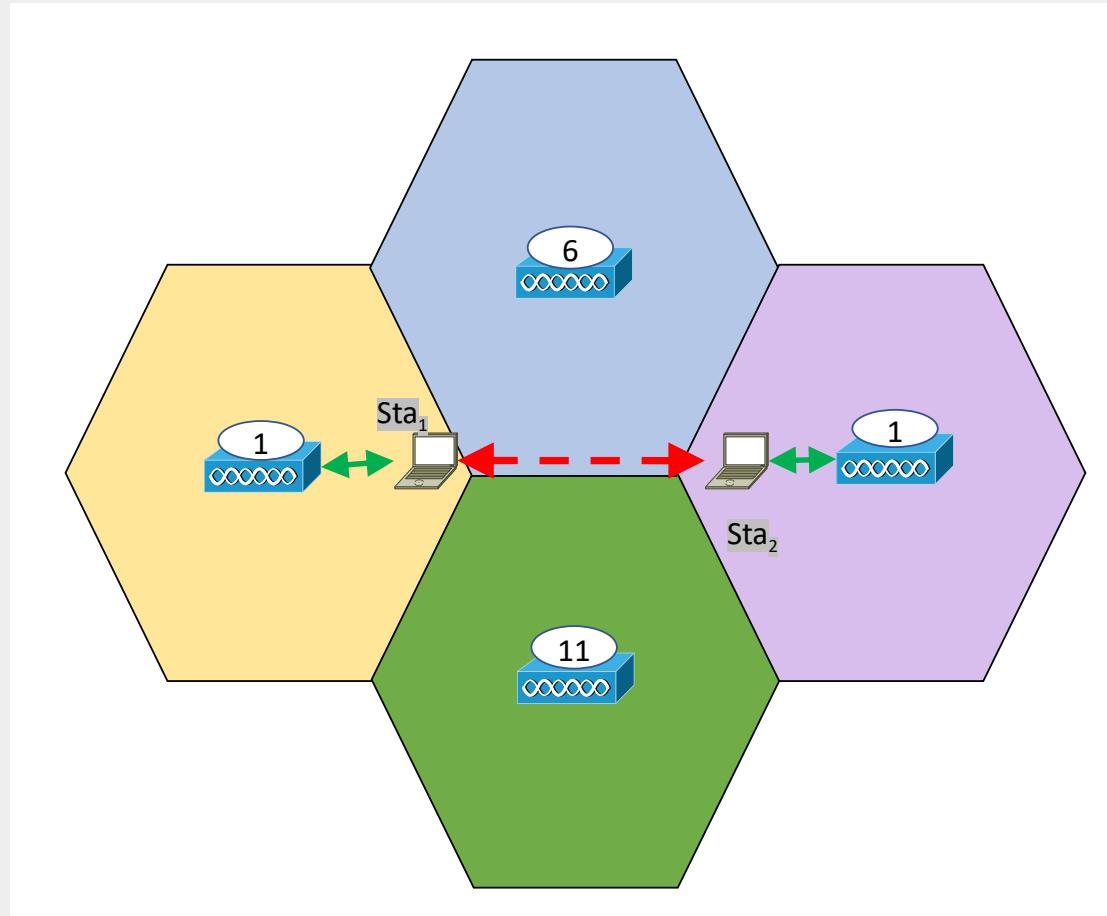
80 MHz



MU-MIMO



BSS-Coloring



Target wakeup Time (TwT)

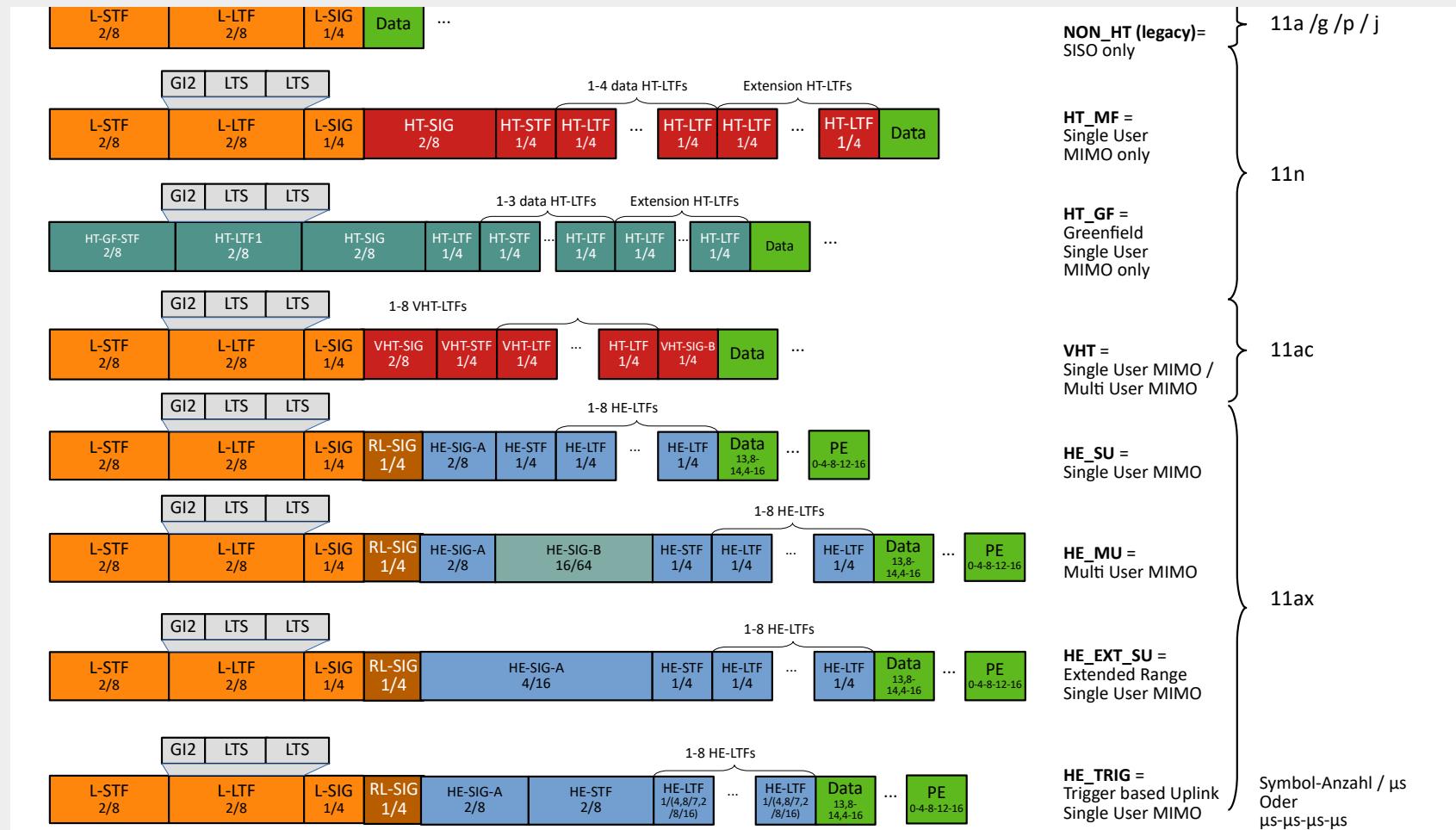
Target Wake Time ermöglicht Endgeräten, zu entscheiden, wann und wie häufig sie aufwachen, um Daten zu empfangen oder zu senden.

Access Points des WiFi-6-Standards sorgen so für eine cleverere Verwaltung der Datenströme und einen geringeren Energieverbrauch.

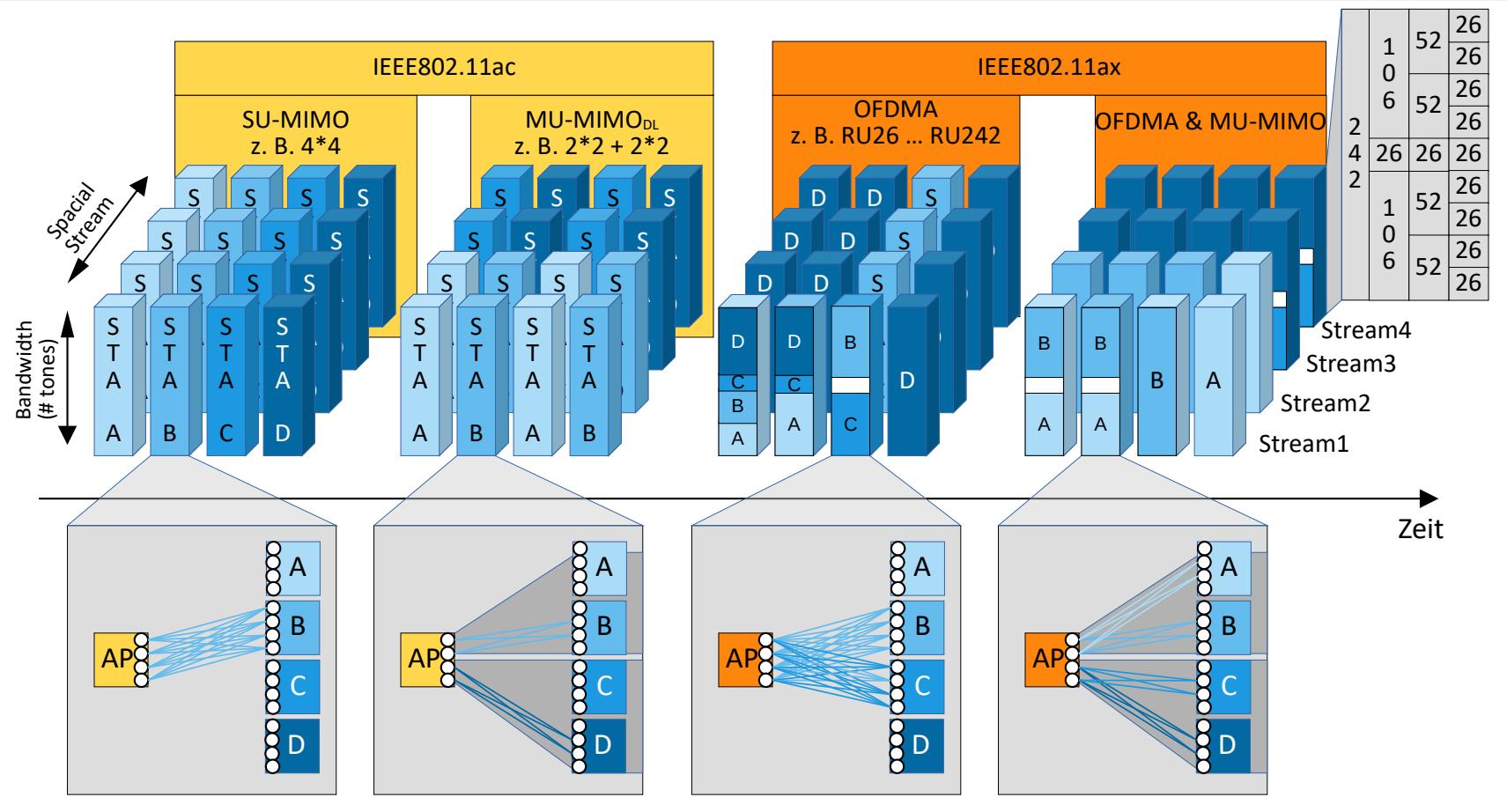
Weil Access Points und WLAN-Clients durch TWT ebenfalls spezifische Kommunikationszeitpunkte vereinbaren, können sich entsprechende Endgeräte gegenseitig besser aus dem Weg gehen und ihre Daten abwechselnd statt gleichzeitig senden.

Das erhöht die allgemeine Heimnetzeffizienz zusätzlich und ist besonders zuträglich für ein ökonomisches, stabiles Smart Home mit vielen IoT-Geräten, die nur sporadisch Daten senden und empfangen.

Frame-Übersicht



Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax



Wi-Fi-6e

Durch die Einführung des 6GHz-Bandes können weitere Bandbreiten genutzt werden.
Es sind die folgenden Konstellationen hinzugekommen:

- 60 Kanäle mit 20MHz oder
- 29 Kanäle mit 40MHz oder
- 14 Kanäle mit 80MHz oder
- 7 Kanäle mit 160MHz

Funktional gab es keine Neuerungen. Es gibt allerdings große regionale Unterschiede!

5,925GHz

Nordamerika
1200MHz

7,125GHz

5,945GHz

Europa
480MHz

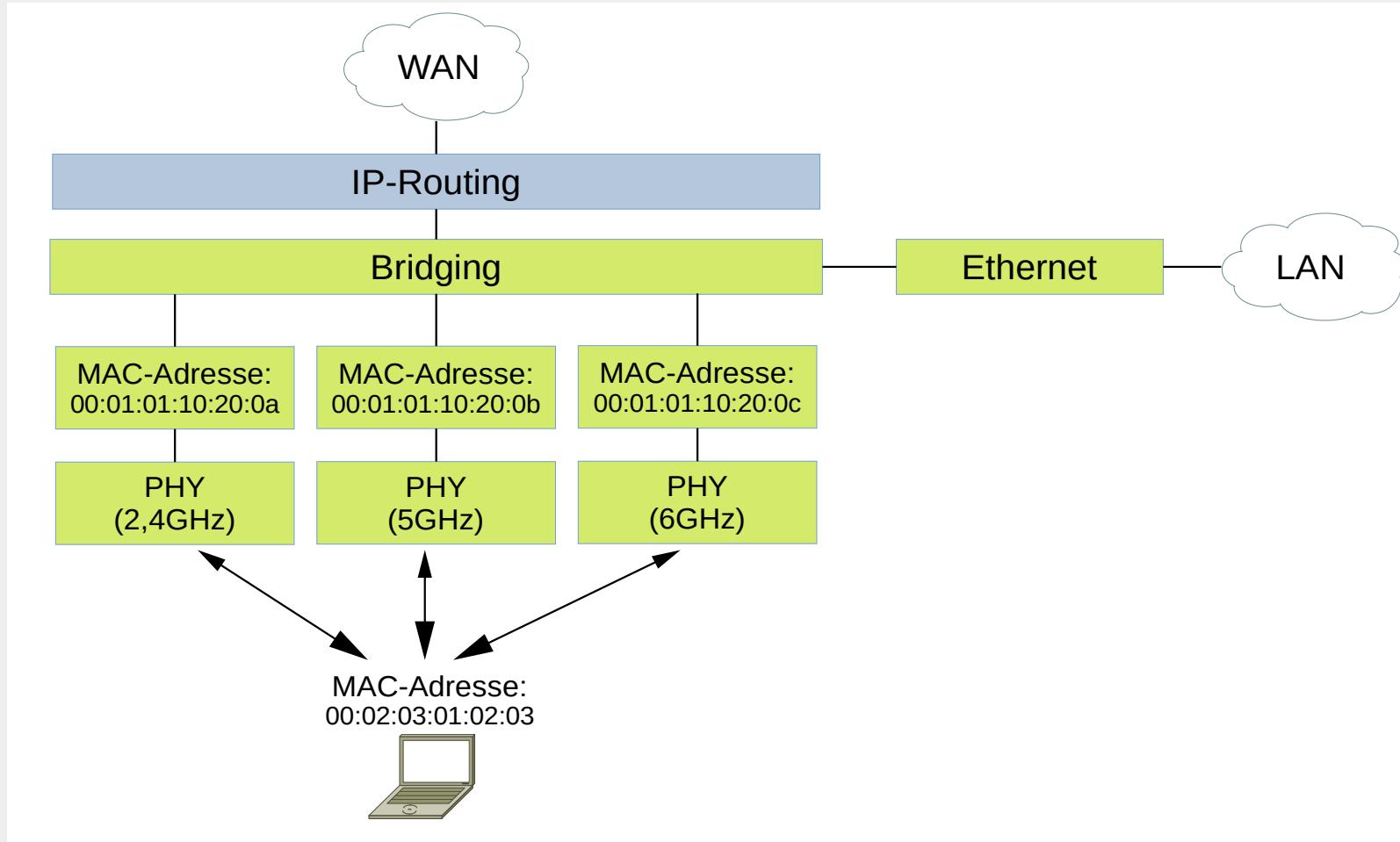
6,425GHz

Wi-Fi-7 (IEEE802.11be)

Neuerungen:

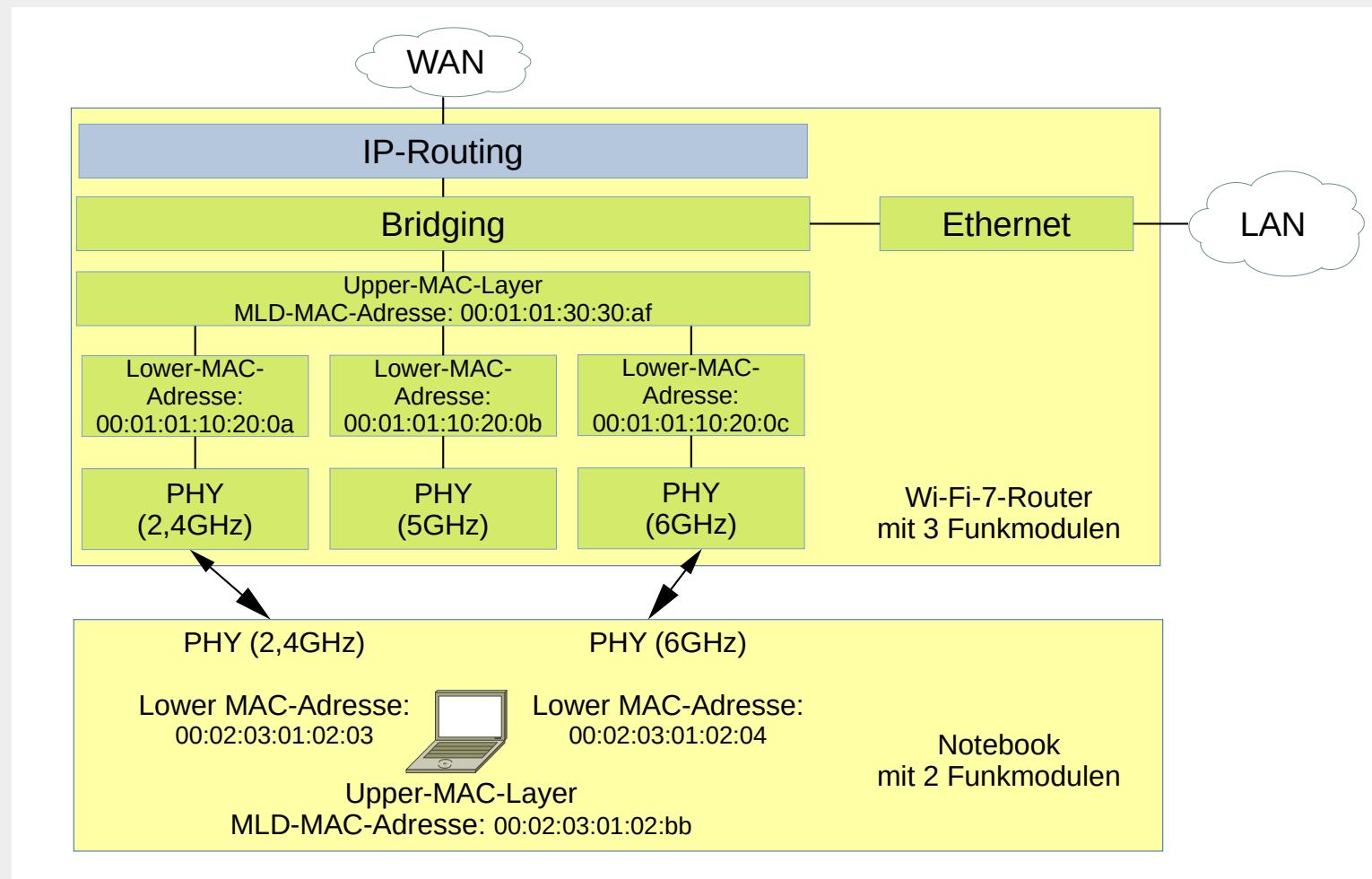
- 320MHz breite Kanäle (Damit gibt es im 6GHz-Band in Europa nur einen Kanal)
- 4096QAM (4kQAM) ermöglicht es pro Symbol 12 Bits zu codieren
- Multi-Link Operation (MLO) erlaubt die gleichzeitige Verwendung mehrerer Bänder (2,4GHz 5GHz und 6GHz parallel)
- Optimierung von OFDMA
 - Die Mindestanzahl koordinierter Clients wurde gesenkt.
 - Feinere Aufteilung von Bändern

Wi-Fi-7 Multi-Link Operation (MLO)



Wi-Fi-7

Einführung der Upper Layer MAC-Adresse



Wi-Fi-7 Multi-Link Operation (MLO)

MLO verbessert:

- Durchsatz
- Latenz
- Robustheit

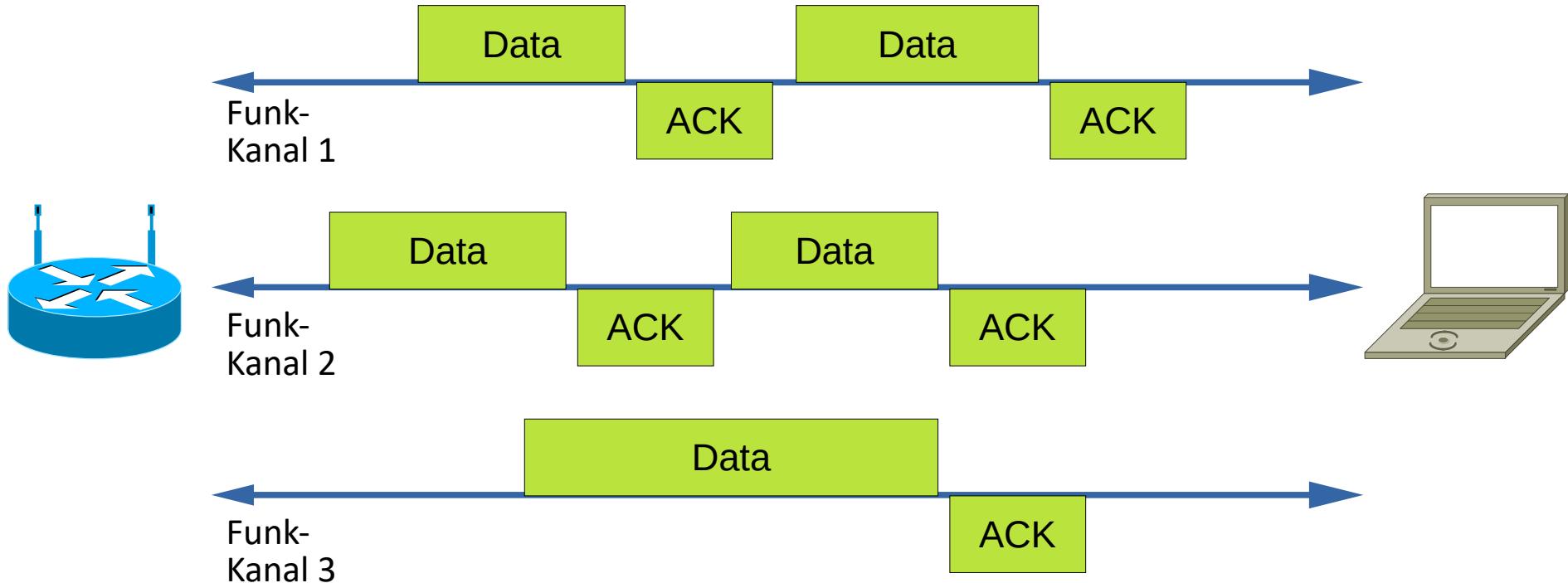
Eine gleichzeitige Ausnutzung aller drei Kanäle im 2,4GHz, 5GHz und 6GHz-Band wird im Modus Simultaneous Transmit and Receive (STR) durchgeführt

Geräte, die nicht alle 3 Kanäle nutzen können, profitieren durch die folgenden Verfahren:

- Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
- Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
- Multi-Link Single Radio (MLSR)

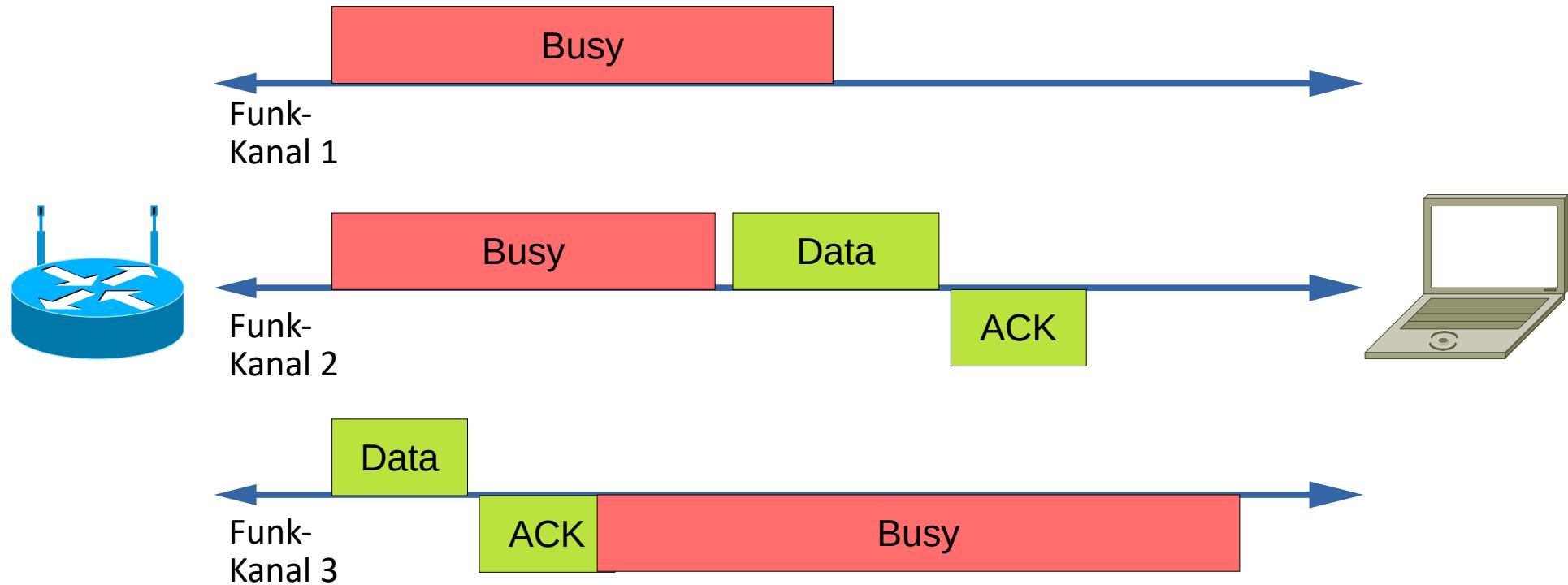
Wi-Fi-7

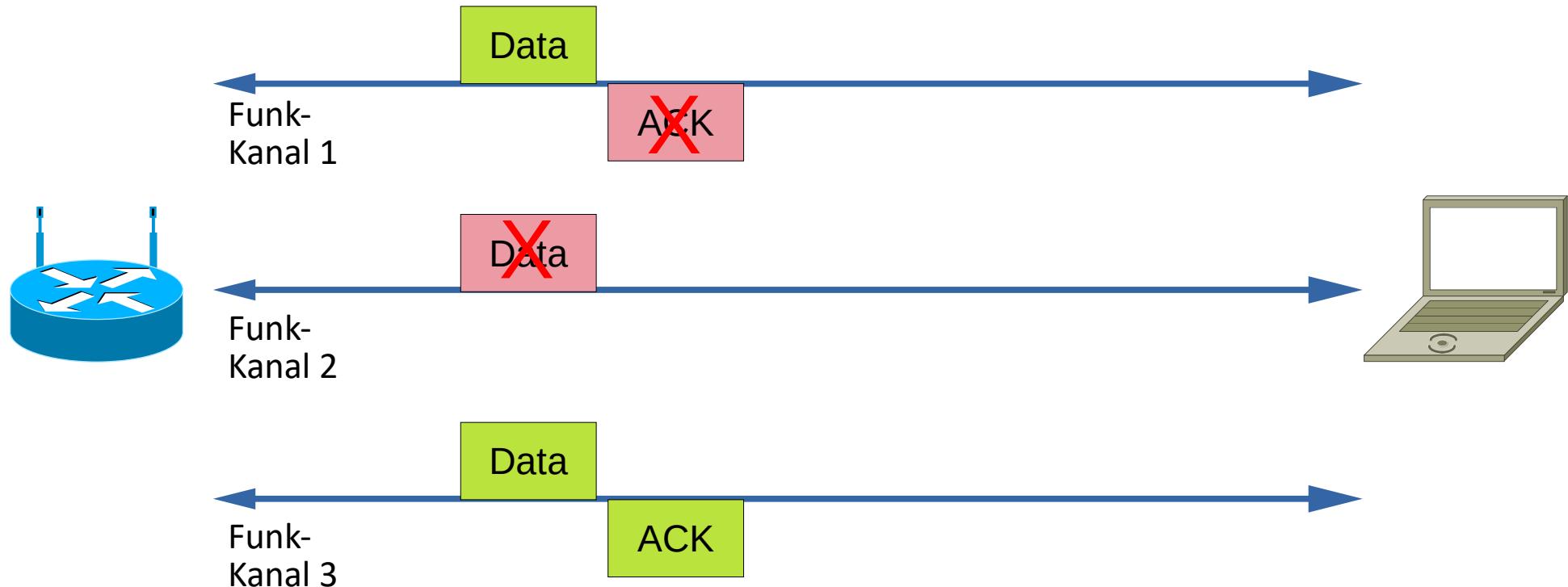
MLO: Durchsatzverbesserung



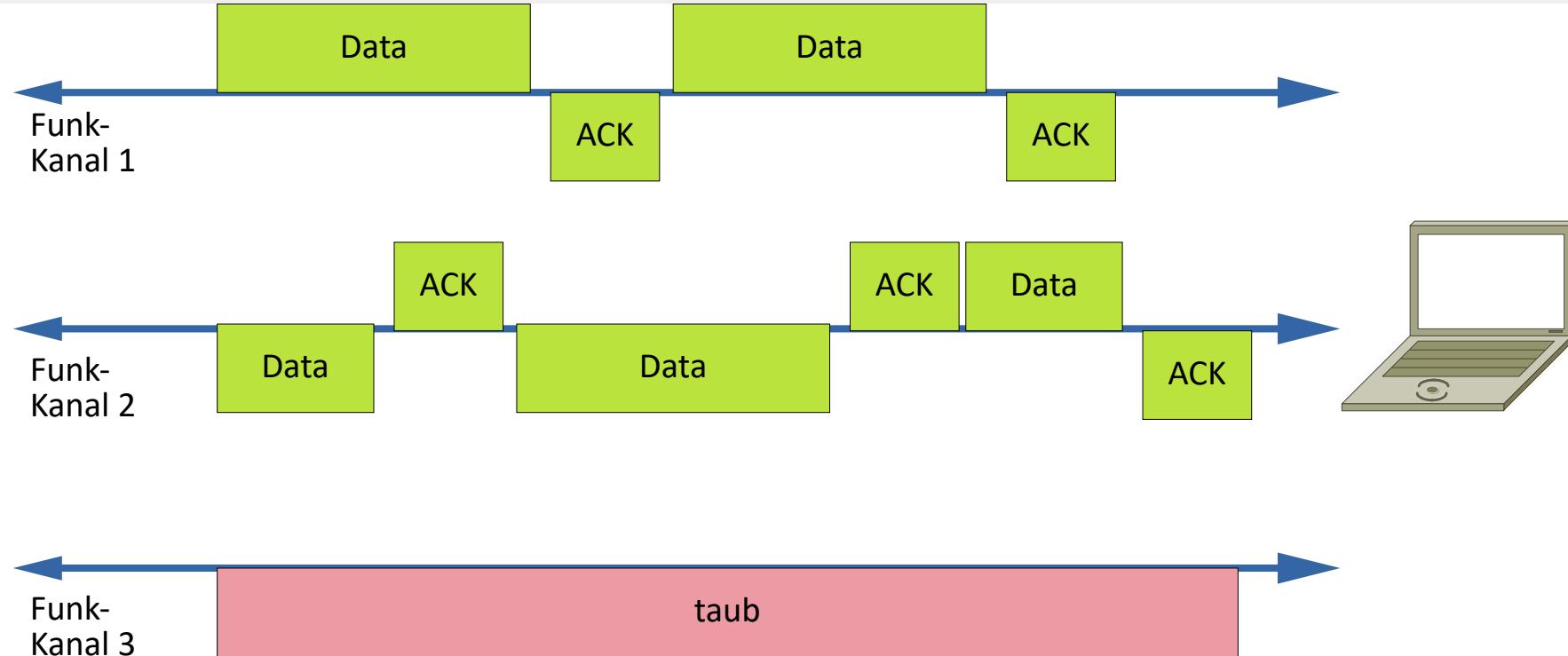
Wi-Fi-7

MLO: Latenzverbesserung

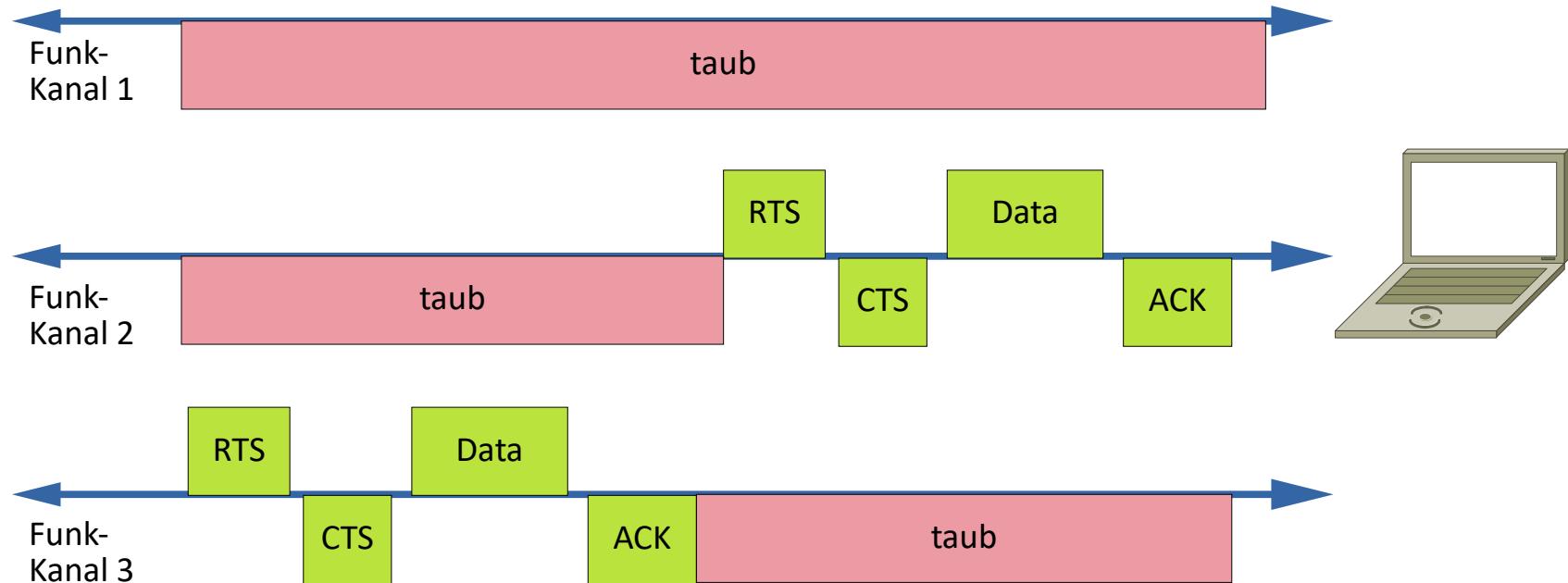


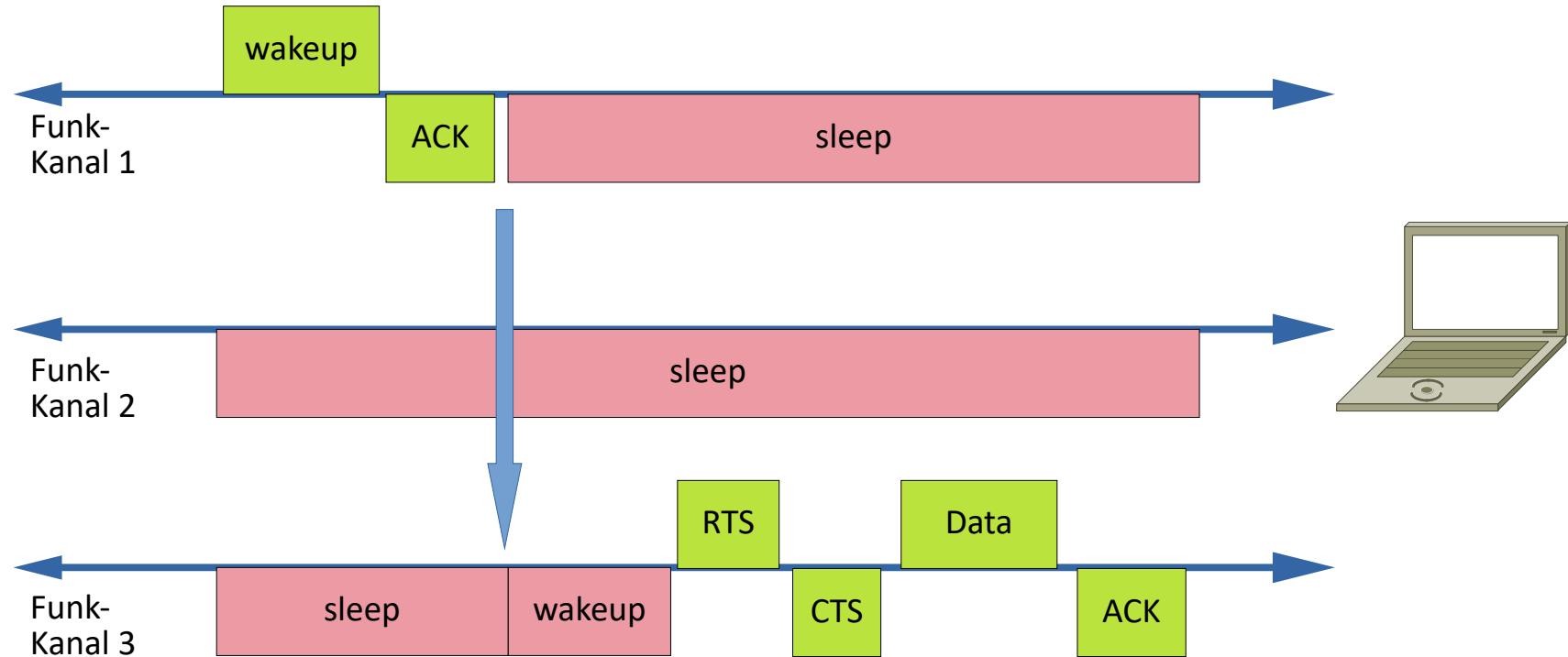


MLO: Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)



MLO: Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)





Inhalt

- WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften
 - ◆ IEEE802.11ad
 - ◆ IEEE802.11af
 - ◆ IEEE802.11ah
- Der IEEE-802.11ax-Standard (HE) (Wi-Fi-6)
 - ◆ Neuer Modus (Uplink / Downlink)
 - ◆ Verkleinerung des Subcarrier-Spacing
 - ◆ OFDMA
 - ◆ Reduzierung der Präambeln
 - ◆ Multi-User Uplink
 - ◆ Aufbau eines Frequenzbandes
 - ◆ Multi-User-Beamforming
 - ◆ BSS-Coloring
 - ◆ Zusammenfassung der Formate
 - ◆ Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax
 - ◆ Wi-Fi-6e
- Der IEEE-802.11be-Standard (EHT) (Wi-Fi-7)
 - ◆ Neuerungen
 - ◆ Multi-Link Operation
 - ◆ Simultaneous Transmit and Receive (STR)
 - ◆ Durchsatzsteigerung
 - ◆ Reduzierung der Latenzzeit
 - ◆ Robustheit
 - ◆ Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
 - ◆ Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
 - ◆ Multi-Link Single Radio (MLSR)
 - ◆ Optimierungen am Medienzugriffsverfahren OFDMA

WLAN-Vorlesung Teil-6

- WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften
 - ◆ IEEE802.11ad
 - ◆ IEEE802.11af
 - ◆ IEEE802.11ah
- Der IEEE-802.11ax-Standard (HE) (Wi-Fi-6)
 - ◆ Neuer Modus (Uplink / Downlink)
 - ◆ Verkleinerung des Subcarrier-Spacing
 - ◆ OFDMA
 - ◆ Reduzierung der Präambeln
 - ◆ Multi-User Uplink
 - ◆ Aufbau eines Frequenzbandes
 - ◆ Multi-User-Beamforming
 - ◆ BSS-Coloring
 - ◆ Zusammenfassung der Formate
 - ◆ Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax
 - ◆ Wi-Fi-6e
- Der IEEE-802.11be-Standard (EHT) (Wi-Fi-7)
 - ◆ Neuerungen
 - ◆ Multi-Link Operation
 - ◆ Simultaneous Transmit and Receive (STR)
 - ◆ Durchsatzsteigerung
 - ◆ Reduzierung der Latenzzeit
 - ◆ Robustheit
 - ◆ Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
 - ◆ Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
 - ◆ Multi-Link Single Radio (MLSR)
 - ◆ Optimierungen am Medienzugriffsverfahren OFDMA

WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften

- IEEE802.11ad
 - ◆ Im 60GHz-Band
 - ◆ Maximale Reichweite 20m
 - ◆ Kanalbreite 2160MHz
 - ◆ Maximale Brutto-Datenübertragungsrate 6,75Gbit/s
 - ◆ Anwendungsfälle: Hohe Datenrate auf kurze Distanz. (Beamer, o. ä.)
- IEEE802.11af
 - ◆ Im Bereich zwischen 540MHz und 790MHz (Sub-800MHz-Bereich)
 - ◆ Kanalbreite: 6, 7, 8MHz
 - ◆ Maximale Brutto-Datenrate: 35,6 Mbit/s
 - ◆ Anwendungsfälle: kleine / billige Möglichkeit zur Datenübertragung im TV-Frequenzbereich
- IEEE802.11ah (HaLow)
 - ◆ Im Sub-900MHz-Bereich (Unterschiedliche Bereiche in Regionen)
 - ◆ Maximale Reichweite 1km
 - ◆ Bis zu 8191 Endgeräte (→ IoT)
 - ◆ Maximale Brutto-Datenübertragungsrate: 8,67MBit/s (bei Short GI)
 - ◆ Anwendungsfälle: Große Distanzen bei geringer Datenübertragungsrate / viele Endgeräte → IoT

Diese Standards sind nicht Teil der Wi-Fi-x – Nomenklatur.

Produkte sind verfügbar, führen jedoch ein Nischendasein

Erhöhung des mittleren Durchsatzes pro Benutzer
in dichten Umgebungen um den Faktor 4

Hauptziel ist es die erlebte Datenrate eines Users zu erhöhen. Dies gilt vor allem in dicht gedrängten Umgebungen wie Fußballstadien oder im Zug.

Natürlich wurde auch an anderen Eigenschaften optimiert:
Datenrate
Stabilität bei größeren Distanzen

Für den Multiuserbetrieb wurden unterschiedliche Modi spezifiziert.

Single User Modus

Das wurde bereits mit DCF eingeführt. Die Stationen senden sequentiell nacheinander, sobald der Kanal frei ist.

Multi-User-Modus

Damit ist der simultane Betrieb von Teilnehmer-Stationen gemeint, die nicht APs sind.

Der Standard unterteilt hier noch in einen Uplink und einen Downlink.

Multi-User-Downlink

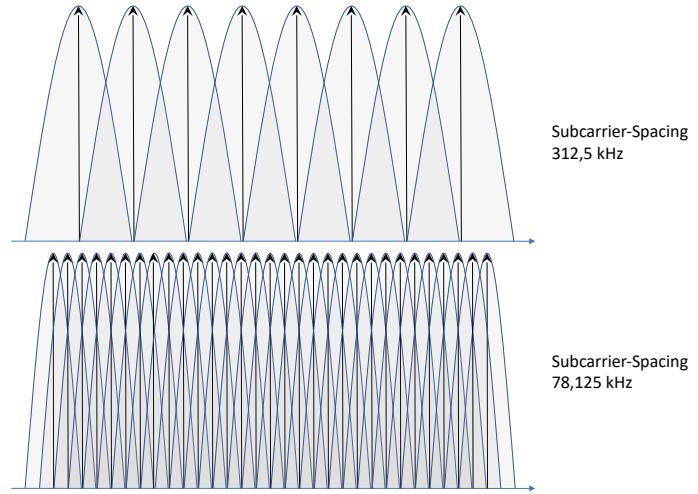
Hier sind die Daten gemeint, die vom AP gleichzeitig an die Stationen gesendet werden.

Multi-User-Uplink

Hierbei sind die Daten gemeint, die von mehreren Stationen gleichzeitig an einen AP gesendet werden. Der AP verwaltet die Verbindungen und triggert die simultane Übertragung der Daten an den AP.

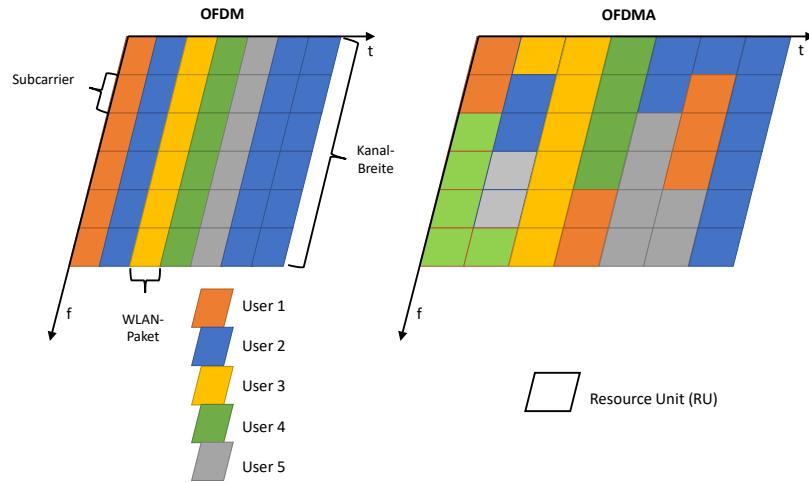
Eine neue Eigenschaft ist der Multi-User Uplink. (MU-UL)
Den MU-Downlink (MU-DL) gab es schon bei IEEE802.11ac.

Verkleinerung des Subcarrier-Spacing



Eine wichtige Optimierung ist das weitere Zusammenschieben des Unterträger-Abstandes.

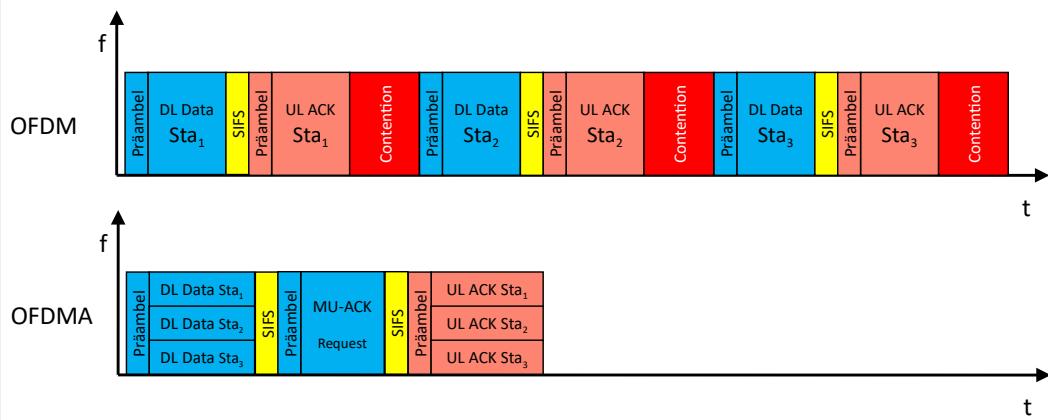
Einführung von OFDMA



Bei OFDM hat ein Zeitmultiplex stattgefunden. Ein User nach dem anderen hat alle Unterträger zugeteilt bekommen und dann gesendet.

Bei OFDMA bekommt ein User nur einen Teil der Unterträger zugeteilt. Man spricht hier von einer Resource Unit (RU). Dafür können gleichzeitig bis zu 9 User senden.

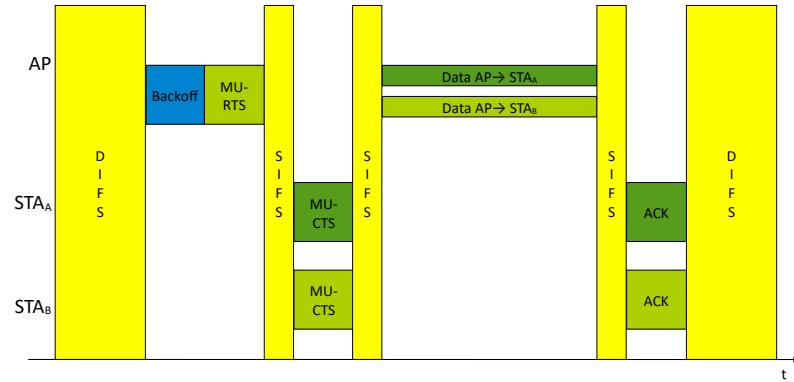
Reduzierung des Overheads



Durch das gleichzeitige Senden an mehrere User können die Präambeln eingespart werden.

Die Quittungen werden mit einem eigenen Request angefordert.

MU-Downlink



Die Mechanismen für den Multi User Uplink (MU-UL) und den Multi User Downlink (MU-DL) sind getrennt zu betrachten.

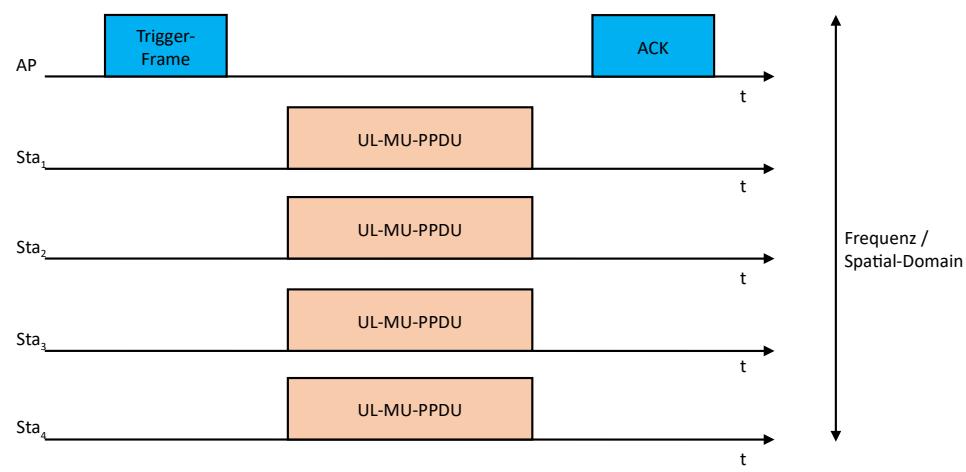
Das senden der APs an mehrere Stationen wird mit einem Multi User RTS/CTS (MU-RTS/MU-CTS) abgehandelt.

Im RTS wird für jede Station, die Daten bekommen soll, angekündigt, dass Daten zur Übertragung anstehen.

Jede Station, die bereit ist, erteilt darauf mit einem Clear to Send (CTS) das Senden.

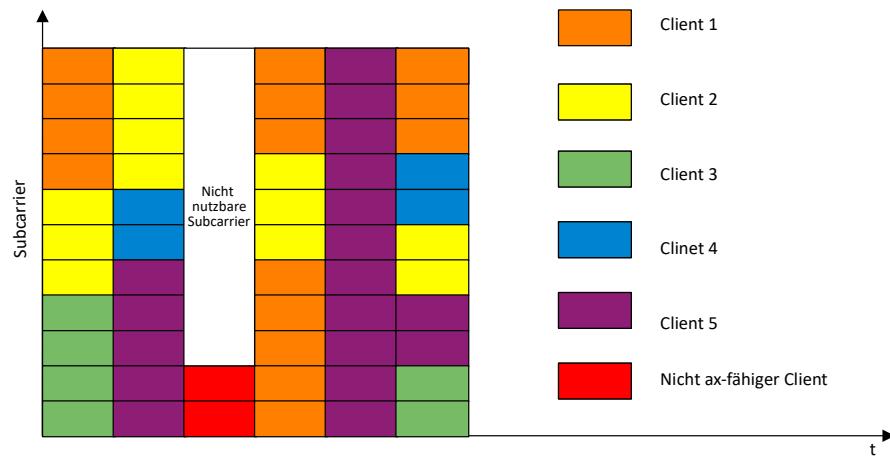
Am Ende wird mit einem ACK der Empfang quittiert.

Zusammenfassung der Uplink-Multiuser-Frames



Auch die Uplinks können zur selben Zeit von unterschiedlichen Usern genutzt werden.
Allerdings sind hier immer gleiche Übertragungsdauern möglich.

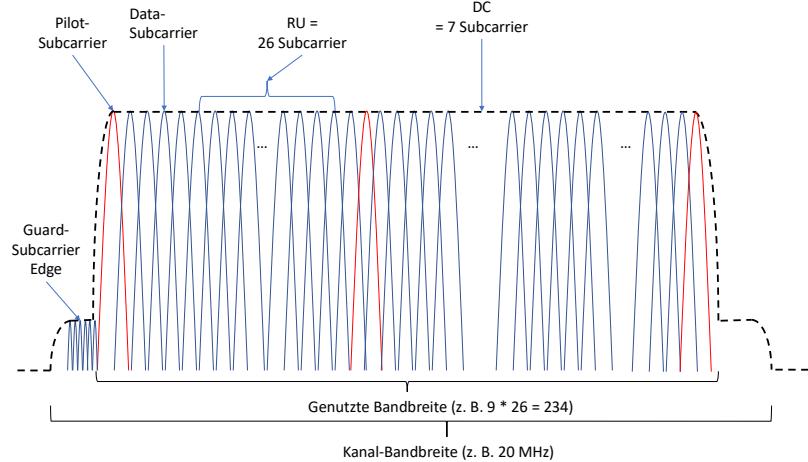
OFDMA in gemischter Umgebung



OFDMA ist davon abhängig, dass möglichst alle Stationen 802.11ax-fähig sind.

Im Beispiel ist ersichtlich, dass Geräte die den OFDMA-Standard nicht beherrschen die Datenübertragung jäh ausbremsen.

Kanalaufbau im Detail

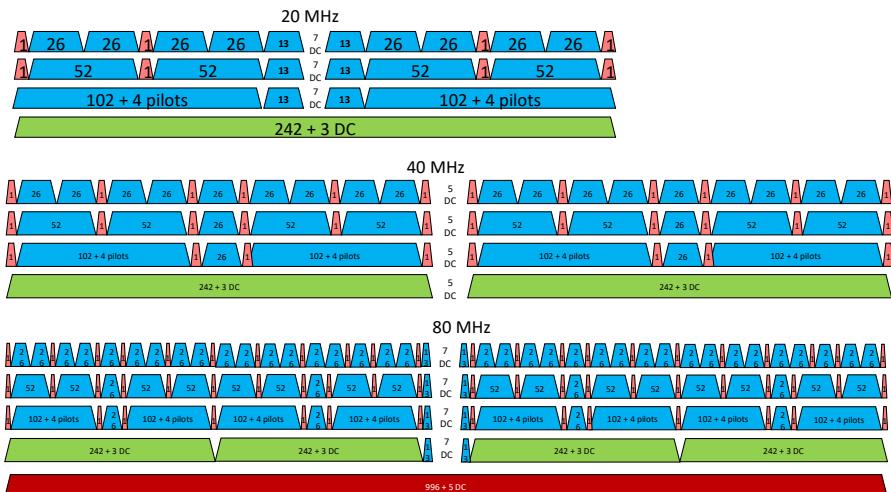


Es gibt drei Nutzungsmöglichkeiten von Unterträgern:

- Daten-Unterträger. Diese Träger werden zu RUs zusammengefasst.
- Pilot-Unterträger. Diese Unterträger werden zur Bestimmung der Phasenlage bei OFDM benötigt.
- Ungenutzte Träger. Diese Unterträger sind als Trenner zwischen den RUs. Die DC-Subcarrier in der Mitte sind wichtig für die Rekonstruktion des OFDM-Signals.

Weiterhin gibt es am Randbereich noch die Guard-Subcarrier, welche die Frequenzbänder gegeneinander abtrennen

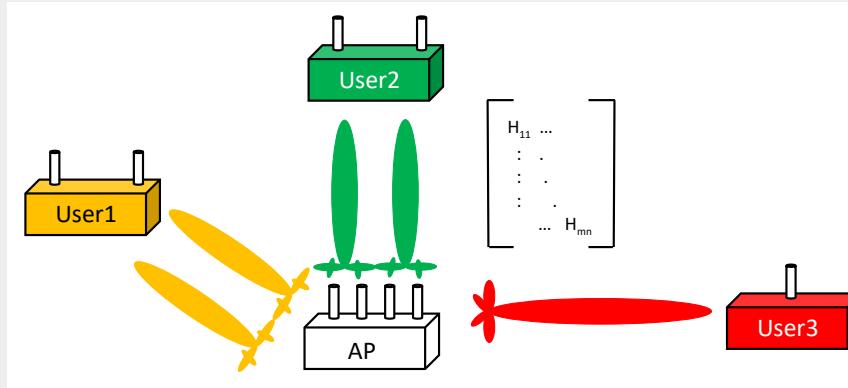
Übersicht der möglichen Kanäle



Je nach Band und Größe der RUs sind unterschiedliche Userzahlen möglich.

RU-Typ	CBW 20	CBW 40	CBW 80	CBW 160
26 Subcarrier	9	18	37	74
52 Subcarrier	4	8	16	32
106 Subcarrier	2	4	8	16
242 Subcarrier	1-SU/MU-MIMO	2	4	8
484 Subcarrier	./.	1-SU/MU-MIMO	2	4

MU-MIMO



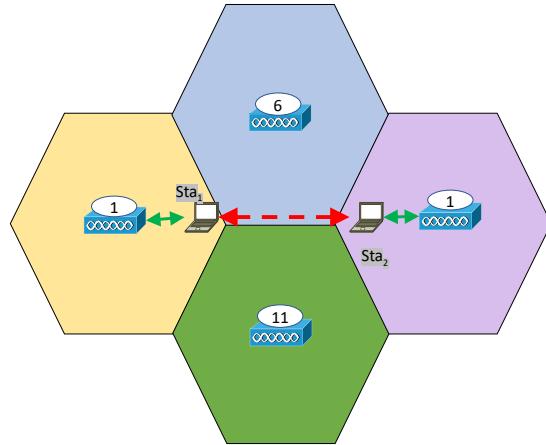
Der Beamformer (Trainer) initiiert mit einem Null-Paket die Prozedur zur Kanalprüfung.

Der Partner (Trainee) misst den Kanal und antwortet mit einem Beamforming-Feedback-Frame, der eine komprimierte Feedbackmatrix enthält.

Der Beamformer nutzt die Information zur Berechnung der Matrix H, die er dazu nutzt die Energie gezielt auf jeden Empfänger zu richten.

Wo bei IEEE802.11ac noch 4 unterschiedliche Ziele von einem AP adressiert werden konnten sind es bei IEEE802.11ax bis zu 8 unterschiedliche Ziele. Jede MU-MIMO-Verbindung kann ihre eigene Modulations, Codierungsmenge (MCS) und Spacial Streams haben. Senden Stationen auf einen Trigger-Frame hin simultan ihre Daten an den AP kann er durch Anwenden der Matrix die Daten der unterschiedlichen Verbindungen wieder herausfiltern.

BSS-Coloring



Das Problem mit dem Kanalabstand wurde entschärft indem die Kanäle „eingefärbt“ wurden.

Obwohl die beiden Stationen (Sta_1 und Sta_2) im Kanal 1 senden beeinflussen sie sich nicht, da sie in unterschiedlich „eingefärbten“ Kanälen (gelb / lila) unterwegs sind.

Dazu ist im Header ein weiteres Feld eingeführt worden.

Target wakeup Time (TwT)

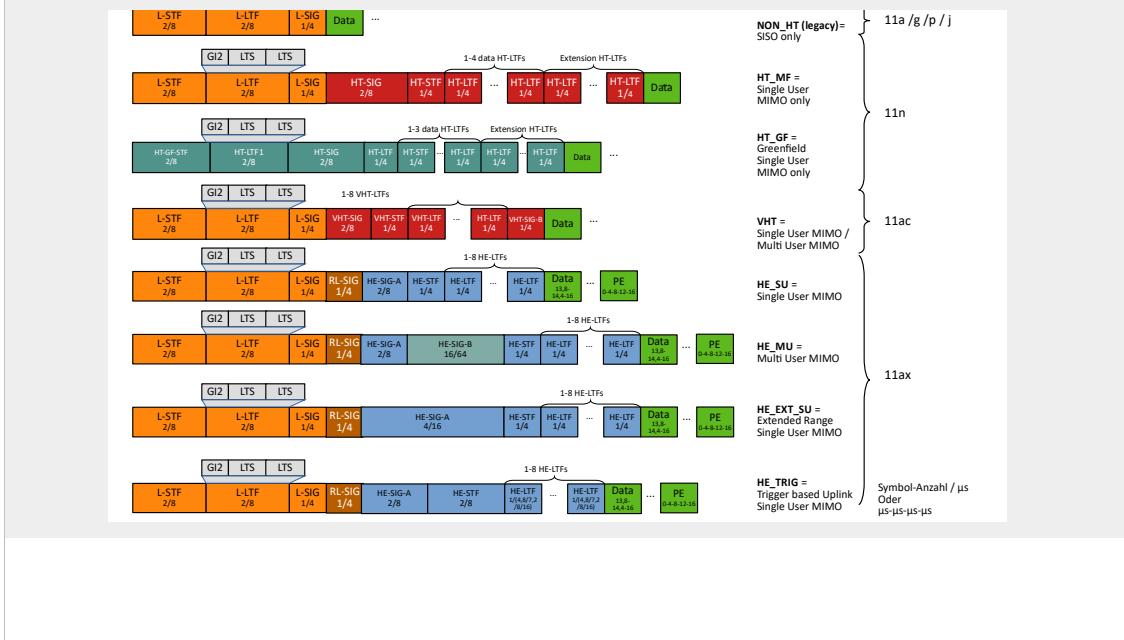
Target Wake Time ermöglicht Endgeräten, zu entscheiden, wann und wie häufig sie aufwachen, um Daten zu empfangen oder zu senden.

Access Points des WiFi-6-Standards sorgen so für eine cleverere Verwaltung der Datenströme und einen geringeren Energieverbrauch.

Weil Access Points und WLAN-Clients durch TWT ebenfalls spezifische Kommunikationszeitpunkte vereinbaren, können sich entsprechende Endgeräte gegenseitig besser aus dem Weg gehen und ihre Daten abwechselnd statt gleichzeitig senden.

Das erhöht die allgemeine Heimnetzeffizienz zusätzlich und ist besonders zuträglich für ein ökonomisches, stabiles Smart Home mit vielen IoT-Geräten, die nur sporadisch Daten senden und empfangen.

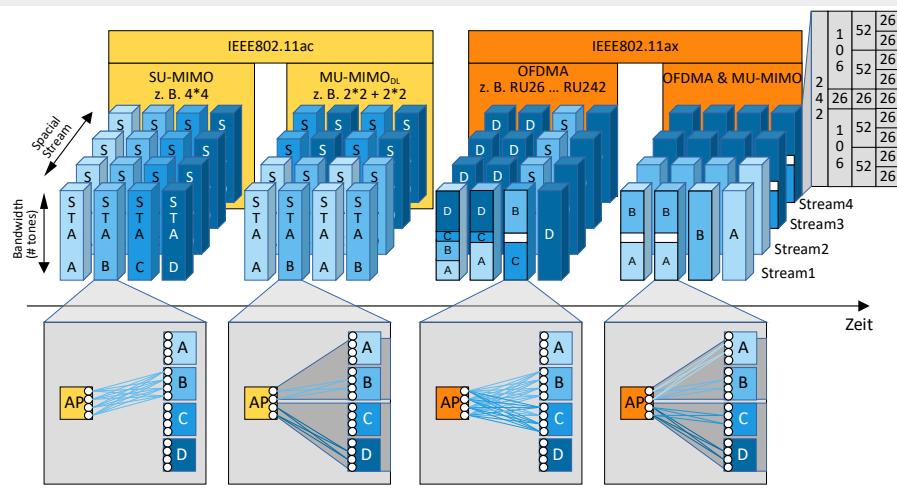
Frame-Übersicht



Für den IEEE802.11ax wurde 4 neue Frameformate eingeführt um alle möglichen Modi abzudecken.

Es gibt sogar um die Reichweiten zu erhöhen ein eigenes Frame-Format.

Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax



Bei 802.11ac gab es schon die Möglichkeit die Antennen eines APs (z.B. 4) im Single-User-Mode zu bündeln.

Ebenso gab es nur im Downlink (MU-MIMO_{DL}) die Möglichkeit, die Antennen auf mehrere Stationen zu verteilen.

Bei 802.11ax können alle Antennen auf mehrere Stationen ausgerichtet werden.

Durch die Aufteilung in **Resource-Units** (RUs) können die Antennen feiner granuliert werden um mehr Stationen in einem Streams (max. 8) einen Datenaustausch zu ermöglichen.

Das ist sowohl im **Uplink (UL)** als auch im **Downlink (DL)** möglich

Rechts oben sind die RU-Kombinationen dargestellt.

Durch die Einführung des 6GHz-Bandes können weitere Bandbreiten genutzt werden.
Es sind die folgenden Konstellationen hinzugekommen:

- 60 Kanäle mit 20MHz oder
- 29 Kanäle mit 40MHz oder
- 14 Kanäle mit 80MHz oder
- 7 Kanäle mit 160MHz

Funktional gab es keine Neuerungen. Es gibt allerdings große regionale Unterschiede!

5,925GHz

Nordamerika
1200MHz

7,125GHz

5,945GHz

Europa
480MHz

6,425GHz

Das 6GHz-Band ist national unterschiedlich verfügbar. Nur in Nordamerika sind die vollen Möglichkeiten der Kanalaufteilung möglich.

Neuerungen:

- 320MHz breite Kanäle (Damit gibt es im 6GHz-Band in Europa nur einen Kanal)
- 4096QAM (4kQAM) ermöglicht es pro Symbol 12 Bits zu codieren
- Multi-Link Operation (MLO) erlaubt die gleichzeitige Verwendung mehrerer Bänder (2,4GHz 5GHz und 6GHz parallel)
- Optimierung von OFDMA
 - Die Mindestanzahl koordinierter Clients wurde gesenkt.
 - Feinere Aufteilung von Bändern

Für Mitte 2024 wird die Verabschiedung des Standards IEEE802.11be (Wi-Fi-7) erwartet. Erste Geräte sind bereits seit Ende 2023 auf dem Markt.

Die wichtigsten Neuerungen sind:

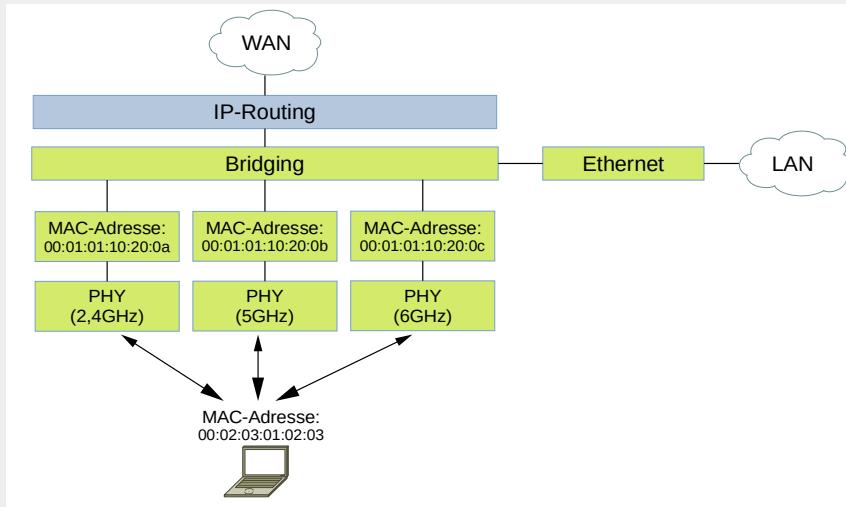
- Multi-Link Operation (MLO). Damit kann gleichzeitig in bis zu drei Frequenzbändern (2,4GHz, 5GHz und 6GHz) gesendet werden.
- Mit der höchsten Modulationsstufe 4096-QAM (4kQAM) können pro Symbol 12 Bit übertragen werden.
- Die verwendbare Kanalbreite wird auf 320MHz verdoppelt.

Bei der maximalen Anzahl von 8 MIMO-Streams ändert sich nichts.

Bei der Nutzung von Wi-Fi-6 waren noch kleinere Mängel aufgefallen, die auch noch beseitigt wurden.

- Mindestanzahl bei Gruppenkoordinatio
- Feinere Aufteilung der Bandbreiten.

Wi-Fi-7 Multi-Link Operation (MLO)

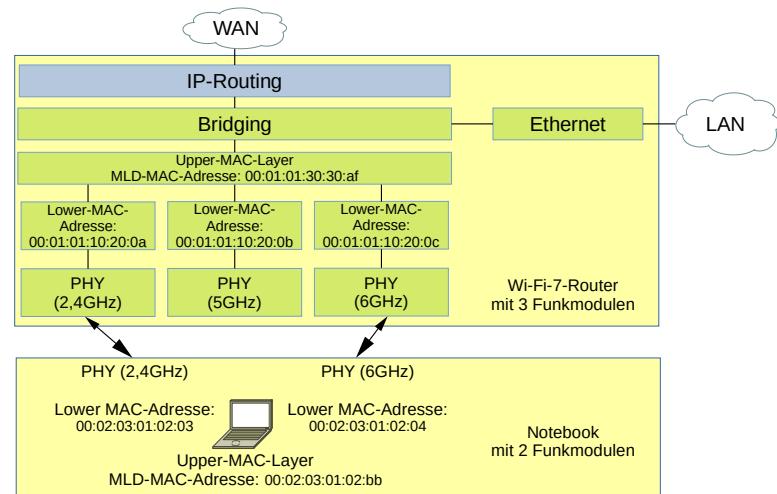


Bei Wi-Fi-6e gab es auch schon die Möglichkeit für die Geräte auf 2,4GHz, 5GHz oder 6GHz zu senden und zu empfangen. Allerdings war das zu einem Zeitpunkt immer nur auf einem der Kanäle möglich.

Bei Wi-Fi-7 gibt es erstmals die Möglichkeit gleichzeitig auf allen Kanälen Daten auszutauschen.

Für ein Endgerät, wie ein Notebook, ist es erst einmal nicht ersichtlich, ob es mit einem Access Point mit 3 Funkmodulen und 3 MAC-Adressen oder mit 3 Access Points mit je einem Funkmodul und einer MAC-Adresse verbunden ist.

Wi-Fi-7 Einführung der Upper Layer MAC-Adresse



Um gleichzeitig auf mehreren Kanälen Daten auszutauschen, hat man bei IEEE auf der MAC-Ebene einen neuen Ebene die Upper-MAC-Layer eingeführt.

Mit der MLD-MAC-Adresse können die Kanäle gebündelt und gleichzeitig bedient werden. Eine MLD-MAC-Adresse muss es für jedes Gerät geben, das mehrere Kanäle parallel nutzen will.

MLO verbessert:

- Durchsatz
- Latenz
- Robustheit

Eine gleichzeitige Ausnutzung aller drei Kanäle im 2,4GHz, 5GHz und 6GHz-Band wird im Modus Simultaneous Transmit and Receive (STR) durchgeführt

Geräte, die nicht alle 3 Kanäle nutzen können, profitieren durch die folgenden Verfahren:

- Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
- Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
- Multi-Link Single Radio (MLSR)

Mit MLO-Funktion konnten folgende Verbesserungen erreicht werden.

- Durchsatz
- Latenzzeit
- Robustheit

Für unterschiedliche Anwendungsfälle wurden 4 Modi entwickelt, die für alle Möglichkeiten Verbesserungen bieten:

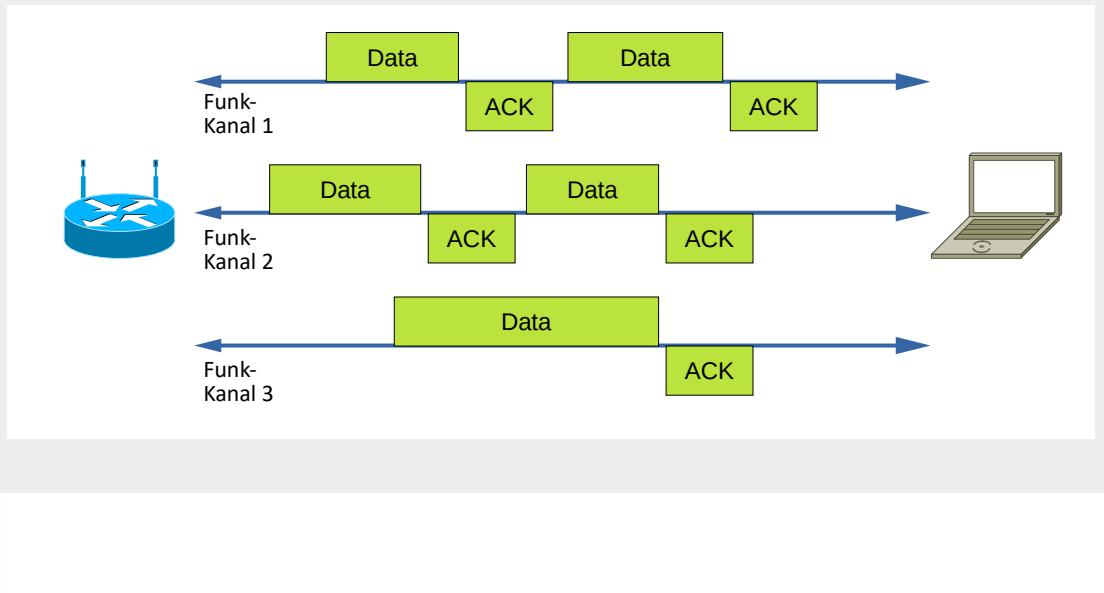
- Simultaneous Transmit and Receive (STR)

Hier kann auf allen drei möglichen Bändern gleichzeitig ein Datenaustausch stattfinden.

Für die Kommunikation mit Geräten, die nicht alle drei Kanäle bedienen können, weil Transceiver oder Antennen fehlen, wurden abgestuft nach den Möglichkeiten trotzdem noch Verbesserungen erreicht:

- Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
- Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
- Multi-Link Single Radio (MLSR)

Wi-Fi-7 MLO: Durchsatzverbesserung

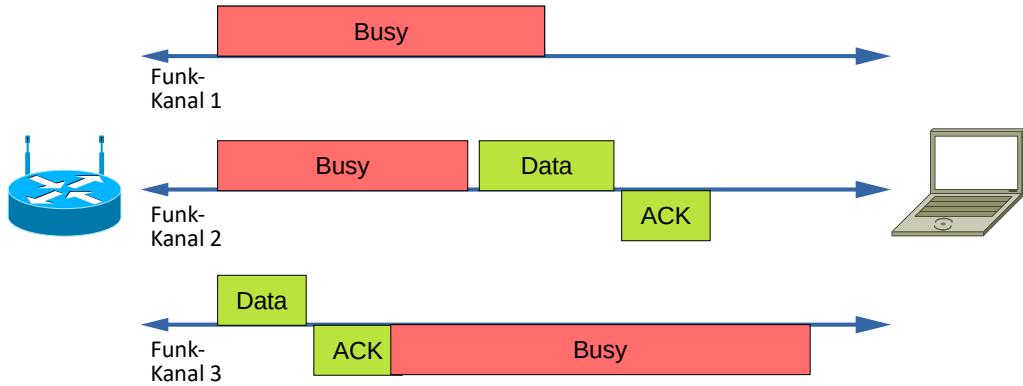


Wie oben bereits ausgeführt waren die Ziele Steigerung des Durchsatzes, Reduzierung der Latenzzeit und Verbesserung der Robustheit den Entwicklern vorgegeben worden. Die Ziele konnten folgendermaßen erreicht werden. Allerdings können die Ziele nicht gleichzeitig erreicht werden da sie sich stellenweise gegenseitig ausschließen.

Durchsatzsteigerung

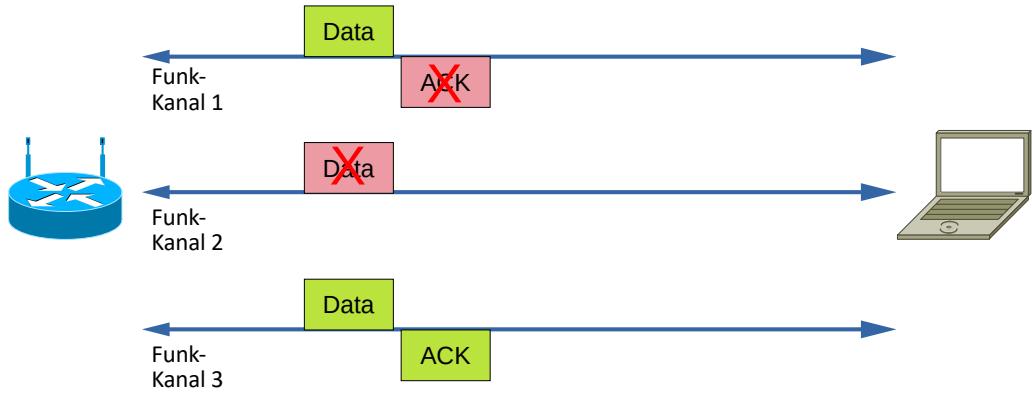
Durch die gleichzeitig zur Verfügung stehenden Kanäle können mehr Daten transportiert werden. Allerdings bedeutet die Koordinierung einen erheblichen Aufwand damit z. B. keine Überholvorgänge der Pakete eintreten. So sind unterschiedlich ausgelastete Kanäle unterschiedlich in der Lage, Daten schnell zu transportieren.

Wi-Fi-7 MLO: Latenzverbesserung



Kanäle die von vielen Teilnehmern genutzt werden reduzieren den Durchsatz und erhöhen die Latenz.

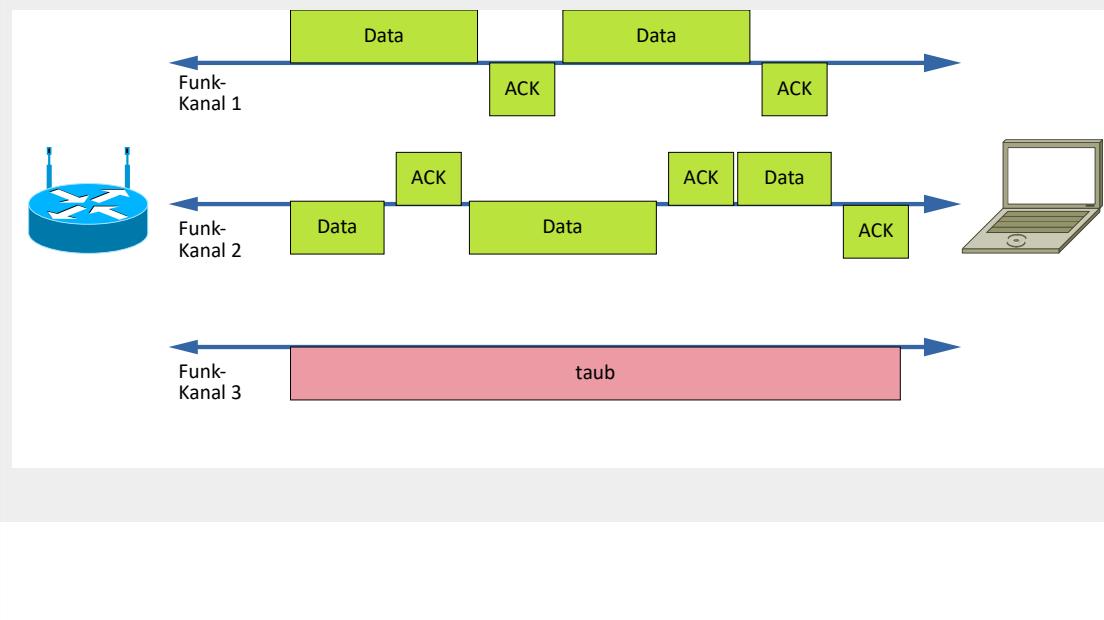
Ist dagegen ein anderer Kanal frei, kann er genutzt und die Latenzzeit reduziert werden.



Ein Paket wird nicht nur auf einem Kanal, sondern auf drei Kanälen gesendet. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass auf einem Kanal das Paket fehlerfrei übermittelt werden kann, größer.

Der Simultaneous Transmit and Receive Mode (STR) ist nur für Geräte möglich, die 3 Funkmodule eingebaut haben. Für Geräte, bei denen das nicht der Fall ist, wurden trotzdem Verbesserungen ermöglicht.

Wi-Fi-7 MLO: Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)

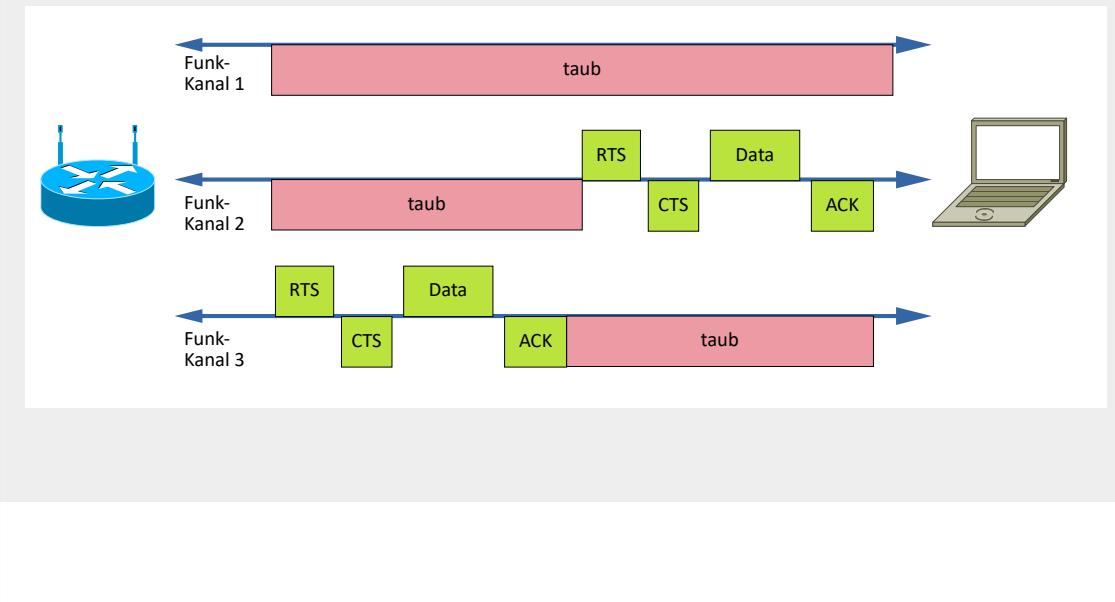


Gleich unter der Performance des STR-Modus ist der EMLMR-Modus angesiedelt.

So haben z. B. Notebooks für das 5GHz-Band und das 6GHz-Band nur eine Kombiantenne. Deshalb können sie immer nur die Kombination von 2,4GHz und 5GHz oder 2,4GHz und 6GHz Nutzen.

Die Basis bestimmt welchen der beiden Varianten genutzt wird.

In der obigen Folie hat die Basisstation die Kanäle 1 und 2 ausgewählt. Der dritte Kanal wird nicht verwendet.

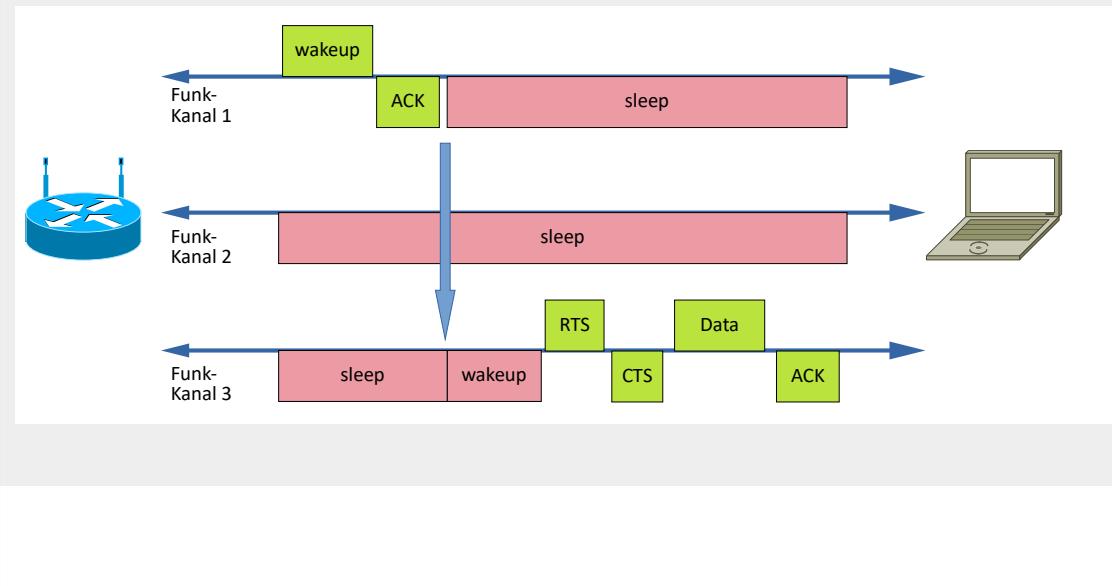


Transceiver haben an den Rändern der Kanäle oft flach auslaufende Signale welche die Nachbarkanäle stören. Das war bisher kein Problem, da die Nachbarkanäle nicht genutzt wurden.

Jetzt, da auch benachbarte Bänder genutzt werden sollen, beeinträchtigen sich die Bänder gegenseitig. Das wird auch Selbstinterferenz genannt. Für steilere Filter oder größere Antennenabstände ist z. B. in Mobiltelefonen kein Platz. Die Lösung zum Problem sieht folgendermaßen aus.

Der Client lauscht auf allen Kanälen mit einem robusten Modulationsverfahren. Das spart Strom und reicht für kurze Control-Frames wie RTS und CTS. Eine voll ausgebauten Basisstation sendet einen RTS. Der Client antwortet mit einem CTS und schaltet auf ein höherwertiges Modulationsverfahren. Auf den anderen Kanälen ist der Client taub. Darauf hin sendet der AP seine Daten, die vom Client mit einem ACK quittiert werden. Danach lauscht er wieder mit niedriger Modulation auf einen RTS.

Wi-Fi-7 MLO: Multi-Link Single Radio (MLSR)



Dieses Verfahren ist gedacht für Clients, die nur einen Transceiver haben.

Der Client wechselt schnell zwischen den Kanälen und meldet sich an allen Kanälen an und wartet auf einem Kanal.

Sobald der AP Daten zu senden hat weckt er den Client mit einem Wakeup-Frame auf. In der Quittung sendet der Client den Kanal, in dem er Daten empfangen will und fährt den in den Sleep Modus.

Der Client wechselt nun schnell auf den angegebenen Kanal und fährt den Transceiver hoch. Der AP sendet ein RTS und sobald der Client bereit ist, sendet er mit dem CTS den Startschuss für die Datenübertragung.

Ungenutzte Kanäle werden in den Sleep-Modus versetzt.

- WLAN-Standards mit speziellen Eigenschaften
 - ◆ IEEE802.11ad
 - ◆ IEEE802.11af
 - ◆ IEEE802.11ah
- Der IEEE-802.11ax-Standard (HE) (Wi-Fi-6)
 - ◆ Neuer Modus (Uplink / Downlink)
 - ◆ Verkleinerung des Subcarrier-Spacing
 - ◆ OFDMA
 - ◆ Reduzierung der Präambeln
 - ◆ Multi-User Uplink
 - ◆ Aufbau eines Frequenzbandes
 - ◆ Multi-User-Beamforming
 - ◆ BSS-Coloring
 - ◆ Zusammenfassung der Formate
 - ◆ Vergleich IEEE802.11ac vs. IEEE802.11ax
 - ◆ Wi-Fi-6e
- Der IEEE-802.11be-Standard (EHT) (Wi-Fi-7)
 - ◆ Neuerungen
 - ◆ Multi-Link Operation
 - ◆ Simultaneous Transmit and Receive (STR)
 - ◆ Durchsatzsteigerung
 - ◆ Reduzierung der Latenzzeit
 - ◆ Robustheit
 - ◆ Enhanced Multi-Link Multi Radio (EMLMR)
 - ◆ Enhanced Multi-Link Single Radio (EMLSR)
 - ◆ Multi-Link Single Radio (MLSR)
- ◆ Optimierungen am Medienzugriffsverfahren OFDMA