



# SCHULNETZ WLAN III

## WLAN-Standards



## Inhalt

1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung
2. Überblick über die WLAN-Standards
3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards
4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken
5. Fragen und Antworten



# 1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung

## Allgemein

- WLAN-Standards, auch Wi-Fi-Standards genannt, sind technische Spezifikationen, die die Grundlagen für die Datenübertragung im WLAN festlegen. Sie definieren unter anderem:
  - Frequenzbänder: In welchen Frequenzbereichen die Datenübertragung stattfinden darf.
  - Modulationsverfahren: Wie die Daten in Funksignale umgewandelt werden.
  - Datenraten: Wie schnell Daten übertragen werden können.
  - Zugriffsverfahren: Wie Geräte den Zugang zum Netzwerk regeln.
  - Sicherheitsprotokolle: Wie die Daten vor unbefugtem Zugriff geschützt werden.
- Es gibt zwei Organisationen, die an der Standardisierung beteiligt sind:
  - IEEE
  - WiFi Alliance



# 1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung

## Allgemein

Die IEEE und die WiFi Alliance spielen in der Welt der drahtlosen Netzwerke unterschiedliche Rollen.

WiFi Alliance	IEEE
Dies ist ein Konsortium von Unternehmen, das WLAN-Geräte zertifiziert. Die WiFi Alliance stellt sicher, dass Geräte, die den IEEE 802.11-Standard verwenden, miteinander kompatibel sind.	IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Dies ist eine Organisation, die Standards für eine Vielzahl von technischen Bereichen festlegt. Der Standard IEEE 802.11 ist die Grundlage für WLAN-Technologien. Die IEEE definiert die Bitübertragungsschicht des OSI-Schichtenmodells für ein WLAN.

WiFi-Standard	IEEE-Standard
WiFi 1	802.11
WiFi 2	802.11b
WiFi 3	802.11g
WiFi 4	802.11n
WiFi 5	802.11ac
WiFi 6	802.11ax
WiFi 7	802.11be



Bei Beschaffungen von Hardware sollten IEEE-Standards verwendet werden, da diese genauer spezifiziert sind.



# 1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung

## Zeitleiste

Hier ist ein Überblick über die zeitliche Entwicklung und wesentliche technische Neuerungen der WLAN-Standards

WiFi-Standard	IEEE-Standard	Jahr	Datenraten brutto	Wesentliche Technologien
WiFi 1	802.11	1997	1 MBit/s	
WiFi 2	802.11b	1999	11 MBit/s	DSSS
WiFi 3	802.11g	2003	54 MBit/s	OFDM
WiFi 4	802.11n	2009	600 MBit/s	MIMO
WiFi 5	802.11ac	2014	3.400 MBit/s	MU-MIMO
WiFi 6	802.11ax	2019	9.600 MBit/s	OFDMA, TWT
WiFi 7	802.11be	2024	46.000 MBit/s	MLO, QAM 4096



# 1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung

## Abwärtskompatibilität

WLAN-Standards sind immer so konzipiert, dass sie abwärtskompatibel sind. Unterstützen z.B. ältere Geräte aktuelle WLAN-Standards nicht, können Access Points ältere WLAN-Standards anbieten, um ältere Geräte ebenfalls verbinden. Dies hat jedoch einige Nachteile:

- Ältere Geräte benötigen mit älteren WLAN-Standards im WLAN wesentlich mehr Zeit, um Daten zu senden oder zu empfangen. Während dieser Zeit können andere Clients nicht senden und empfangen. Daher können wenige ältere Geräte die Leistungsfähigkeit einer gesamten Funkzelle deutlich negativ beeinträchtigen.
- Technologische Vorteile neuerer WLAN-Techniken sind bei älteren WLAN-Standards teilweise nicht vorhanden. Ältere WLAN-Standards fehlen Techniken, wie z.B. OFDMA, MIMO oder MU-MIMO, die in WLAN-Umgebungen mit einer hohen Client-Dichte notwendig sind.
- Geräte können zum Sicherheitsrisiko werden, wenn sie ältere WLAN-Standards verwenden, die keine sichere Verschlüsselung nutzen. Damit kann die Abwärtskompatibilität zum Sicherheitsrisiko für das gesamte WLAN-Netzwerk werden.



Daher sollte abgewogen werden, welche WLAN-Standards angeboten werden. Die Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Effizienz eines WLAN-Netzwerks erhöht sich, indem ältere Standards, wie z.B. 802.11n und älter nicht angeboten werden.



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung
2. Überblick über die WLAN-Standards
3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards
4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken
5. Fragen und Antworten



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### Allgemeines

Die WLAN-Standards reichen gut 20 Jahre zurück. Da WLAN-Standards älter der 802.11n Standard aus dem Jahr 2009 nicht mehr verwendet werden, werden frühere Standards 802.11, 802.11b und 802.11g in den folgenden Folien weggelassen.

Der 802.11n Standard selbst ist im Vergleich mit den nachfolgenden Standards veraltet und dient daher nur noch zum Vergleich. Die folgenden Folien konzentrieren sich daher auf Technologien der 3 jüngsten WLAN-Standards 802.11ac, 802.11ax, 802.11be.

WiFi-Standard	IEEE-Standard	Jahr	Datenraten theoretisch	Wesentliche Technologien
WiFi 1	802.11	1997	1 MBit/s	
WiFi 2	802.11b	1999	11 MBit/s	DSSS
WiFi 3	802.11g	2003	54 MBit/s	OFDM
WiFi 4	802.11n	2009	600 MBit/s	MIMO
WiFi 5	802.11ac	2014	3.400 MBit/s	MU-MIMO
WiFi 6	802.11ax	2019	9.600 MBit/s	OFDMA, TWT
WiFi 7	802.11be	2024	46.000 MBit/s	MLO, QAM 4096





## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### 802.11n - Merkmale

Merkmale	Beschreibung
<b>Datenübertragungstechnik</b>	Nutzt die Multiple Input Multiple Output (MIMO) Technik
<b>Frequenzbereiche</b>	Kann sowohl im 2,4-GHz-Frequenzbereich als auch im 5 GHz-Frequenzbereich arbeiten
<b>Übertragungskanäle und Antennen</b>	Verbreiterung der Übertragungskanäle von 20 MHz auf 40 MHz und Einsatz von bis zu vier Antennen
<b>Maximale Datenrate</b>	Erreicht pro parallelem Datenstrom maximal 150 MBit/s (brutto); für höhere Datenraten müssen zwei bis max. vier Datenströme gebündelt werden. Bei Bündelung von 4 Datenströmen werden theoretisch bis zu 600 MBit/s erreicht.
<b>Merkmale</b>	Transmit Beamforming, wurde mit 802.11n eingeführt, um weiter entfernte Clients zu erreichen.
<b>Veröffentlichung</b>	Der Standard wurde offiziell Ende 2009 verabschiedet



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### 802.11ac - Merkmale

Merkmal	Beschreibung
<b>Datenübertragungstechnik</b>	Nutzt die Multiple Input Multiple Output (MIMO) Technik, mit Wave 2 MU-MIMO (DL)
<b>Frequenzbereiche</b>	Arbeitet nur im 5 GHz-Frequenzbereich
<b>Übertragungskanäle und Antennen</b>	Verbreiterung der Übertragungskanäle bis zu 160 MHz und Einsatz von bis zu acht Antennen
<b>Maximale Datenrate</b>	Erreicht pro parallelem Datenstrom maximal 867 MBit/s (brutto); für höhere Datenraten müssen mehrere Ströme gebündelt werden.
<b>Merkmale</b>	Einführung Modulation QAM 256 MU MIMO im Download mit 8x8 ab 802.11ac Wave 2 BSS Coloring
<b>Veröffentlichung</b>	Der Standard wurde offiziell am 18. Dezember 2013 verabschiedet.



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### 802.11ax - Merkmale

Merkmale	Beschreibung
<b>Datenübertragungstechnik</b>	Nutzt die Multi User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO) Technik
<b>Frequenzbereiche</b>	Arbeitet sowohl im 2,4-GHz-Frequenzbereich als auch im 5 GHz-Frequenzbereich. Der 6 GHz-Frequenzbereich wurde mit dem WiFi-Standard 6e ergänzt.
<b>Übertragungskanäle und Antennen</b>	Verbreiterung der Übertragungskanäle bis zu 160 MHz und Einsatz von bis zu acht Antennen, sowohl um Upload als auch im Download
<b>Maximale Datenrate</b>	Erreicht eine maximale Datenrate von bis zu 9.600 MBit/s
<b>Merkmale</b>	Mit 802.11ax wurde die Modulation QAM 1024 hinzugefügt. OFDMA wurde als Verbesserung von OFDM hinzugefügt. MU-MIMO ist auch im Upload verfügbar. WPA3 wurde hinzugefügt. Mit WiFi 6e wurde das 6 GHz-Frequenzband und Preferred Scanning Channel hinzugefügt. TWT wurde als Stromspartechnologie hinzugefügt.
<b>Veröffentlichung</b>	Der Standard wurde offiziell im Jahr 2020 vollständig ratifiziert.



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### 802.11be - Merkmale

Merkmale	Beschreibung
<b>Datenübertragungstechnik</b>	Nutzt die Multi User Multiple Input Multiple Output (MU MIMO) Technik
<b>Frequenzbereiche</b>	Arbeitet in den 2,4-, 5- und 6 GHz-Frequenzspektren.
<b>Übertragungskanäle und Antennen</b>	Verbreiterung der Übertragungskanäle bis zu 320 MHz und Einsatz von mehreren Antennen.
<b>Maximale Datenrate</b>	Erreicht eine maximale Datenrate von bis zu 46 Gbit/s.
<b>Merkmale</b>	Mit 802.11ax wurde die Modulation QAM 4096 hinzugefügt. Multi-RU wurde als weitere Verbesserung von OFDMA hinzugefügt. MU-MIMO wurde auf 16x16 erweitert. MLO wurde hinzugefügt. 1k block ack wurde hinzugefügt.
<b>Veröffentlichung</b>	Der Standard wurde offiziell im Jahr 2024 vollständig ratifiziert.



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### Übersicht

Technologie	802.11n	802.11ac	802.11ac Wave 2	802.11ax	802.11be
Frequenzband	2,4 GHz, 5 GHz	5 GHz	2,4 GHz, 5 GHz	2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
Kanalbandbreite	20 MHz / 40 MHz	20 MHz – 160 MHz	20 MHz – 160 MHz	20 MHz – 160 MHz	20 MHz – 320 MHz
Preamble Puncturing	✗	✗	✗	✓	✓
Modulation	BPSK – QAM 64	BPSK – QAM 256	BPSK – QAM 256	BPSK – QAM 1024	BPSK – QAM 4096
Transmit Beamforming	✓	✓	✓	✓	✓
OFDMA	✗	✗	✗	✓	✓
Multi-RU	✗	✗	✗	✗	✓
MIMO	✓	✓	✓	✓	✓
MU-MIMO (DL)	✗	✗	✓ (8 x 8)	✓ (8 x 8)	✓ (16 x 16)
MU-MIMO (UL)	✗	✗	✗	✓ (8 x 8)	✓ (16 x 16)
MLO	✗	✗	✗	✗	✓
1k block ack	✗	✗	✗	✗	✓
TWT	✗	✗	✗	✓	✓
WPA3	✗	✗	✗	✓	✓
Preferred Scanning Channel	✗	✗	✗	✓ (ab WiFi 6e)	✓
BSS Coloring	✗	✗	✗	✓	✓



## 2. Überblick über die WLAN-Standards

### Allgemeines

Die hier abgebildeten Datenraten sind Bruttodatenraten. Dies sind theoretisch erzielbare Datenraten.

Die Nettodatenraten sind die praktisch erzielbaren Datenraten. Diese sind deutlich geringer als Bruttodatenraten. Sie variieren z.T. erheblich und liegen unter 50% der Bruttodatenraten.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die rechte Tabelle reduziert (keine Kanalbandbreite 320 MHz und kein MIMO > 4 x 4).

MIMO	Kanalbandbreite	802.11n 64 QAM	802.11ac 256 QAM	802.11ax 1024 QAM	802.11be* 4096 QAM
1 x 1	20 MHz	72,2 MBit/s	86,7 MBit/s	143,4 MBit/s	172,0 MBit/s
1 x 1	40 MHz	150,0 MBit/s	200,0 MBit/s	286,8 MBit/s	344,0 MBit/s
1 x 1	80 MHz	---	433,0 MBit/s	600,0 MBit/s	720,0 MBit/s
1 x 1	160 MHz	---	866,7 MBit/s	1.201,0 MBit/s	1.440,0 MBit/s
2 x 2	20 MHz	144,4 MBit/s	173,3 MBit/s	286,8 MBit/s	344,0 MBit/s
2 x 2	40 MHz	300,0 MBit/s	400,0 MBit/s	573,5 MBit/s	688,0 MBit/s
2 x 2	80 MHz	---	866,7 MBit/s	1.201,0 MBit/s	1.440,0 MBit/s
2 x 2	160 MHz	---	1.733,3 MBit/s	2.402,0 MBit/s	2.880,0 MBit/s
3 x 3	20 MHz	216,7 MBit/s	288,9 MBit/s	430,1 MBit/s	516,0 MBit/s
3 x 3	40 MHz	450,0 MBit/s	600,0 MBit/s	860,3 MBit/s	1.032,0 MBit/s
3 x 3	80 MHz	---	1.300,0 MBit/s	1.801,5 MBit/s	2.162,0 MBit/s
3 x 3	160 MHz	---	2.340,0 MBit/s	3.602,9 MBit/s	4.323,0 MBit/s
4 x 4	20 MHz	288,9 MBit/s	246,7 MBit/s	573,5 MBit/s	688,0 MBit/s
4 x 4	40 MHz	600,0 MBit/s	800,0 MBit/s	1.147,1 MBit/s	1.376,0 MBit/s
4 x 4	80 MHz	---	1.733,3 MBit/s	2.402,0 MBit/s	2.882,0 MBit/s
4 x 4	160 MHz	---	3.466,7 MBit/s	4.803,9 MBit/s	5.760,0 MBit/s

\* Die Herstellerangaben für 802.11be variieren.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung
2. Überblick über die WLAN-Standards
3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards
4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken
5. Fragen und Antworten



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### Überblick

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring





## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### 6 GHz-Frequenzband

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### 6 GHz-Frequenzband

- Das 6 GHz-Frequenzband wurde mit 802.11ax bzw. mit WiFi6e eingeführt.
- Es umfasst in Europa 500 MHz
- Damit sind deutlich mehr überlappungsfreie Kanäle als im 5 GHz-Frequenzband möglich.
- Es ist weniger von Störungen und Interferenzen beeinträchtigt.
- Es gibt keine Bereiche, die von Radar genutzt werden.
- Jeder vierte Kanal ist ein sog. Preferred Scanning Channel. Diese Kanäle sind für Beacons reserviert. Damit sind die anderen Kanäle frei von Beacons.

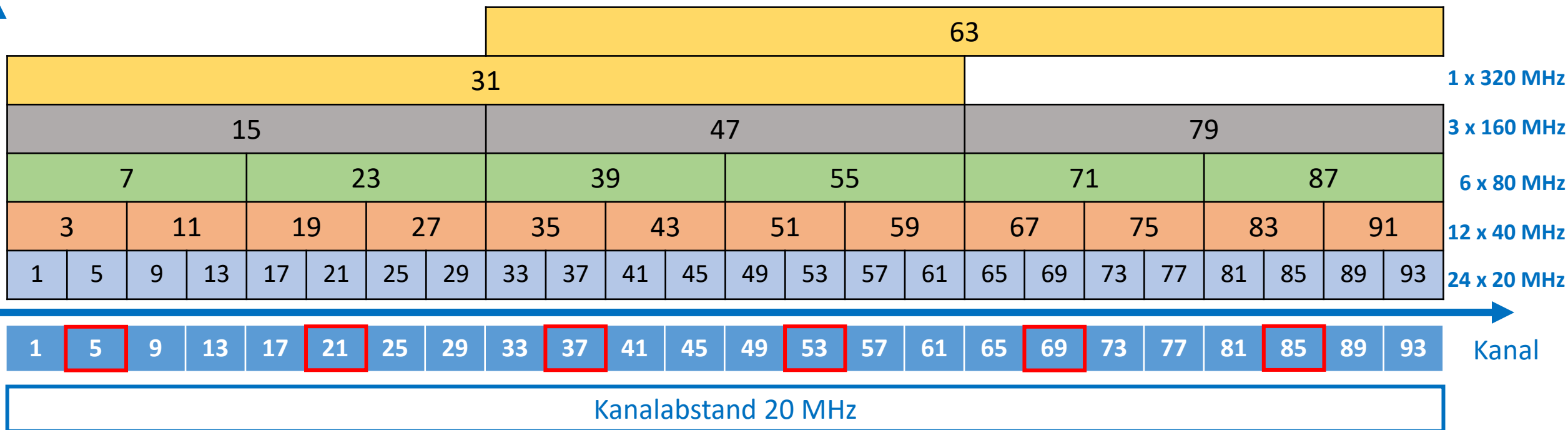
Anzahl überlappungs-  
freier Kanäle

Kanalbreite	2,4 GHz	5 GHz (ohne DFS)	5 GHz (mit DFS)	6 GHz
20 MHz	3	4	19	24
40 MHz	2	2	9	12
80 MHz	---	1	4	6
160 MHz	---	0	2	3
320 MHz	---	---	---	1



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### 6 GHz-Frequenzband



5925 MHz

6425 MHz



#### Preferred Scanning Channel

- Jeder vierte 20-MHz-Kanal ist für Beacons und AP discovery vorgesehen.
- Clients müssen nicht jeden Kanal nach einem AP durchsuchen, sondern nur die PSC.
- Die anderen Kanäle werden nicht für Beacon-Signale verwendet. Die spart Airtime.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### 6 GHz-Frequenzband

##### Kurzcharakteristik der Frequenzbänder

	2,4 GHz	5 GHz	6 GHz
Anzahl überlappungsfreier Kanäle	☹	☺	☺
Übertragungsgeschwindigkeiten	☹	☺	☺
Reichweite	☺	☺	☹
Störungen im Frequenzband	☹	☺	☺
Gerätekompatibilität	☺	☺	☹



Die 6 GHz-Frequenzband ist für schulische WLAN-Netzwerke mit hoher Clientzahl sinnvoll. Es ermöglicht weniger Kanalüberlappungen zwischen benachbarten APs. Das 6 GHz-Frequenzband ist weniger störanfällig und hat keinerlei Einschränkungen durch Radar. Ein Einsatz von APs mit 6 GHz-Frequenzband ist sinnvoll.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

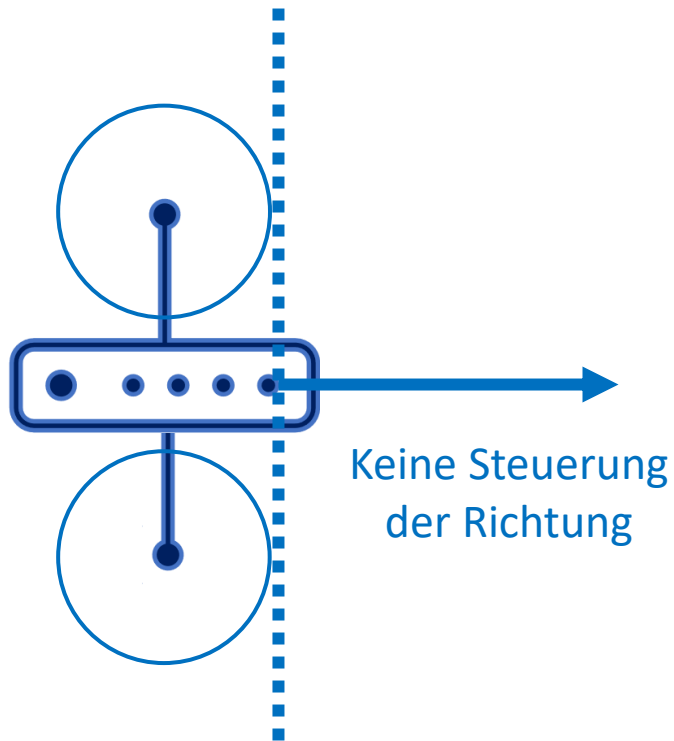
### Transmit Beamforming

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Transmit Beamforming

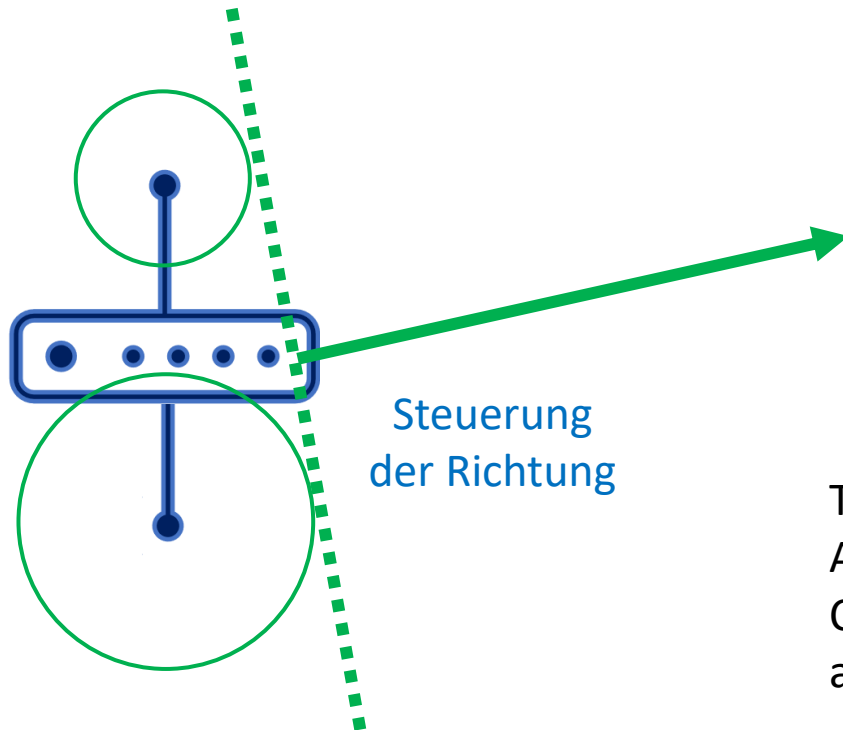


Voraussetzung: AP und  
Client können MIMO

Transmit Beamforming ist eine Technik, bei der ein Funksignal durch die Verwendung mehrerer Antennen geformt und gezielt auf einen Client ausgerichtet wird, um hohe Datenraten, optimierte Reichweiten und minimale Störungen zu erreichen.

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

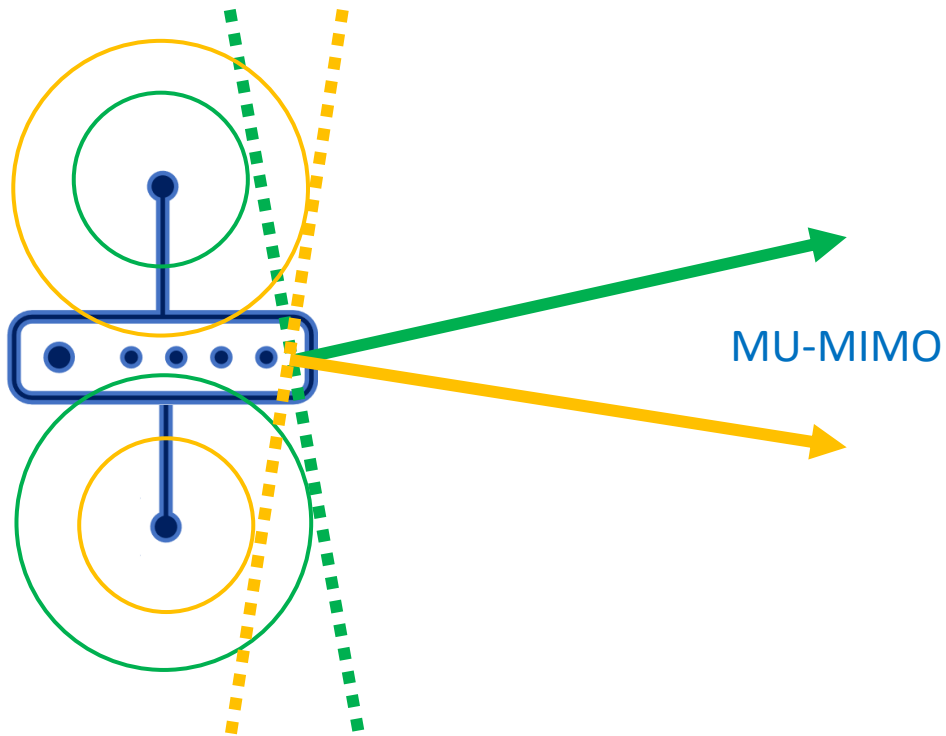
#### Transmit Beamforming



Transmit Beamforming funktioniert, indem der Router ein Signal über die Antennen zeitlich versetzt aussendet. Auf diese Weise kann der Standort des Clients ungefähr ermittelt und die Übertragungsleistung der Antennen optimal angepasst werden

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Transmit Beamforming



Transmit Beamforming kann pro Client individuell angepasst werden.

Es ist ab dem WLAN-Standard 802.11n implementiert und kann meist nicht deaktiviert werden.







### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Transmit Beamforming

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Verbesserung der Signalqualität über die Entfernung</li><li>• Senkung des Signal-Rausch-Abstandes</li><li>• Erweiterung der Reichweite des APs</li><li>• Stabilere Verbindungen bei Störungen</li><li>• Höhere Datenrate, weniger Airtime</li><li>• Bessere Anpassung an die Geometrie des Raumes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verschlechterung des Roamings</li><li>• Gefahr von Sticky Client. Daher ist die Nutzung von Schwellenwerten zur Vermeidung von Sticky Client bei Nutzung von Beamforming notwendig:<ul style="list-style-type: none"><li>• Mindestbandbreite: 24 MBit/s</li><li>• Minimum-RSSI: -65 db</li></ul></li></ul>

Transmit Beamforming bringt Vorteile bei Flächen mit einer geringen Dichte von APs oder bei Erreichung einer möglichst großen Ausleuchtung oder bei größeren Entfernungen zwischen Client und AP. Dies ist z.B. in Pausenhallen, Sporthallen oder Pausenhöfen der Fall.



Transmit Beamforming bringt keine Vorteile bei einer großen Dichte von APs. Sind z.B. Klassenzimmer jeweils mit einem AP ausgestattet, bringt Transmit Beamforming eher Nachteile als Vorteile. Die Gefahr, dass Clients beim Roaming mit einem entfernten AP verbunden bleiben ist mit Transmit Beamforming erhöht.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### MIMO und MU-MIMO

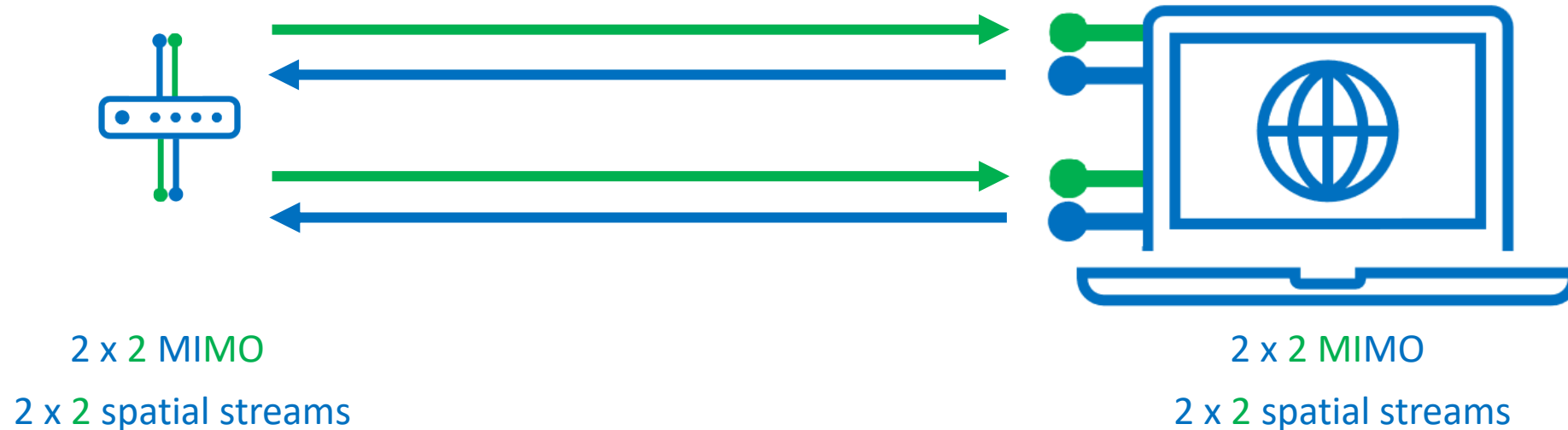
Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MIMO und MU-MIMO

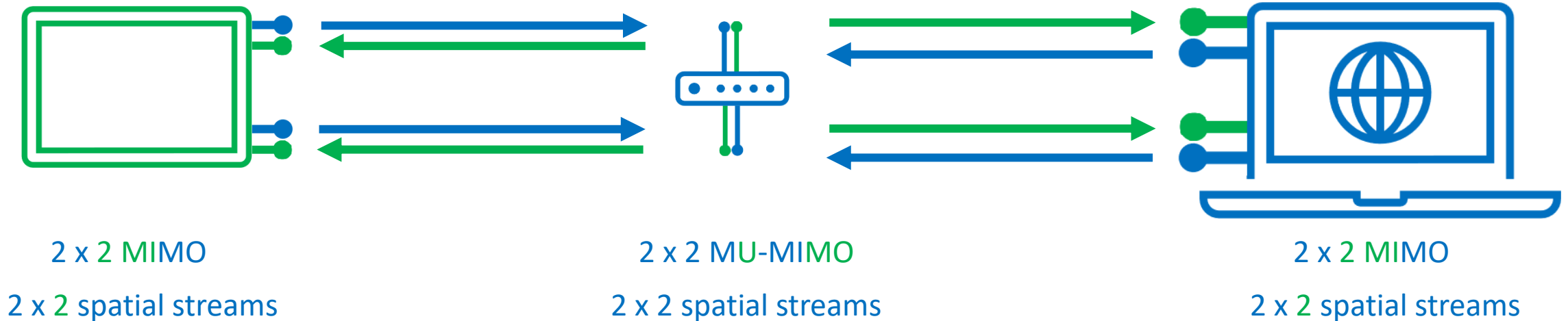
MIMO ist die Abkürzung für Multiple Input Multiple Output. Dabei werden zwei oder mehr Kanäle innerhalb des gleichen Frequenzbandes zwischen Client und Access-Point genutzt. Die Übertragung besteht aus unabhängigen Datenströmen, den sog. spatial streams. Bei 2 x 2 MIMO werden zwei Antennenpaare verwendet. 2 Antennen senden und 2 Antennen empfangen Daten.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MIMO und MU-MIMO

MU-MIMO (Multi User MIMO) ist die Erweiterung von MIMO. Bei MU-MIMO können mehr als 1 Client gleichzeitig MIMO verwenden.





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MIMO und MU-MIMO

Übersicht über die MIMO-Techniken der verschiedenen WLAN-Standards

	802.11n	802.11ac	802.11ac Wave 2	802.11ax	802.11be
MIMO	✓	✓	✓	✓	✓
MU-MIMO (DL)			✓	✓	✓
MU-MIMO (UL)				✓	✓

MIMO-Funktionalitäten pro Gerätetyp

Gerät	1 x 1 MIMO	2 x 2 MIMO	3 x 3 MIMO	4 x 4 MIMO
Smartphone	50 %	50 %		
Tablet	30 %	70 %		
Laptop		70 %	30 %	
Wearable	100 %			



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MIMO und MU-MIMO

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Höhere Bandbreiten und evtl. geringere Störungsanfälligkeit von Verbindungen</li><li>• geringere Latenz</li><li>• MU-MIMO ermöglicht die gleichzeitige Kommunikation von mehr als 1 Client mit einem Access-Point im gleichen Frequenzband.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die Anzahl der überlappungsfreien Kanäle ist stark begrenzt. Nutzt ein Access-Point im gleichen Frequenzband nicht einen, sondern 2 Kanäle, kann das die Kanalverteilung bei hoher AP-Dichte erschweren.</li><li>• Nicht jedes mobile Gerät unterstützt MIMO.</li><li>• Die gleichzeitige Nutzung mehrerer Antennenpaare erhöht den Stromverbrauch des APs deutlich.</li></ul>



Die MU-MIMO-Technologie ist für schulische WLAN-Netzwerke mit hoher Clientzahl sinnvoll. Mehrere mobile Geräte können gleichzeitig mit dem AP kommunizieren. Hier steigert MU-MIMO die Effizienz. Ein Einsatz von APs mit 4x4 MU-MIMO ist sinnvoll.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### OFDM, OFDMA und Multi-RU

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

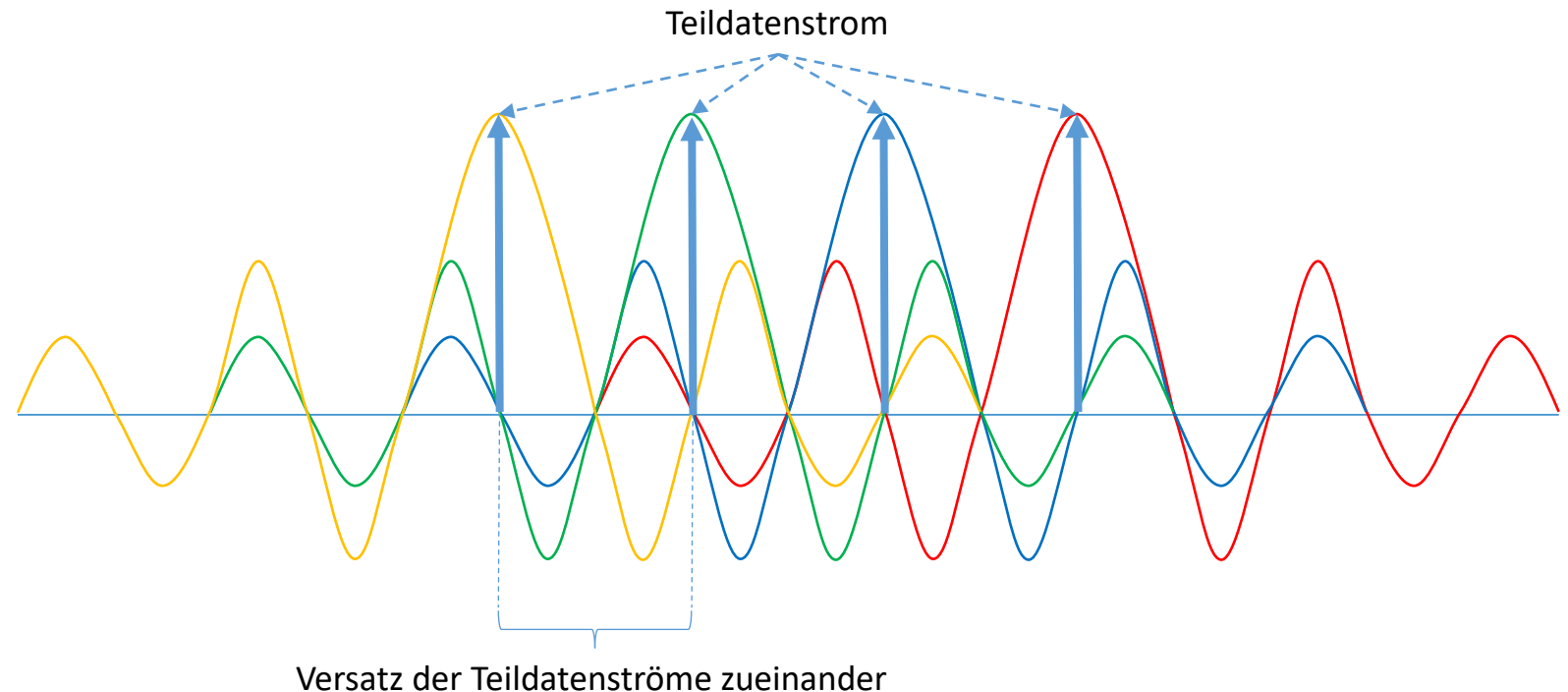
## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### OFDM, OFDMA und Multi-RU

OFDM und OFDMA sind Vielträgerverfahren, die den Datenstrom innerhalb des verfügbaren Frequenzbereichs auf eine Vielzahl von schmalen Frequenzträgern aufteilen. Die zu übertragende Nutzinformation mit hoher Datenübertragungsrate wird zunächst auf mehrere Teildatenströme mit niedriger Datenrate aufgeteilt. Diese Teildatenströme werden jeder für sich mit einem Modulationsverfahren mit geringer Bandbreite moduliert und anschließend auf die modulierten HF-Signale addiert.

#### OFDM

- größerer zeitlicher Versatz
- ein Teildatenstrom überträgt, wenn die anderen Teildatenströme bei 0 liegen.
- weniger anfällig für Störungen und Interferenzen

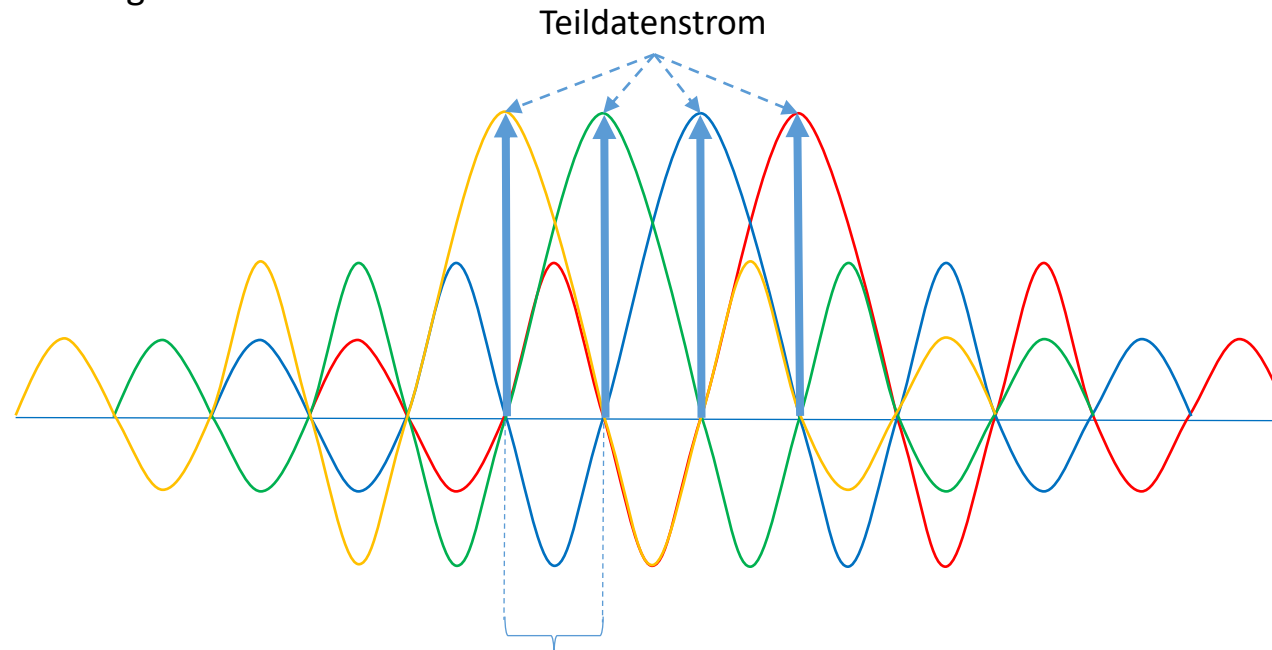




## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### OFDM, OFDMA und Multi-RU

OFDM und OFDMA sind Vielträgerverfahren, die den Datenstrom innerhalb des verfügbaren Frequenzbereichs auf eine Vielzahl von schmalen Frequenzträgern aufteilen. Die zu übertragende Nutzinformation mit hoher Datenübertragungsrate wird zunächst auf mehrere Teildatenströme mit niedriger Datenrate aufgeteilt. Diese Teildatenströme werden jeder für sich mit einem Modulationsverfahren mit geringer Bandbreite moduliert und anschließend auf die modulierten HF-Signale addiert.



#### OFDMA

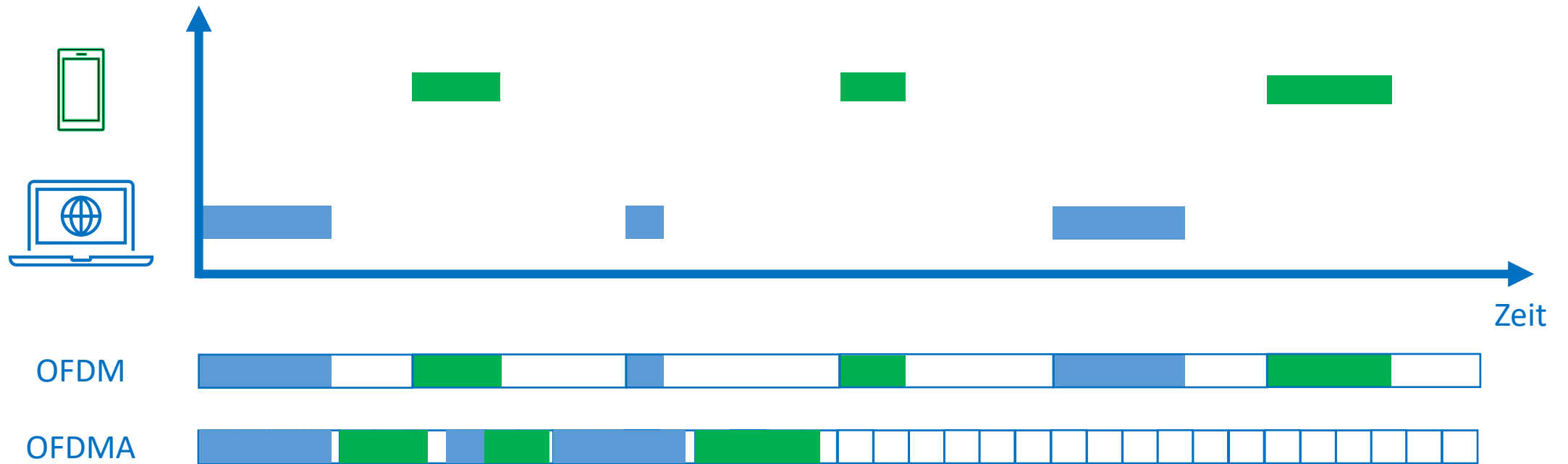
- kleinerer zeitlicher Versatz
- ein Teildatenstrom überträgt, wenn die anderen Teildatenströme bei 0 liegen.
- höhere Datenübertragungsrate als bei OFDM
- anfälliger für Störungen und Interferenzen

Versatz der Teildatenströme zueinander



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

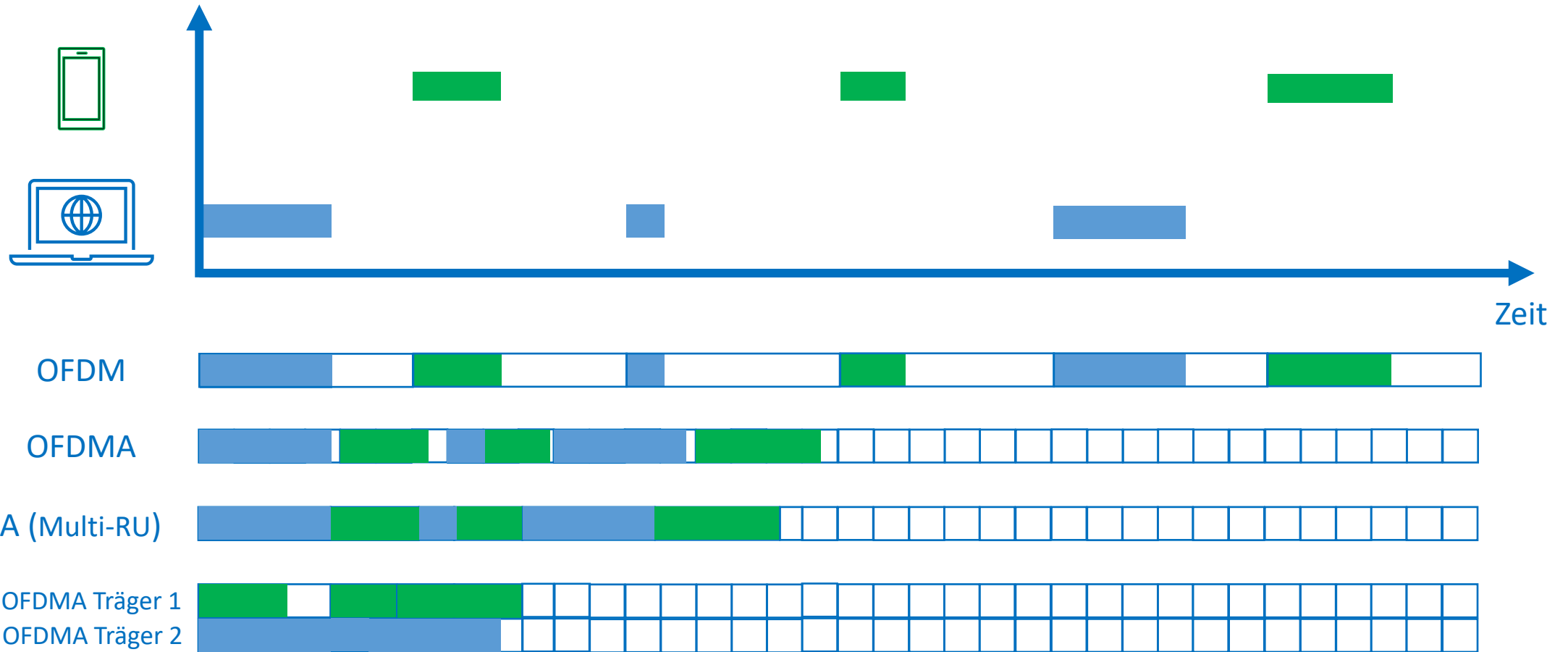
OFDM, OFDMA und Multi-RU





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

OFDM, OFDMA und Multi-RU





## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### OFDM, OFDMA und Multi-RU

#### Vorteile OFDMA

- Reduzierung der Latenz
- Verringerung von Jitter
- Erhöhung der Nettodatenrate
- Verringerung der Airtime
- Reduzierung des Overheads
- Erhöhung der Performance des WLANs. Es sind höhere Datenraten möglich, v.a. bei kleineren Paketgrößen.
- OFDMA ist MU-MIMO-fähig: Mehrere Clients können gleichzeitig senden und empfangen. Dabei können einzelne Clients auf unterschiedlichen Modulationsstufen senden und empfangen. Damit können somit auch Clients gleichzeitig mit dem AP kommunizieren, die unterschiedlich guten Empfang haben. OFDMA sorgt in Kombination mit MU-MIMO für eine effizientere Verbindung.
- Multi-RU ist eine Weiterentwicklung mit Verbesserungen bei der Latenz.

#### Nachteile OFDMA

- Erhöhte Anforderungen an die Signalqualität: Interferenzen und Rauschen beeinträchtigen die Fehlerraten der einzelnen Unterträger z.T. enorm.
- OFDMA ist optimiert für mehrere Nutzer gleichzeitig. Bei geringer Nutzung weniger Nutzer oder Einzelnutzer ist OFDMA ineffizient, weil die gesamte Bandbreite aufgeteilt wird. Dieser Nachteil von OFDMA in WiFi 6 wurde mit Multi-RU in WiFi 7 behoben.
- Sowohl Client als auch AP müssen OFDMA unterstützen. 802.11ax ist daher Minimum.



OFDMA ist eine wesentliche qualitative Weiterentwicklung von OFDM und trägt deutlich zur Effizienzsteigerung von 802.11ax gegenüber 802.11ac bei. OFDMA ist ideal für schulische WLAN-Netzwerke, in dem viele Clients gleichzeitig kommunizieren.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MLO

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

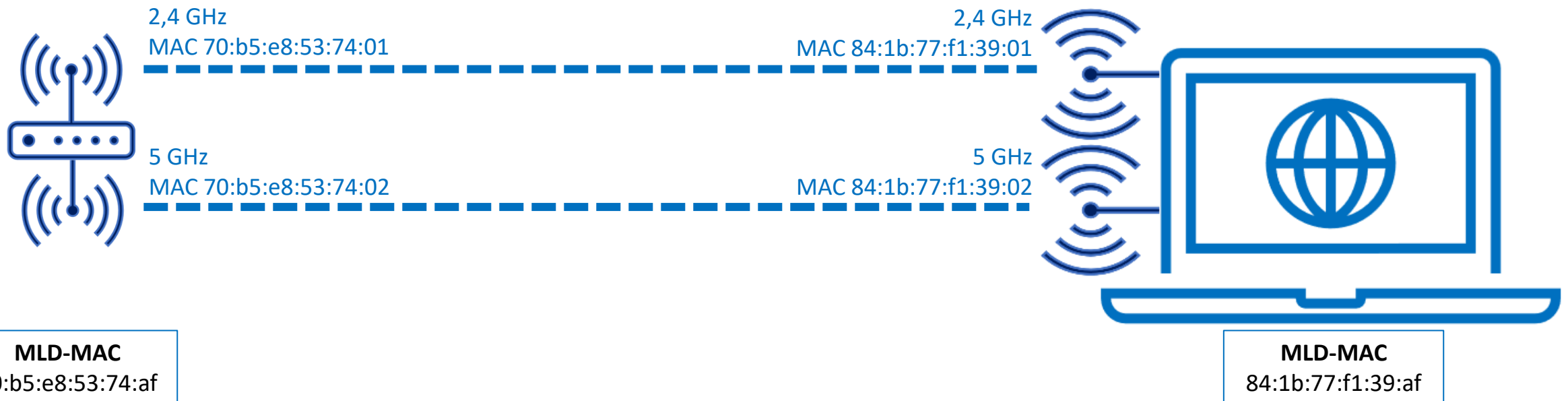
- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MLO

Multi-Link Operation (MLO) ermöglicht die gleichzeitige Verbindung eines Clients mit einem Access-Point in verschiedenen Frequenzbändern (z.B. 2,4 GHz, 5 GHz und 6 GHz) oder verschiedenen Kanälen in einem Frequenzband bzw. gleichzeitig.

**Voraussetzung für die Kommunikation:** Eine zusätzliche MAC-Schicht oberhalb der physischen MAC-Schicht, damit gleichzeitige Kommunikation über verschiedene Funkmodule mit unterschiedlichen MAC-Adressen funktionieren kann. Diese Upper MAC wird als MLD (Multi-Link-Device)-Mac bezeichnet.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MLO

Es gibt verschiedene Betriebsarten für MLO.

#### Multi-Link Single-Radio (MLSR)



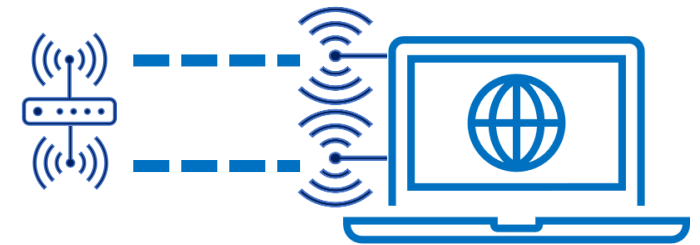
Ein Client kommuniziert mit dem AP über einen Kanal und anschließend über einen anderen Kanal.

#### Enhanced Multi-Link Single-Radio (EMLSR)



Ein Client kommuniziert mit dem AP mal über einen und mal über den anderen Kanal.

#### Enhanced Multi-Link Multi-Radio (EMLMR)



Ein Client kommuniziert mit dem AP mit beiden Kanälen simultan.

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MLO

Es gibt verschiedene Betriebsarten für MLO.

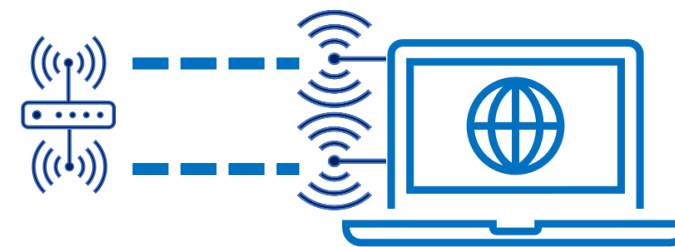
#### Multi-Link Single-Radio (MLSR)



#### Enhanced Multi-Link Single-Radio (EMLSR)



#### Enhanced Multi-Link Multi-Radio (EMLMR)



#### MLSR

- Stromsparender als EMLMR
- Der Client meldet sich in verschiedenen Funkbändern am AP an
- Der AP wählt den geeignetsten Kanal aus.
- Der AP bestimmt Kanalwechsel
- Nicht schneller als Clients ohne MLO

#### EMLSR

- Stromsparender als EMLMR
- Flexibler bei schlechten Sende- und Empfangsbedingungen
- Nicht schneller als Clients ohne MLO

#### EMLMR

- Erhöhter Strombedarf
- Vorzugsweise bei Notebooks mit zwei Antennenpaaren
- Für gute Sende- und Empfangsbedingungen geeignet
- Hoher Datendurchsatz





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### MLO

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Es steht immer ein zweites Frequenzband zur Verfügung, wenn in einem Frequenzband kurzfristig Störungen oder Interferenzen auftauchen. Ideal wäre hier z.B. eine gleichzeitige Verwendung des 5 GHz und 6 GHz-Frequenzbandes.</li><li>• Die Latenz verringert sich bei der Verwendung von zwei Frequenzbändern.</li><li>• Die Datenrate stabilisiert und erhöht sich. Daten können redundant auf zwei Frequenzbändern gesendet werden, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Frames ungestört am Empfänger ankommen.</li><li>• Die Zuverlässigkeit von Verbindungen steigt, Störungen durch Interferenzen können durch Verwendung eines weiteren Frequenzbandes verringert werden.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Client und Access-Point müssen MIMO-fähig sein und WiFi 7 unterstützen.</li><li>• Für MLO ist die gleiche SSID erforderlich. Bei der Verwendung gleicher SSIDs könnten Clients an der Nutzung des 6 GHz Frequenzbandes gehindert werden (kein Band Steering zwischen 5 GHz und 6 GHz).</li><li>• Die Datenraten verschiedener Frequenzbänder können z.T. sehr unterschiedlich sein. Bei TCP-Verbindungen kann diese Ungleichheit dazu führen, dass die langsamere Verbindung die Gesamtdatenrate reduziert.</li><li>• In High-Density-Netzwerken verwenden MLO-Clients nicht mehr einen Kanal in einem Frequenzband, sondern jeweils einen Kanal pro Frequenzband. Da die Zahl der überlappungsfreien Kanäle begrenzt ist, vergrößert dies die Gefahr von Kanal-Überlappungen.</li><li>• Der Stromverbrauch des APs erhöht sich.</li><li>• Möglichkeit der Selbstinterferenz, wenn auf benachbarten Kanälen gesendet und empfangen wird (Nebenaussendungen an den Kanalrändern)</li></ul>



MLO ist eine qualitative Weiterentwicklung und trägt zur Effizienzsteigerung von 802.11be gegenüber 802.11ax bei. MLO ist ideal für schulische WLAN-Netzwerke, in dem viele Clients gleichzeitig kommunizieren.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

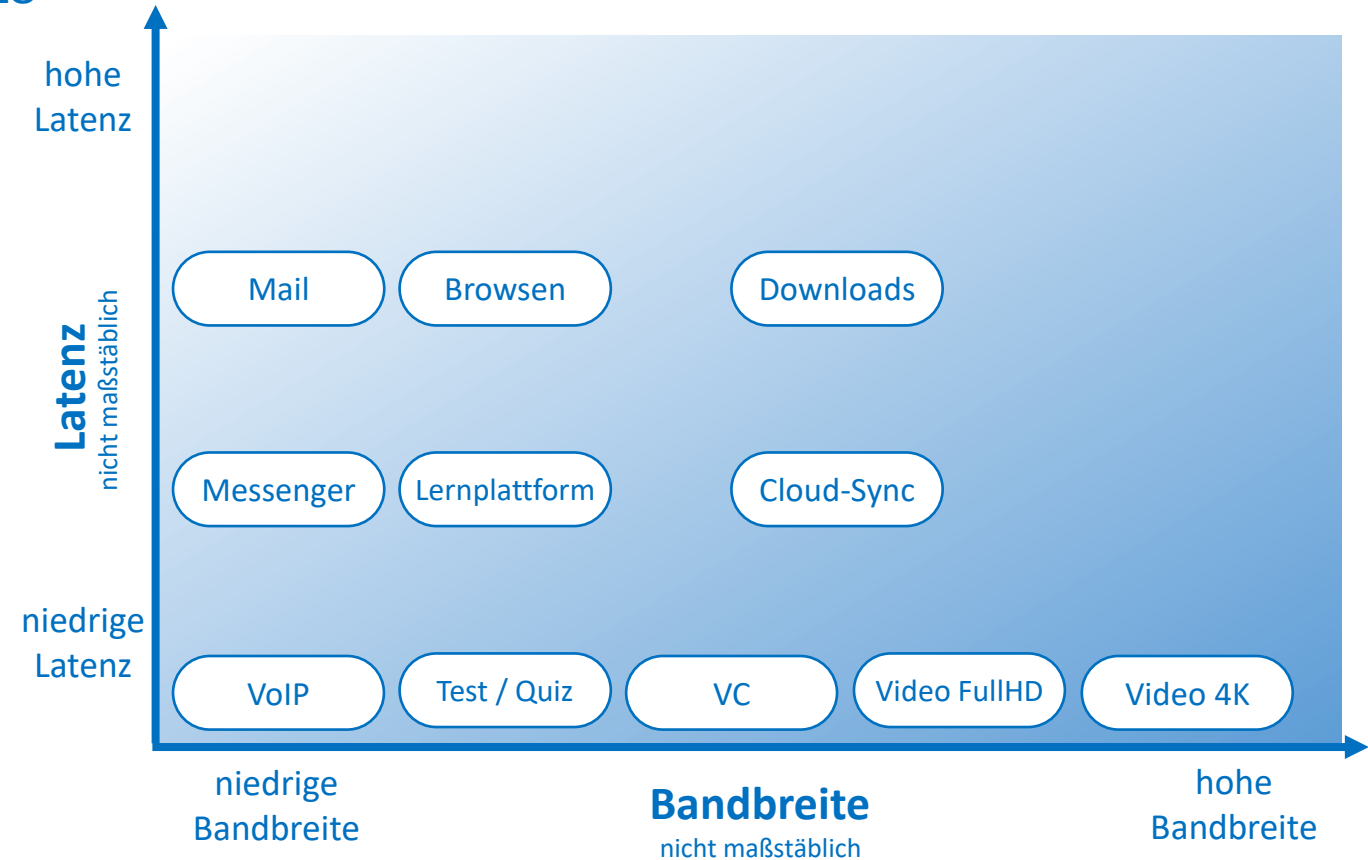


### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

Die in der Schule verwendeten Anwendungen unterscheiden sich deutlich in den Anforderungen nach Bandbreite und Latenz.

Die Technologien OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO unterstützen unterschiedlich Verbesserungen in der Bandbreite und der Latenz.

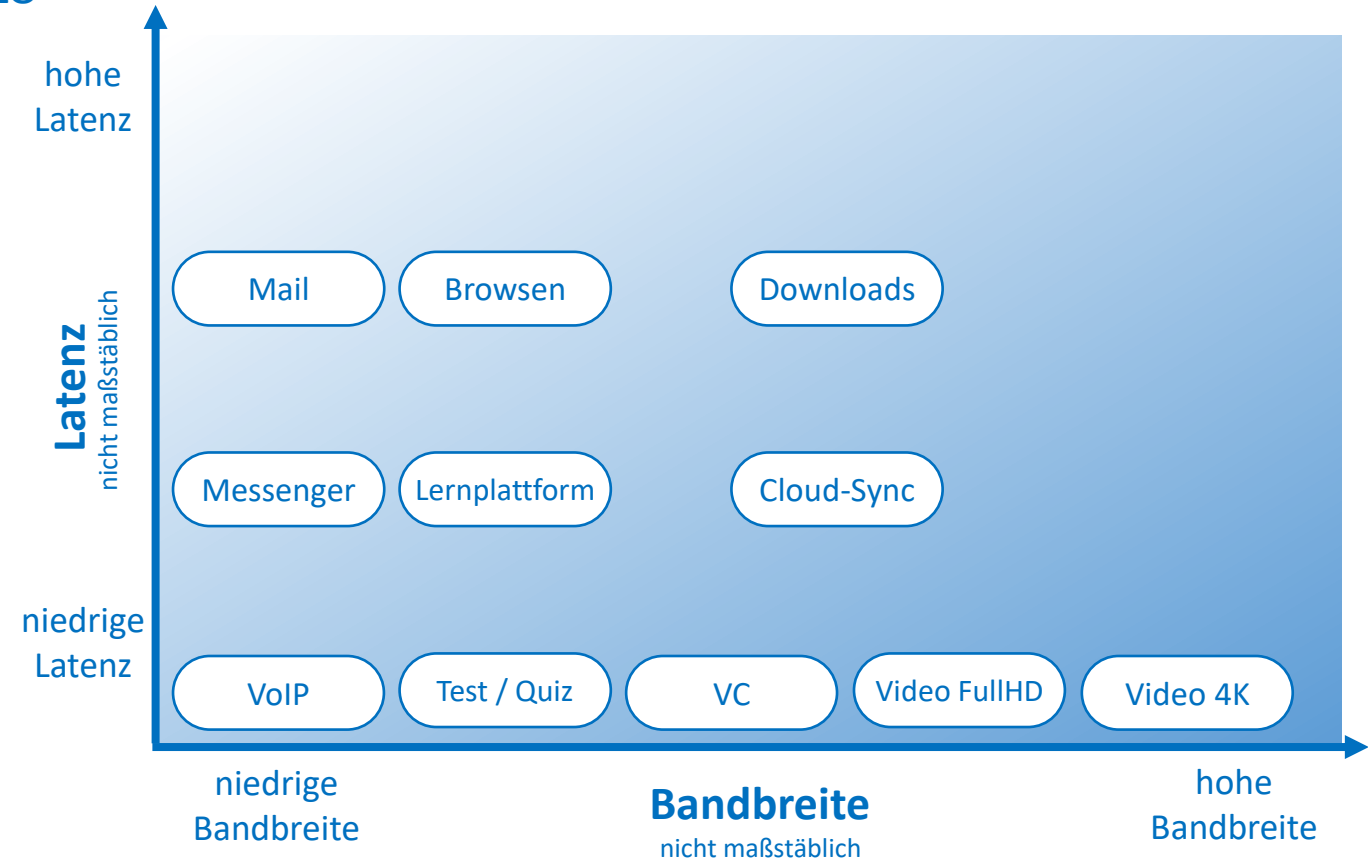




### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

OFDMA (incl. Multi-RU)	MU-MIMO
Steigerung der Effizienz	Steigerung der Kapazität
Reduzierung der Latenz	Erhöhung der Datenraten
Ideal für Anwendungen mit niedriger Bandbreite	Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite
Ideal für kleine Datenpakete	Ideal für große Datenpakete





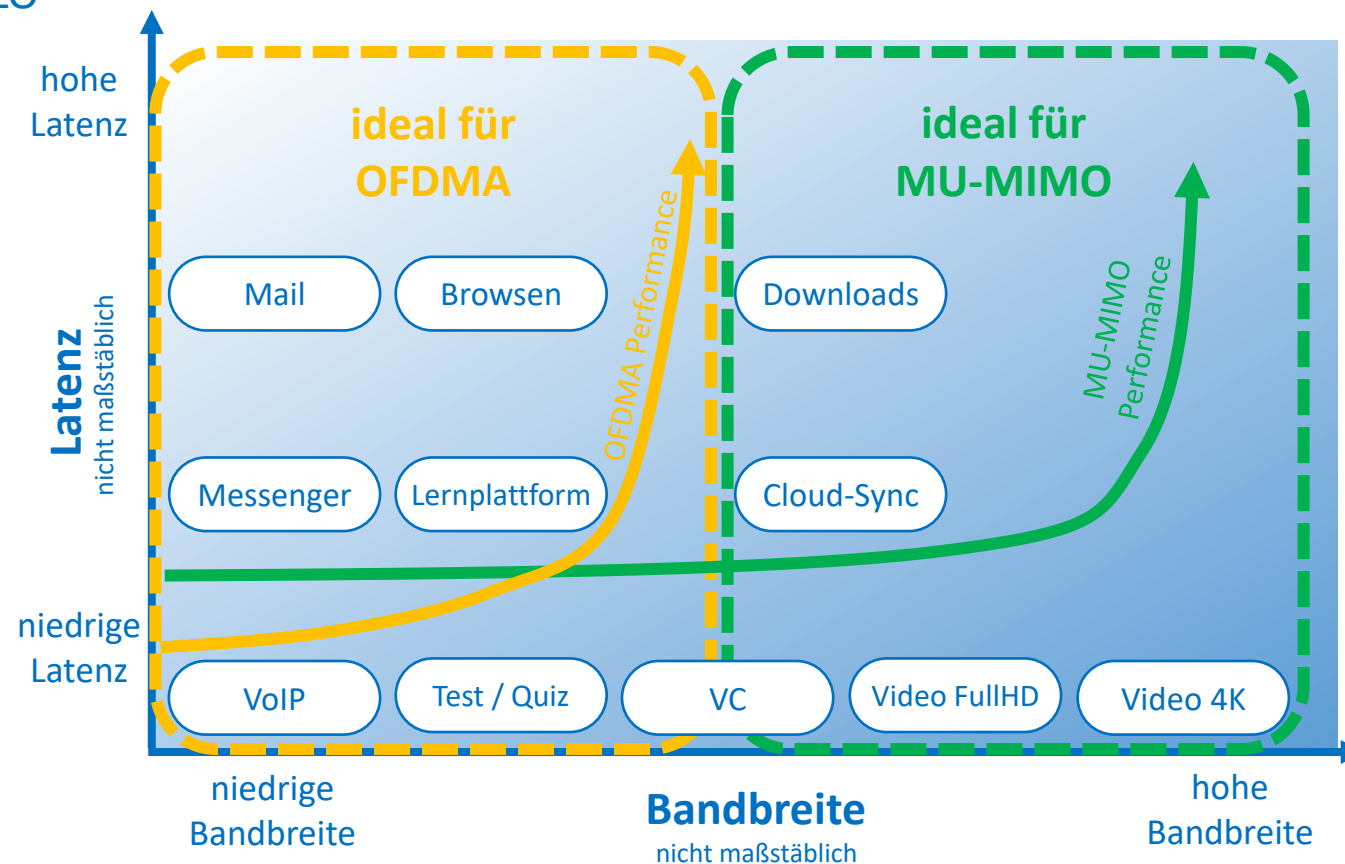
### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

#### OFDMA (incl. Multi-RU)

#### MU-MIMO

Steigerung der Effizienz	Steigerung der Kapazität
Reduzierung der Latenz	Erhöhung der Datenraten
Ideal für Anwendungen mit niedriger Bandbreite	Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite
Ideal für kleine Datenpakete	Ideal für große Datenpakete





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

##### OFDMA (incl. Multi-RU)

Steigerung der Effizienz	Steigerung der Kapazität
Reduzierung der Latenz	Erhöhung der Datenraten
Ideal für Anwendungen mit niedriger Bandbreite	Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite
Ideal für kleine Datenpakete	Ideal für große Datenpakete

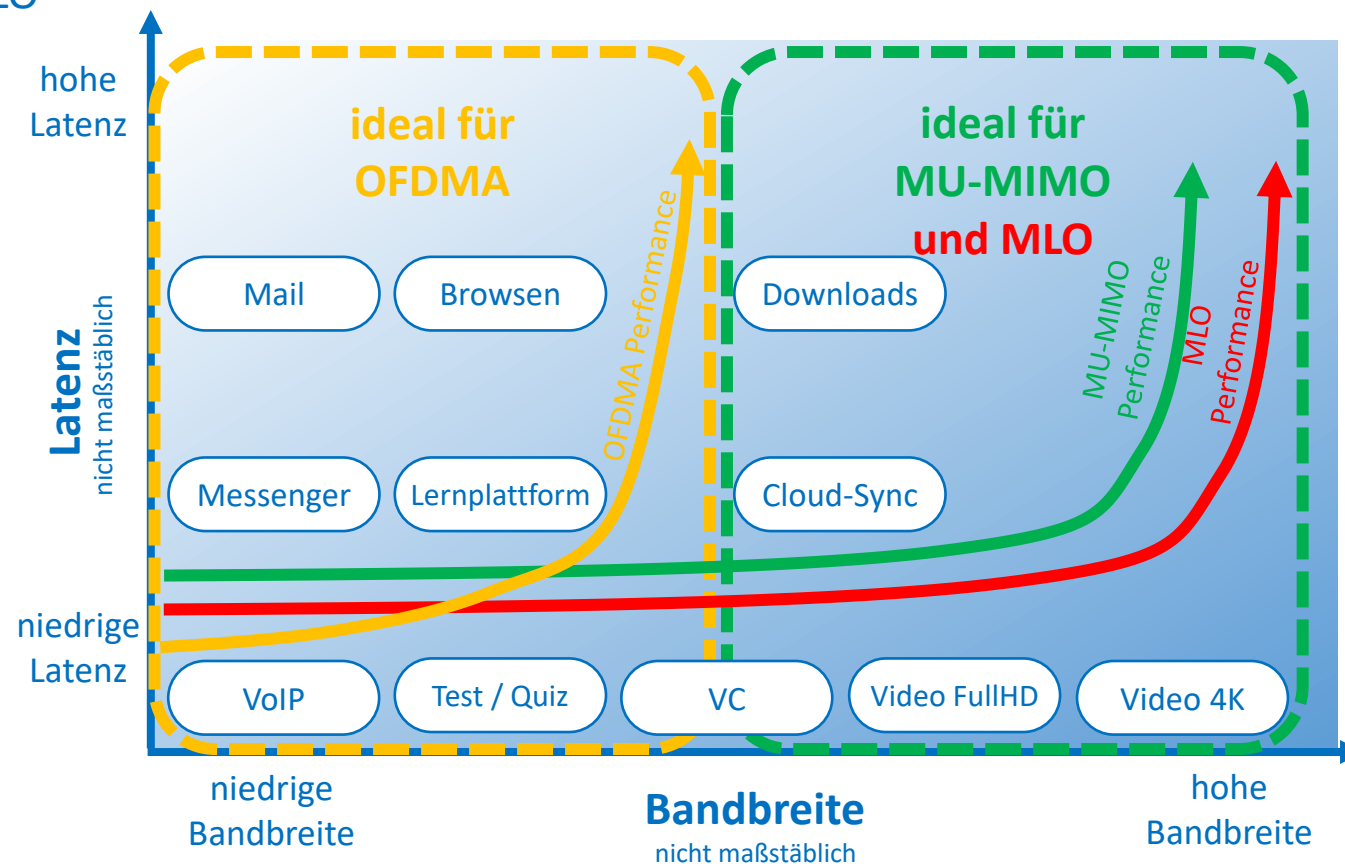
##### MU-MIMO

Steigerung der Kapazität	Steigerung der Kapazität
Erhöhung der Datenraten und Reduzierung der Latenz	Erhöhung der Datenraten
Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite	Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite
Ideal für große Datenpakete	Ideal für große Datenpakete

##### MLO

Steigerung der Kapazität	Steigerung der Kapazität
Erhöhung der Datenraten und Reduzierung der Latenz	Erhöhung der Datenraten
Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite	Ideal für Anwendungen mit hoher Bandbreite
Ideal für große Datenpakete	Ideal für große Datenpakete

##### MU-MIMO

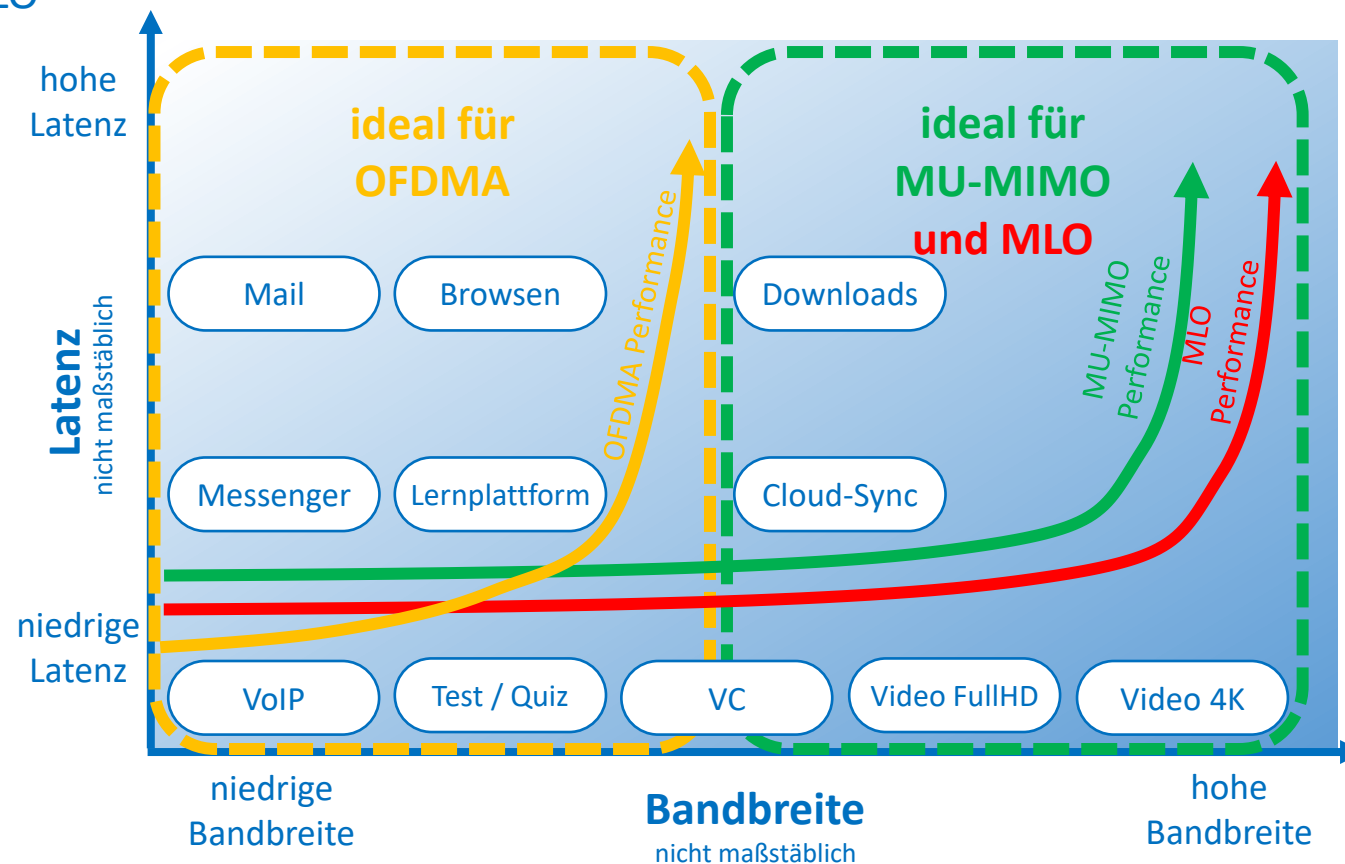




### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO

- OFDMA bringt eine deutliche Effizienzsteigerung im WLAN. Es unterstützt die Anwendungen, die in der Schule am meisten verwendet werden, wie z.B. Lernplattform, Messenger, Test, Mail und Browsen. Daher sollte darauf geachtet werden, Geräte und APs mit OFDMA zu verwenden (ab 802.11ax, besser WiFi 6e wegen 6 GHz).
- MU-MIMO bringt Vorteile bei Downloads, Cloud-Sync und Videos. Daher sollte darauf geachtet werden, Clients und APs zu verwenden, die MU-MIMO im DL und UL beherrschen (ab 802.11ax, besser WiFi 6e).
- MLO und Multi-RU sind Weiterentwicklungen unter 802.11be, die den Effizienzgewinn im WLAN weiter erhöhen.





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

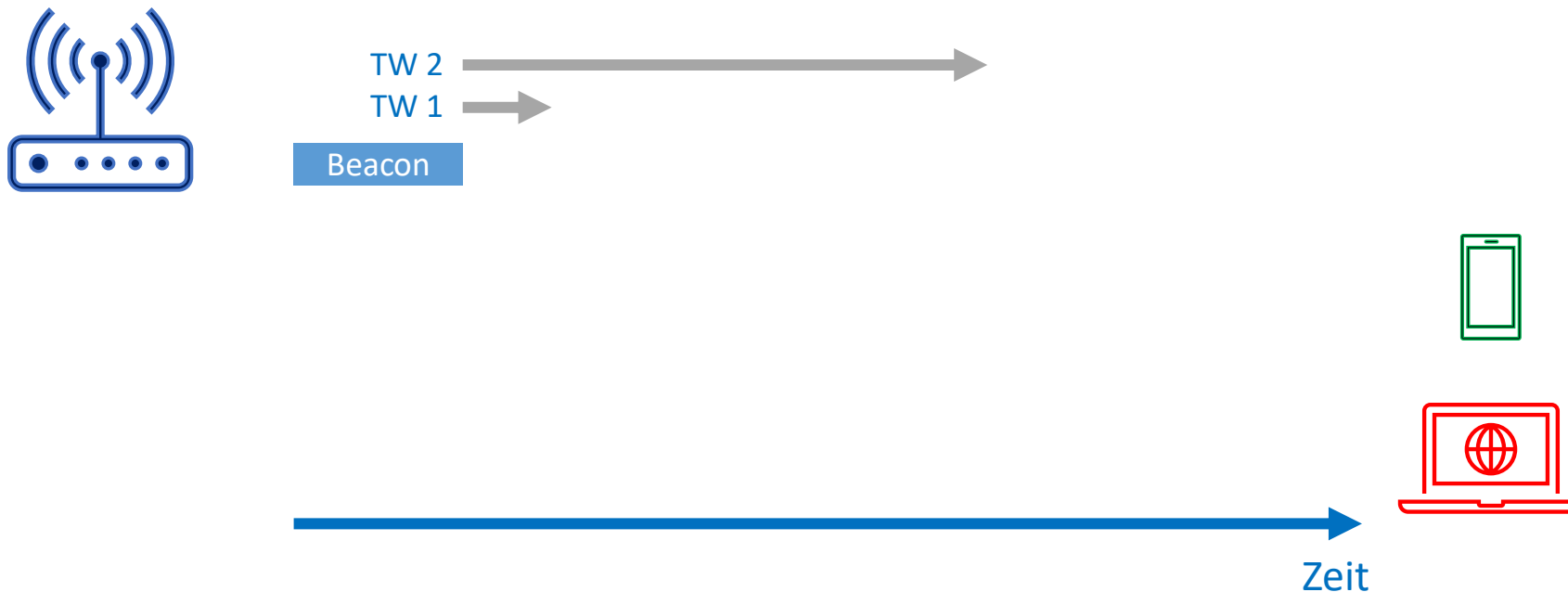




### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

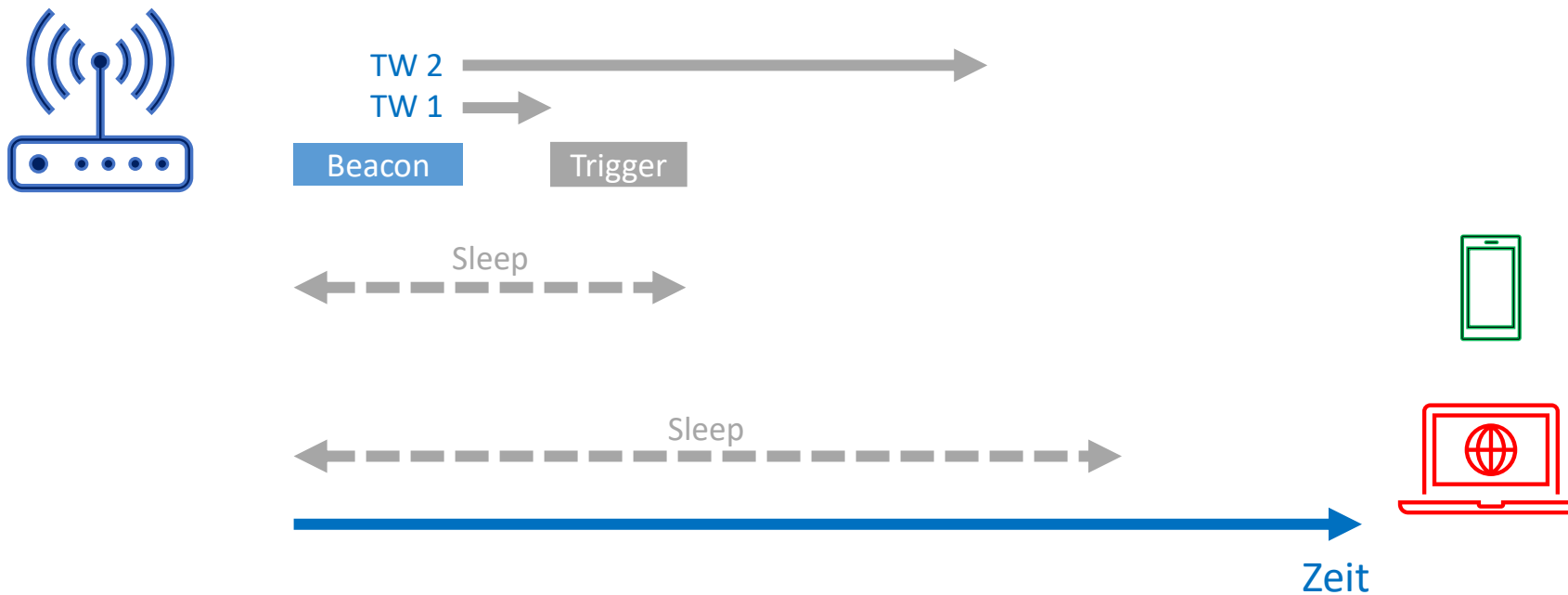
TWT ist ein Feature, das mit dem 802.11ax WLAN-Standard eingeführt wurde. Es zielt darauf ab, die Batterielebensdauer von WLAN-Geräten, insbesondere in Umgebungen mit hoher Gerätedichte, zu verbessern. TWT ermöglicht es Geräten, ihre "Wachzeiten" zu planen, um mit dem Access Point zu kommunizieren, und reduziert so die Zeit, in der sie aktiv nach Signalen suchen müssen.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

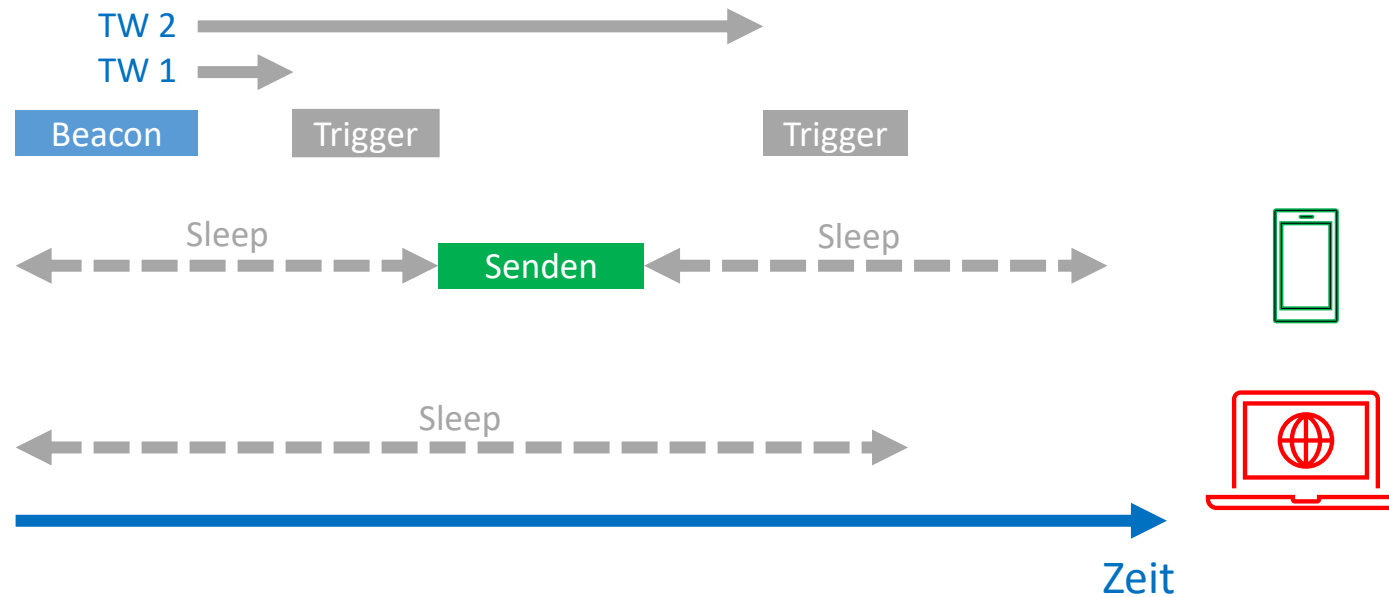
Der AP hat die Wachzeiten den beiden Geräten mitgeteilt. Per Trigger wird die Kommunikation vom grünen Endgerät mitgeteilt.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

Das grüne Endgerät kommuniziert und geht danach in den „Schlafmodus“. Das rote Endgerät wird per Trigger zum Kommunizieren aufgefordert.

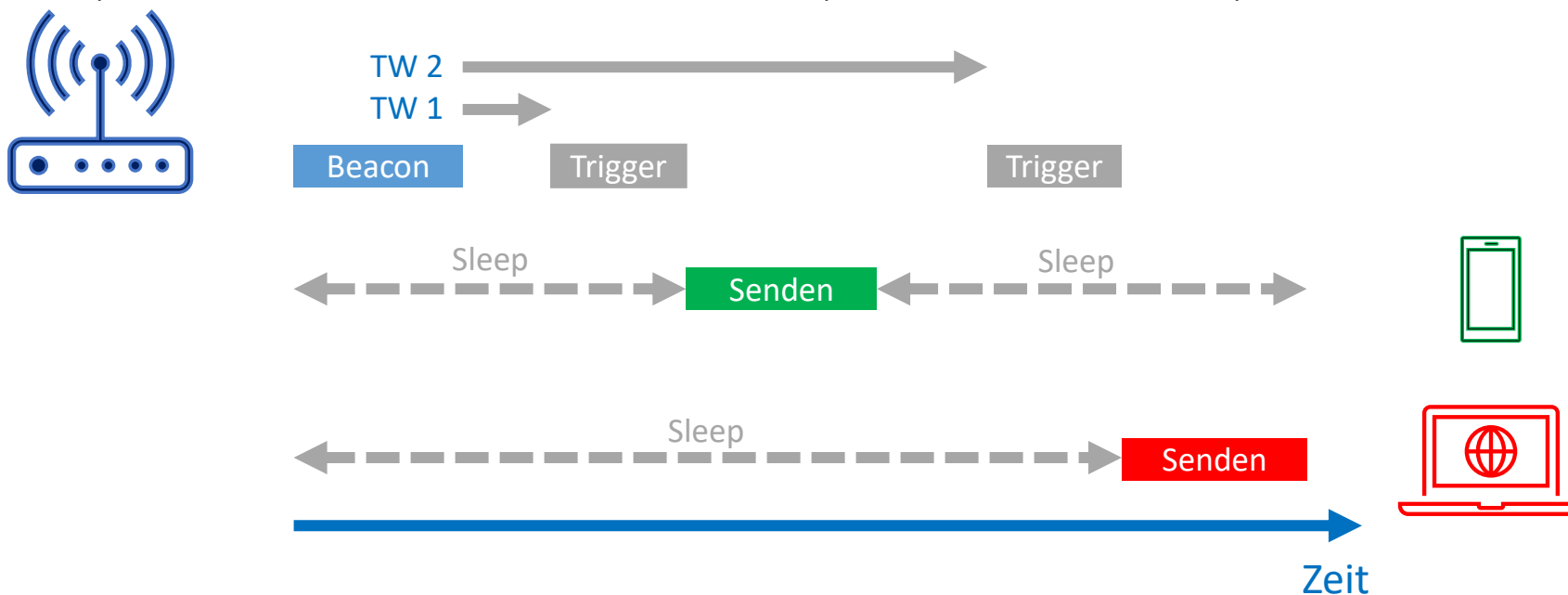




### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

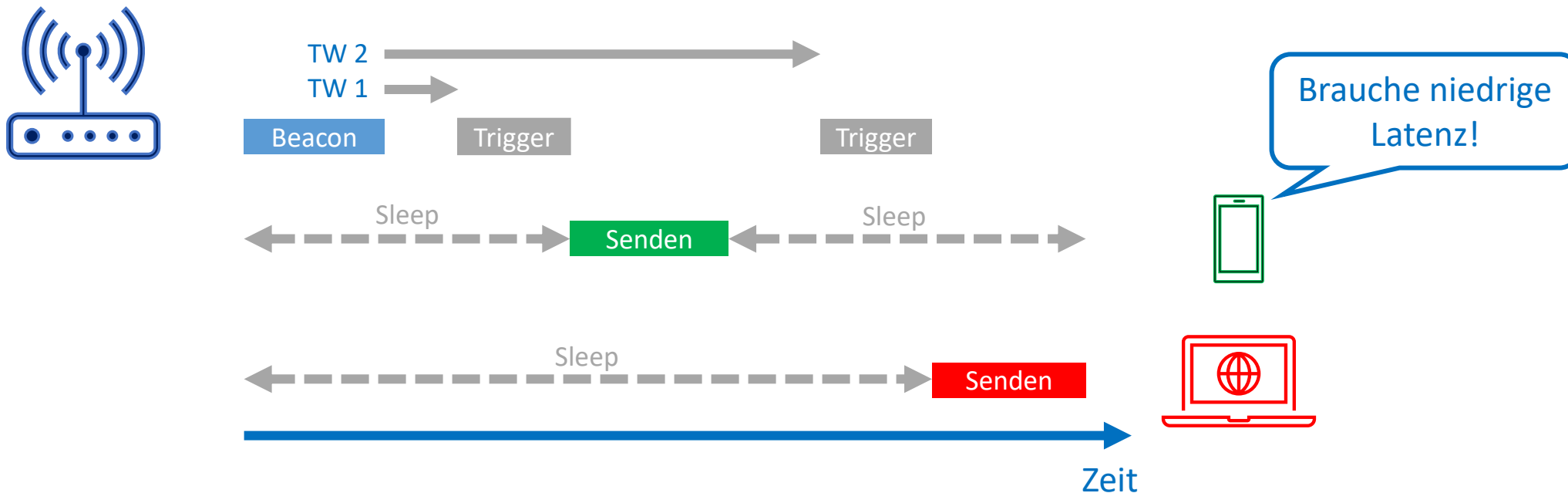
TWT ist ein Feature, das mit dem 802.11ax WLAN-Standard eingeführt wurde. Es zielt darauf ab, die Batterielebensdauer von WLAN-Geräten, insbesondere in Umgebungen mit hoher Gerätedichte, zu verbessern. TWT ermöglicht es Geräten, ihre "Wachzeiten" zu planen, um mit dem Access Point zu kommunizieren, und reduziert so die Zeit, in der sie aktiv nach Signalen suchen müssen.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT – Erweiterung unter WiFi 7

Benötigen Endgeräte eine bestimmte Latenz, kann dies mit der Erweiterung von TWT unter WiFi7 ermöglicht werden.

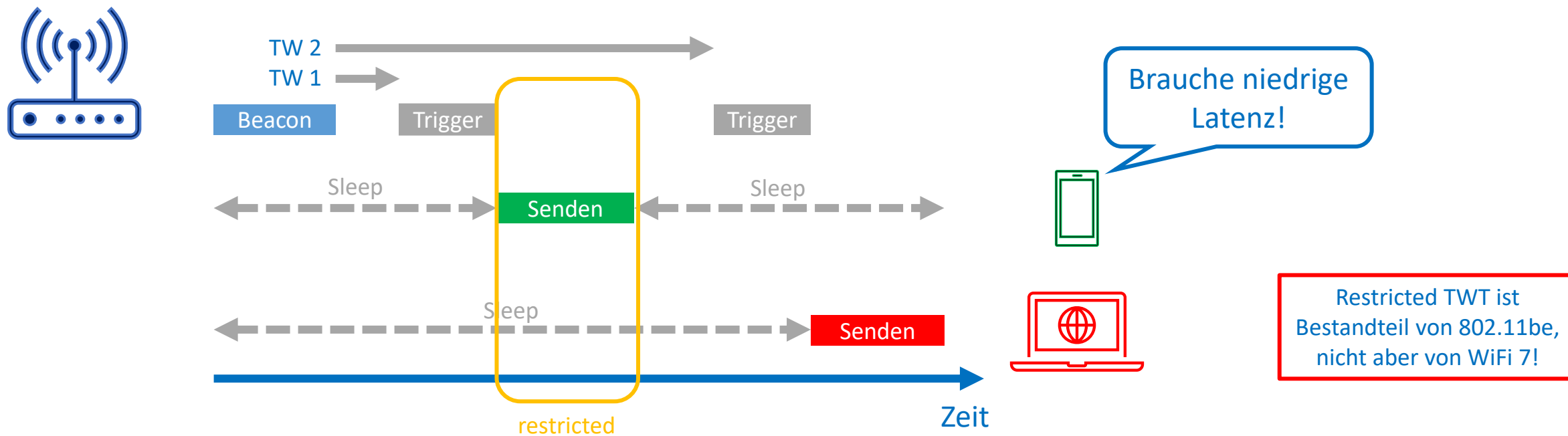




### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT – Erweiterung unter WiFi 7

Die Restricted Target Wakeup Time (TWT) erhöht die Zuverlässigkeit von QoS-Anforderungen durch einzelne Clients durch restricted time, also fest zugeordnete Zeitintervalle für spezielle QoS-Anforderungen.





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### TWT

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Verbesserte Akkulaufzeit:</b> TWT kann die Akkulaufzeit von batteriebetriebenen Geräten verlängern.</li><li>• <b>Reduzierte Netzwerkauslastung:</b> TWT kann die Netzwerkauslastung verringern, da Geräte, die sich im TWT-Modus befinden, keine Daten senden oder empfangen.</li><li>• <b>Weniger Störungen:</b> Da APs die Sendezeiten regulieren, kommt es durch TWT evtl. zu weniger Störungen im WLAN. Die Effizienz kann durch TWT steigen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Minimum 802.11ax:</b> TWT wird ab 802.11ax unterstützt. Ältere Geräte mit 802.11ac unterstützen TWT nicht.</li><li>• <b>Ältere Geräte:</b> Geräte, die TWT nicht unterstützen machen evtl. Vorteile durch TWT im Netzwerk (reduzierte Netzwerkauslastung, weniger Störungen) wieder zunichte.</li><li>• <b>Latenz bei 802.11ax:</b> TWT kann unter 802.11ax ohne die Funktion Restricted TWT (802.11be) evtl. die Latenz von Anwendungen beeinträchtigen.</li></ul>



TWT reduziert den Energieverbrauch mobiler Geräte. Für eine optimale Nutzung von TWT sollten alle Clients und AP 802.11be unterstützen.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### Preamble puncturing

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring





## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### Preamble Puncturing

Mit immer größer werdender Zahl an Clients und APs wird die Verwendung immer größerer Kanalbandbreiten zunehmend komplexer. Überlappungsfreie Kanäle ohne Interferenzen ab 80 MHz Kanalbandbreite zu finden ist mittlerweile kaum möglich. Mit Störungen im WLAN wird der Vorteil immer größerer Kanalbandbreiten zunehmend geringer. Um dem entgegenzuwirken, wird ab 802.11ax **Preamble Puncturing** verwendet, um größere Kanalbandbreiten störungsarm verwenden zu können:

- Kanalbandbreiten größer als 20 MHz werden aus mehreren 20 MHz breiten Kanälen gebildet. Bei einer Kanalbandbreite von 320 MHz werden 8 x 40 MHz verwendet.
- Sind in einem der 20 MHz Kanäle Störungen oder Interferenzen, werden sie nicht genutzt, sondern nur die 20 MHz-Kanäle, die nicht gestört sind.

Anzahl überlappungsfreier Kanäle

Kanalbreite	2,4 GHz	5 GHz (ohne DFS)	5 GHz (mit DFS)	6 GHz
20 MHz	3	4	19	24
40 MHz	2	2	9	12
80 MHz	---	1	4	6
160 MHz	---	0	2	3
320 MHz	---	---	---	1

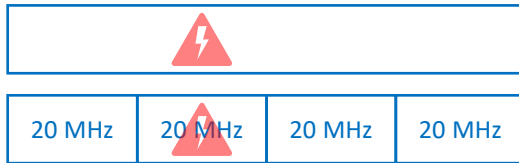


### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

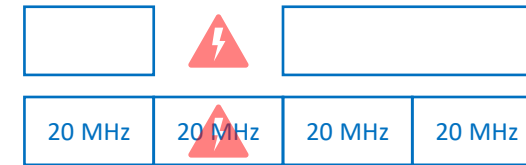
#### Preamble Puncturing

#### Kanalbandbreite von 80 MHz mit Störungen

ohne Preamble Puncturing



mit Preamble Puncturing



Es können 20 MHz bei einem 80 MHz breiten Kanal weggelassen werden bzw. 40 MHz bei einem 160 MHz breiten und 80 MHz bei einem 320 MHz breiten Kanal.

Kanalbandbreite	Subkanäle
80 MHz	4 x 20 MHz
160 MHz	8 x 20 MHz
320 MHz	8 x 40 MHz



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### Preamble Puncturing

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Verbesserte Ausnutzung des Frequenzbandes: Evtl. sind größere Kanalbandbreiten möglich</li><li>• Breitere Kanäle trotz Störungen</li><li>• Geringere Latenz und Jitter</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• APs und Clients müssen die Technik unterstützen</li><li>• Bei vielen Störungen stößt Preamble Puncturing an seine Grenzen.</li></ul>



Preamble Puncturing kann bei geringen Störungen die Effizienz im WLAN verbessern. In der Schule stößt diese Technologie sehr schnell an Grenzen. Effizienzgewinne im WLAN kann man in der Schule vorzugsweise mit der Verwendung des 6 GHz-Frequenzbandes erreichen.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### QAM 4096

Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring

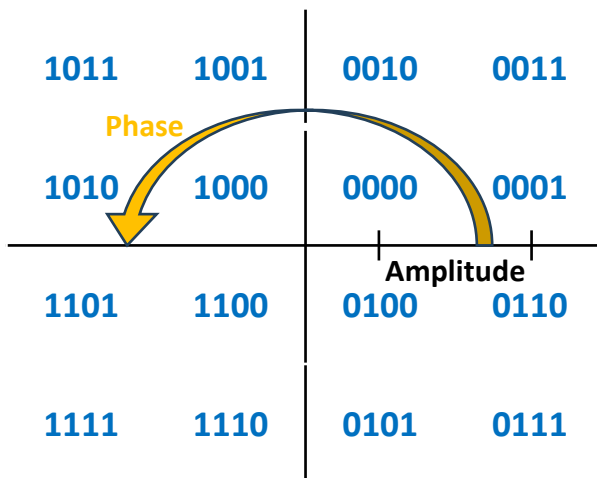


### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### QAM 4096

Auf die elektromagnetische Welle werden Signale aufmoduliert. QAM beschreibt, wie komplex das Signal ist, das auf die elektromagnetische Welle aufmoduliert wird.

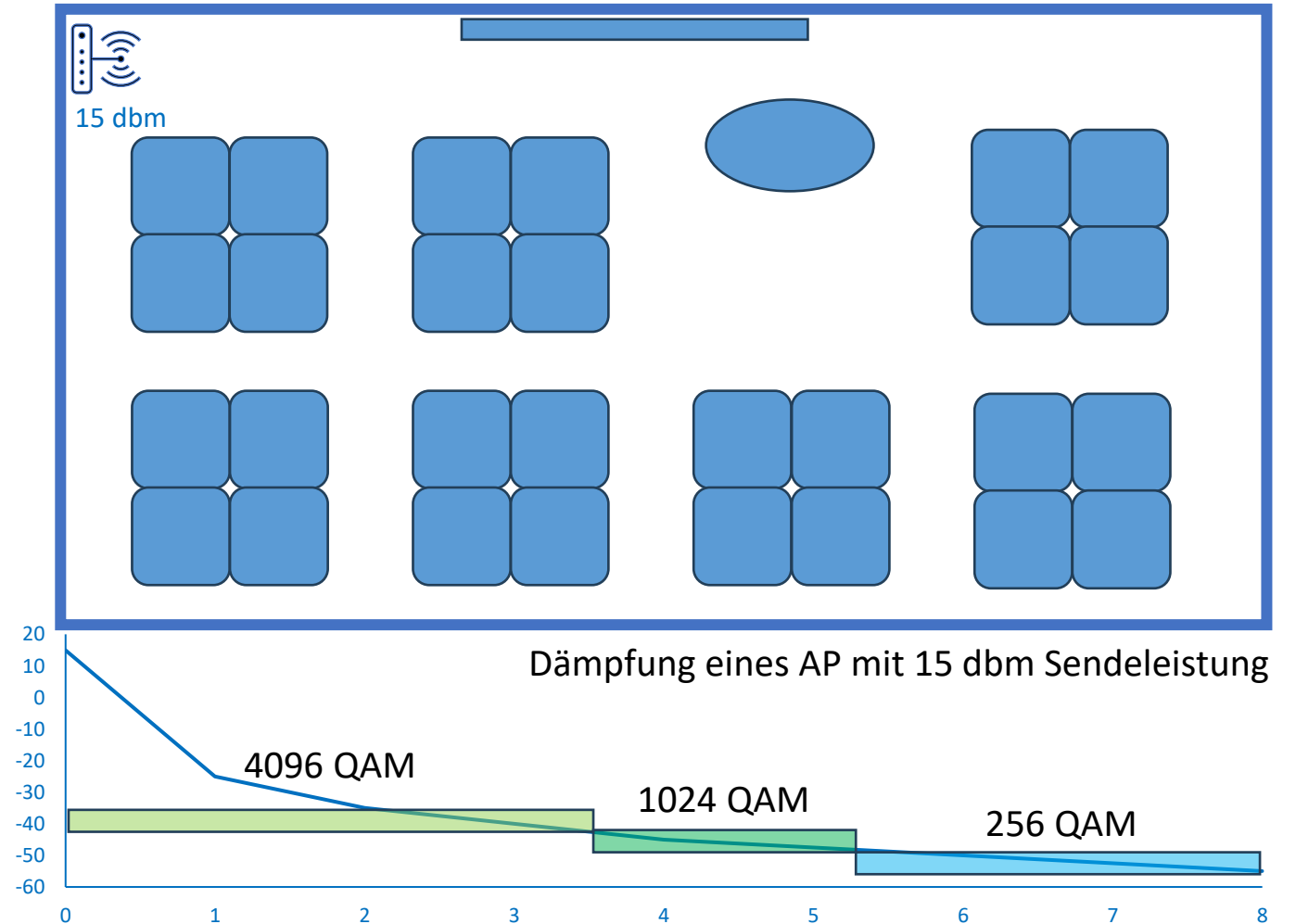
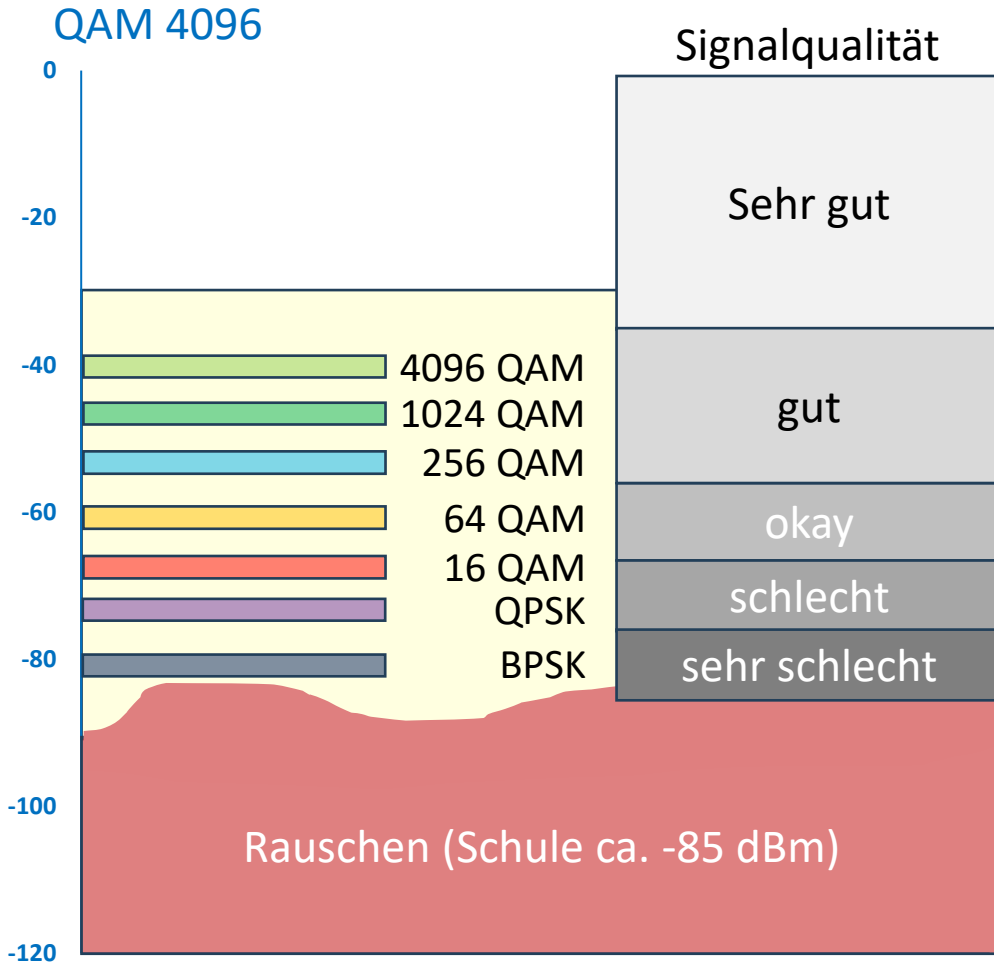
QAM arbeitet, indem es zwei Signale gleichzeitig überträgt, die jeweils unabhängig in der Amplitude moduliert werden, und deren Phasen um 90 Grad zueinander versetzt sind (daher der Name "Quadratur"). Dies ermöglicht es, zwei Bits von Informationen in einem einzelnen modulierten Signal zu kombinieren. In QAM werden sowohl die Amplitude (Stärke) als auch die Phase (der Winkel) des Trägersignals variiert. Diese Kombination von Amplituden- und Phasenänderungen ermöglicht es, eine große Anzahl von eindeutigen Zuständen zu schaffen, wobei jeder Zustand eine bestimmte Kombination von Bits repräsentiert.



Bits pro Symbol	Modulation	SNR (ca.)
1	BPSK	6
2	QPSK	12
4	16 QAM	18
6	64 QAM	24
8	256 QAM	30
10	1024 QAM	36
12	4096 QAM	42



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards





### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### QAM 4096

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Höhere Bandbreiten aufgrund besserer Modulation und mehr Bit pro Symbol</li><li>• Geringere Airtime, die weiter entfernten Clients zur Verfügung steht</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• APs und Clients müssen die 802.11be unterstützen</li><li>• Die Signalqualität muss hervorragend sein. Dies ist nur bei Clients in geringer Entfernung vom AP möglich. Ab einer Entfernung von ca. 3-4 Metern ist QAM 4096 nicht mehr möglich.</li><li>• Bei Störungen oder Interferenzen ist QAM 4096 aufgrund von zu geringem Signal-Rausch Abstand nicht mehr möglich.</li></ul>



QAM 4096 ermöglicht höhere Bandbreiten im 802.11be Netzwerk. Die technischen Voraussetzungen sind allerdings client- und infrastrukturseitig sehr hoch. In schulischen WLAN-Netzwerken können nur wenige Clients von QAM 4096 profitieren.



## 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

### BSS Coloring

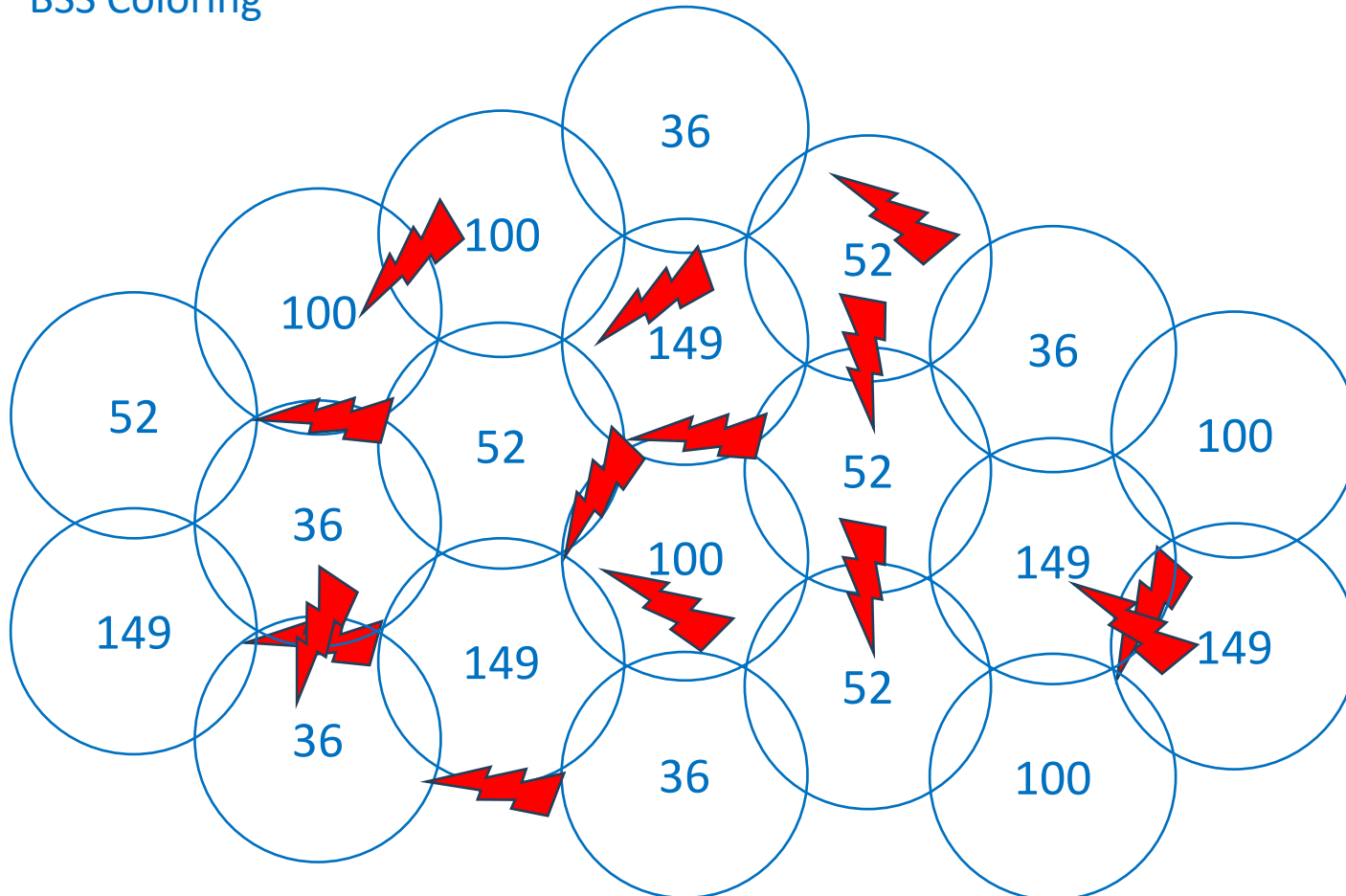
Im Folgenden werden folgende Technologien genauer betrachtet:

- 6 GHz Frequenzband
- Transmit Beamforming
- MIMO und MU-MIMO
- OFDM, OFDMA und Multi RU
- MLO
- Vergleich OFDMA (incl. Multi-RU), MU-MIMO und MLO
- TWT
- Preamble Puncturing
- QAM 4096
- BSS Coloring



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

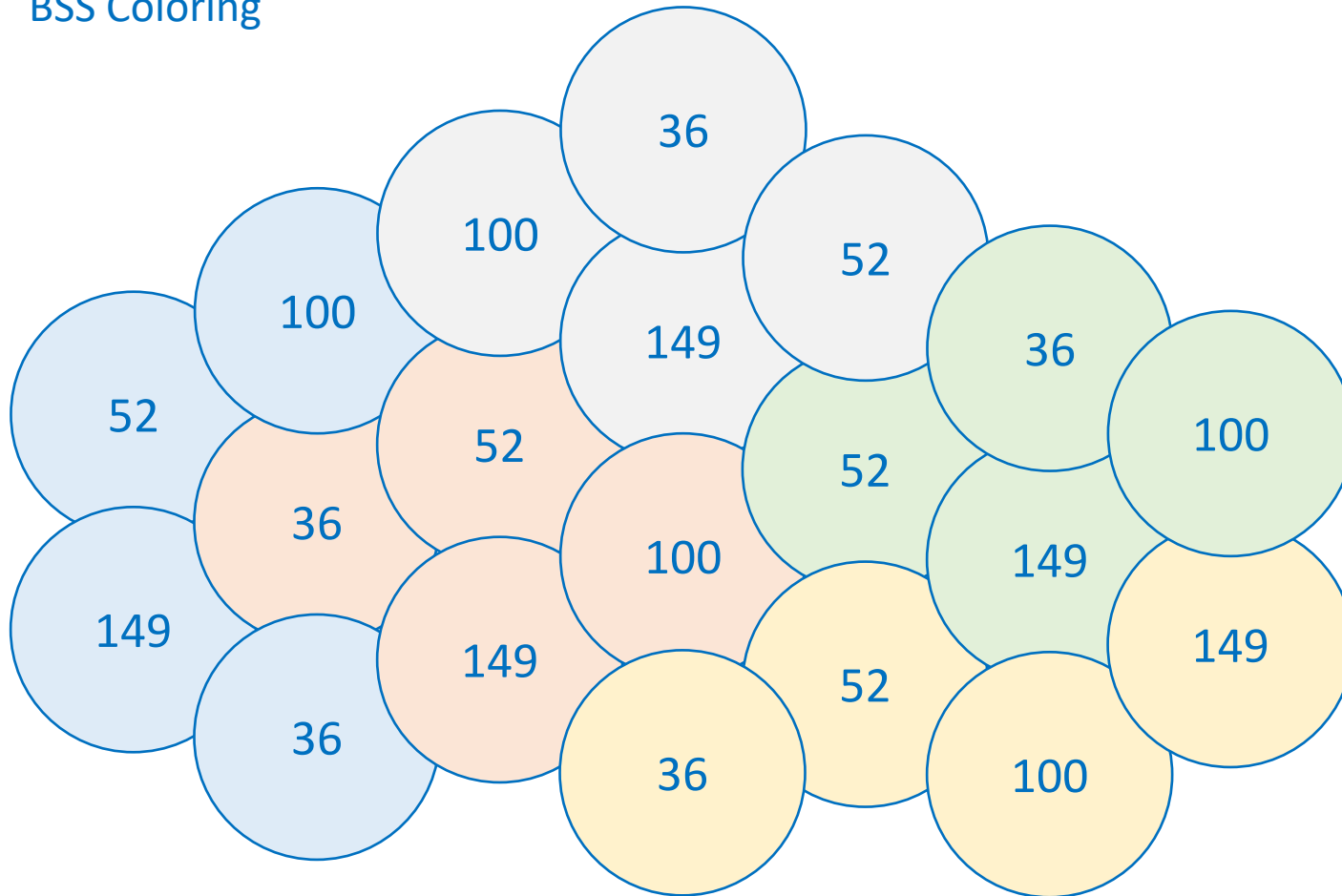
#### BSS Coloring



In größeren WLAN-Netzwerken, vor allem über mehrere Stockwerke, kann es vorkommen, dass benachbarte APs den gleichen Kanal verwenden. Das führt zu Interferenzen, die die vorhandene Airtime für Clients dramatisch reduzieren.

### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### BSS Coloring



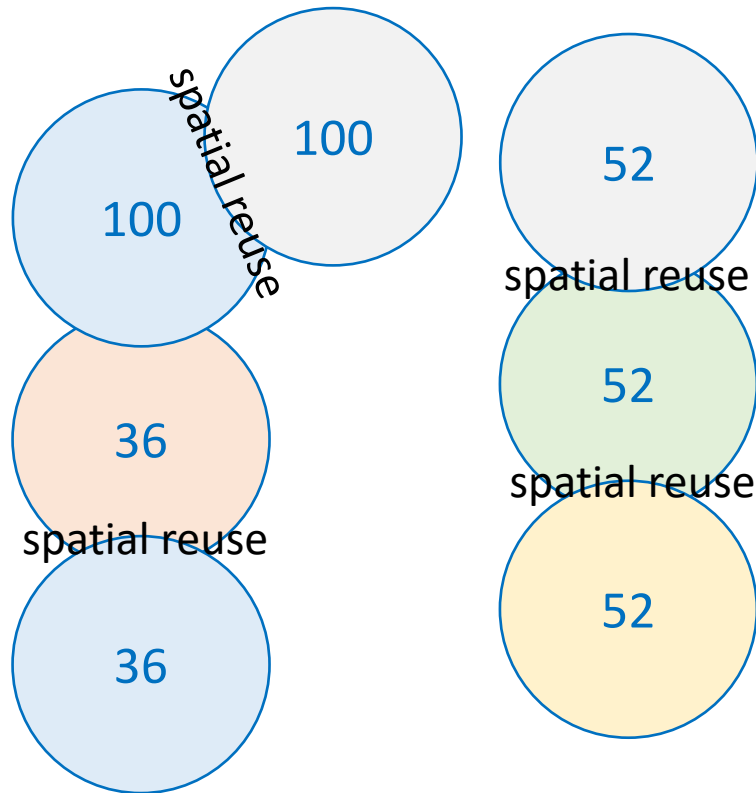
Das Problem mit der Airtime wird durch **BSS Coloring** reduziert.

- BSS Coloring fügt den WLAN-Frames ein zusätzliches Feld hinzu: Color
- Damit können Clients den CSMA/CA-Prozess schneller durchlaufen.
- Mit BSS Coloring genügt es, wenn die Funkstille innerhalb einer Funkzelle der gleichen „Farbe“ vorliegt.
- Bei Verwendung unterschiedlicher „Farben“ benachbarter APs mit gleichem Kanal können zeitgleich Clients senden. (**spatial reuse**)
- BSS coloring wurde mit 802.11ax eingeführt.



### 3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards

#### BSS Coloring



#### Vorteile von BSS Coloring mit spatial reuse:

- **Erkennung von Interferenzen:** APs erkennen Interferenzen von anderen APs, die auf dem gleichen Kanal senden.
- **Anpassung der Empfindlichkeit:** Basierend auf der Stärke der Interferenzen passt jeder AP die Empfindlichkeitschwelle an, mit der empfangene Signale verarbeitet werden.
- **Räumliche Wiederverwendung (Spatial Reuse):** Benachbarte APs können auf gleichem Kanal senden und stören sich nicht gegenseitig.



BSS Coloring verhindert keine Interferenzen. In großen gemanagten WLAN-Netzwerken kann mit der Technologie BSS Coloring mit Spatial Reuse die räumliche Wiederverwendung von APs, die auf demselben Kanal senden, weiter verbessert werden. Die Technologie bringt in kleinen heimischen WLAN-Netzwerken mit unterschiedlichen SSIDs nichts. Die Technologie erhöht nur bei vollständigen Kanalüberlagerungen die Effizienz im WLAN, bei teilweiser Kanalüberlagerung bringt BSS Coloring wenig. BSS Coloring ersetzt keine optimierte Kanalverteilung, es erhöht nur die Effizienz bei Kanalüberdeckungen.



## 4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken

1. WLAN-Standards: Allgemeines und Entwicklung
2. Überblick über die WLAN-Standards
3. Betrachtungen ausgewählter Techniken der WLAN-Standards
4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken
5. Fragen und Antworten



## 4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken

### Vergleich schulischer WLAN-Netzwerke mit dem WLAN zu Hause

zu Hause	Schule
<ul style="list-style-type: none"><li>• Wenige Clients</li><li>• Hohe Bandbreite pro Client</li><li>• Geringere Clientdichte</li><li>• Wenige APs, trotzdem hohe Anzahl von SSIDs (Nachbarschaft)</li><li>• Anwendungen, wie z.B. Streaming, Spielen, Browsen,...</li><li>• Kein WLAN-Controller</li><li>• Keine automatische Kanalauswahl</li><li>• Keine automatische Anpassung der Sendeleistung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sehr viele Clients</li><li>• Mindestbandbreite pro Client</li><li>• Sehr hohe Clientdichte</li><li>• Viele APs</li><li>• Anwendungen wie z.B. Browsen, Videokonferenz</li><li>• WLAN-Controller</li><li>• Automatische Kanalverteilung</li><li>• Automatische Anpassung der Sendeleistung</li></ul>



## 4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken

Welche Technologien verbessern die verfügbare Bandbreite pro Client im schulischen WLAN und zu Hause?

zu Hause	Verbesserung	Schule
160 / 320 MHz Kanalbandbreite* MU-MIMO MLO OFMDA 6 GHz AP-Platzierung	<b>Starke Verbesserung</b>	OFMDA 6 GHz MU-MIMO AP-Platzierung
Sendeleistung Band Steering QAM 4096 Kanalverteilung Preamble puncturing unnötige APs abschalten Transmit Beamforming BSS Coloring	<b>Verbesserung</b>	BSS-Coloring MLO Sendeleistung Kanalverteilung Band Steering oder 2,4 GHz abschalten unnötige APs abschalten QAM 4096 Preamble puncturing
TWT	<b>Keine Verbesserung</b>	Transmit Beamforming 160 / 320 MHz Kanalbandbreite TWT

\* abhängig von WLAN-Umgebung



## 4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken

Welche Technologien verbessern die verfügbare Bandbreite pro Client im schulischen WLAN?

Verbesserung	Schule	zugehöriger WLAN-Standard	
Starke Verbesserung	OFMDA 6 GHz MU-MIMO AP-Platzierung	802.11ax 802.11ax (WiFi 6e) 802.11ax (DL und UP) (Kein Standard)	802.11ax bzw. WiFi 6e
Verbesserung	BSS Coloring	802.11ax	802.11ax, be bzw. kein Standard
	MLO	802.11be	
	Sendeleistung	(Kein Standard)	
	Kanalverteilung	(Kein Standard)	
Keine Verbesserung	Band Steering oder 2,4 GHz abschalten	(Kein Standard)	
	unnötige APs abschalten	(Kein Standard)	
	QAM 4096	802.11be	
Keine Verbesserung	Preamble puncturing	802.11be	
	Transmit Beamforming	802.11n	
	160 / 320 MHz Kanalbandbreite	802.11be	
	TWT	802.11ax	



## 4. Wirksamkeit einzelner WLAN-Techniken in schulischen WLAN-Netzwerken

Welche Technologien verbessern die verfügbare Bandbreite pro Client im High-Density WLAN und zu Hause?

WLAN-Techniken in der Schule verfolgen folgende Ziele:

- Gewährleistung einer Mindestbandbreite pro Client
- Erhöhung der Effizienz im WLAN
- Verringerung von Airtime pro Client
- Optimierung des Roamings
- Verringerung von Störungen und Interferenzen
- Verringerung von Sticky Client
- Verringerung von Broadcasts und unnötigen Traffic im WLAN



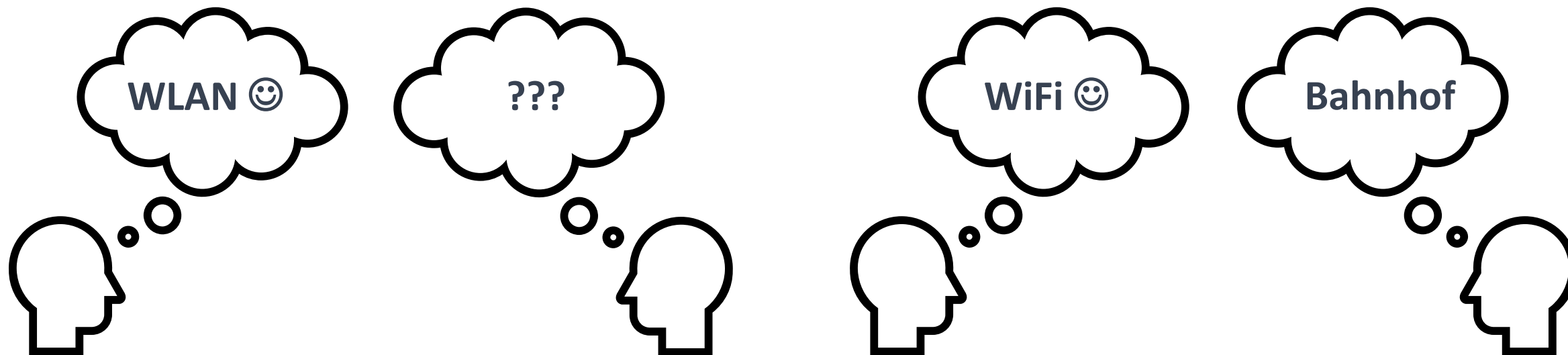
Um diese Ziele zu erreichen, ist der Einsatz folgende Techniken bzw. Maßnahmen wichtig:

- OFDMA
- 6 GHz-Frequenzband
- MU-MIMO
- Optimierte AP-Platzierung

**Diese Techniken sind ab dem WLAN-Standard 802.11ax bzw. WiFi 6e (6 GHz) verfügbar. Daher sollte ein Mindeststandard im WLAN von 802.11ax bzw. WiFi 6e angestrebt werden.**



## 5. Fragen und Antworten





## Abschluss

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**