



## Hinweise zur Optimierung der Konfiguration von WLAN-Netzwerken mit hoher Client-Dichte

An immer mehr Schulen sind komplette Jahrgangsstufen mit mobilen Geräten ausgestattet. Mit zunehmender Endgerätdichte im WLAN gewinnt die Optimierung der WLAN-Konfiguration eine immer größere Bedeutung.

In diesem Dokument sollen Hinweise zur Optimierung von großen und leistungsfähigen WLAN-Netzwerken gegeben werden. Die Optimierungen in diesem Dokument orientieren sich an WLAN-Standards. Herstellerspezifische Lösungen werden in diesem Dokument nicht betrachtet.

Herausgeber: Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung  
Kardinal-von-Waldburg-Str. 6-7  
89407 Dillingen

Autor: Markus Rawitzer, Akademie Dillingen

URL: <https://schulnetz.alp.dillingen.de>

Mail: [m.rawitzer@alp.dillingen.de](mailto:m.rawitzer@alp.dillingen.de)

Stand: Dezember 2022



## Inhalt

1.	Möglichkeiten zur Optimierung von WiFi 5-Netzwerken .....	3
1.1.	Veraltete WLAN-Standards deaktivieren .....	3
1.2.	Kanalbandbreite .....	3
1.3.	Geschwindigkeitsprofile .....	3
1.4.	RSSI-Schwellenwert .....	3
1.5.	Vermeidung von Overhead .....	4
1.6.	802.11k/v .....	4
2.	Möglichkeiten zur Optimierung von WiFi 6 und WiFi 6e-Netzwerken .....	4
2.1.	Unterschiede zwischen WiFi 5, WiFi 6 und WiFi 6e Schulen .....	4
2.2.	WiFi 5-Optimierungen übernehmen .....	5
2.3.	OFDMA .....	5
2.4.	MU-MIMO .....	6
2.5.	Frequenzmodulation (1024-QAM) .....	6
2.6.	BSS Coloring .....	6
2.7.	TWT (Target Wake Time) .....	6
3.	Zusammenfassung .....	7



## 1. Möglichkeiten zur Optimierung von WiFi 5-Netzwerken

Bei WiFi 5 Access Points bieten sich folgende Möglichkeiten der Optimierung.

### 1.1. Veraltete WLAN-Standards deaktivieren

Ältere WLAN-Standards, wie der 802.11g Standard bieten Kompatibilität zum noch älteren 802.11b Standard. Beide Standards bieten für heutige Anforderungen ungenügende Bandbreiten. Sind WLAN-Netzwerke nicht unbedingt auf die Kompatibilität der älteren WLAN-Standards angewiesen, sollten diese deaktiviert werden. Damit werden ältere Geräte ausgeschlossen.

Im WLAN-Controller sollten daher keine WLAN-Protokolle älter als 802.11n/ac (oder evtl. 802.11ac only) voreingestellt sein. Vor einer Konfigurationseinstellung sollte die Kompatibilität der verbundenen Peripheriegeräte (z.B. Drucker, drahtlose Bildschirmübertragung, IoT-Systeme) im WLAN überprüft werden.

### 1.2. Kanalbandbreite

Die Kanalbandbreite sollte an die Anzahl der mobilen Endgeräte angepasst werden. Während in heimischen WLAN-Netzwerken mit nur wenigen mobilen Endgeräten eine höhere Kanalbandbreite eingestellt werden kann und dadurch wenige Endgeräte eine hohe Bandbreite nutzen können, ist das Nutzungsszenario in der Schule ein anderes.

In der Schule ist die Anzahl der Endgeräte, die mit einem Access-Point verbunden sind, hoch. Daher muss die Anzahl der verfügbaren überlappungsfreien Kanäle hoch sein, was sich auf die Kanalbandbreite auswirkt. Daher sollte in der Schule die Kanalbandbreite 20 MHz oder maximal 40 MHz eingestellt sein.

### 1.3. Geschwindigkeitsprofile

Sinnvoll ist es, minimale Datenübertragungsraten für 2,4 GHz und 5 GHz festzulegen. Damit können Clients zu ausschließlich höheren Datenraten gezwungen werden. Clients, die mit niedrigeren Übertragungsgeschwindigkeiten andere Clients behindern, werden vom Access Point abgemeldet. Sinnvoll ist es, eine minimale Datenübertragungsrate von ca. 24 Mbit/s einstellen, um jegliche Übertragung mit niedrigeren Datenraten zu unterbinden.

### 1.4. RSSI-Schwellenwert

Ein Client im WLAN wird als „Sticky Client“ bezeichnet, wenn er bevorzugt bei demjenigen Access Point bleibt, bei dem er aktuell angemeldet ist. Dies gilt auch dann, wenn die verfügbare Datenrate signifikant gesunken ist und es einen Access Point mit besserem Signal in der Nähe gibt, zu dem der Client wechseln könnte. Dieses langsame Roaming verursacht Probleme. Mit der niedrigen Signalstärke ist eine niedrige Bandbreite verbunden. Die längere Übertragungsdauer behindert andere Clients, die mit dem Access Point verbunden sind. Damit kann ein entfernter Client die Performance anderer Clients negativ beeinflussen.

Daher sollten in den Einstellungen im WLAN-Controller Vorkehrungen getroffen werden, dass weit entfernte Clients getrennt werden. Dies wird mit dem RSSI-Schwellenwert erreicht. Mit diesem wird die Signalstärke (RSSI, Receive Signal Strength Indicator) konfiguriert, mit der ein Client mindestens verbunden sein muss. Unterschreitet ein Client den RSSI-Schwellenwert, wird er vom Access-Point getrennt. Es



empfiehlt sich hier einen Wert zwischen -80 dBm und -85 dBm zu verwenden. Die Konfiguration muss getestet und ggfs. angepasst werden.

Die Voraussetzung für diese Einstellung ist ein flächendeckendes WLAN mit einer teilweisen Überdeckung der Access Points. Sind Access Points zu weit voneinander entfernt, können diese Einstellungen dazu führen, dass einige Clients die Verbindung zum WLAN-Netzwerk verlieren.

### 1.5. Vermeidung von Overhead

Jeder Access Point sendet für jede SSID alle 100 msec ein Beacon. Ein Beacon hat typisch 380 Byte. Beacons werden mit der niedrigsten möglichen Datenrate gesendet (1 Mbit/s). Die Zeit, die der Access Point für das Versenden von Beacons verwendet, ist nicht für den eigentlichen Datenverkehr nutzbar. Daher sollte die Anzahl der SSIDs 3 nicht übersteigen. Bei mehr als 3 SSIDs kann das Beacon Intervall auf 200 msec erhöht werden, was aber das Roaming-Verhalten negativ beeinflusst.

### 1.6. 802.11k/v

Roaming wird in der Regel aufgrund der Signalstärke durchgeführt. Mobile Endgeräte wechseln zum Access Point mit der besten Funkversorgung. Das kann dazu führen, dass funkstarke Access Points aufgrund der hohen Anzahl verbundener Clients überlastet werden. 802.11k ermöglicht lastabhängige Roaming-Entscheidungen, da die Auslastung des Access-Points in die Roaming-Entscheidung miteinbezogen wird.

Mit dem Standard 802.11v können Informationen über die Netzwerktopologie und Funkeigenschaften eines WLAN-Netzwerks ausgetauscht werden. Mit 802.11v kann der Access Point den Client anweisen zu einem anderen Access Point zu wechseln (Load balancing request)

802.11 k/v kann zu einer Erhöhung der Qualität der WLAN-Verbindung und zu einem besseren Roaming-Verhalten führen. Wenn der WLAN-Controller 802.11k/v anbietet, sollte dies aktiviert werden.

## 2. Möglichkeiten zur Optimierung von WiFi 6 und WiFi 6e-Netzwerken

WiFi 6 und WiFi 6e bieten mehrere Neuerungen und Weiterentwicklungen gegenüber WiFi 5. Von den Neuerungen von WiFi 6 und WiFi 6e sind einige für den Einsatz in einem schulischem WLAN-Netzwerk empfehlenswert.

### 2.1. Unterschiede zwischen WiFi 5, WiFi 6 und WiFi 6e Schulen

In der folgenden Übersicht sind nur für die Schule relevanten technischen Weiterentwicklungen und Neuerungen zwischen WiFi 5, WiFi 6 und WiFi 6e gegenübergestellt.

Funktionen	WiFi 5 (802.11ac)	WiFi 6 (802.11ax)	WiFi 6e (802.11ax)
Band	5 GHz	2.4 & 5 GHz	2.4 & 5 GHz & 6 GHz



<b>OFDMA</b>	---	Downlink & Uplink (MU-OFDMA)	Downlink & Uplink (MU-OFDMA)
<b>MU-MIMO</b>	Downlink	Downlink & Uplink	Downlink & Uplink
<b>Frequenzmodulation</b>	256 QAM	1024 QAM	1024 QAM
<b>Mehrfachbelegung von Funkkanälen</b>	---	BSS Coloring	BSS Coloring
<b>Energiespartechniken</b>	STBC U-APSD	STBC U-APSD TWT	STBC U-APSD TWT

Wifi 6 bietet gegenüber WiFi 5 den Vorteil, dass es auch das 2,4 GHz Band umfasst. Daher sind technische Neuerungen von WiFi 6 auch im 2,4 GHz Band verfügbar.

WiFi 6e bietet gegenüber WiFi 6 den großen Vorteil, dass 480 MHz zusätzliche Bandbreite im 6 GHz-Band verfügbar sind. Das sind z.B. 24 zusätzliche Kanäle mit 20 MHz Bandbreite. Weitere Unterschiede gibt es zwischen den WiFi 6e und WiFi 6 nicht.

## 2.2. WiFi 5-Optimierungen übernehmen

Die Optimierungen, die in WiFi 5-Netzwerken angewendet werden, sind auch in WiFi 6 und WiFi 6e-Netzwerken anwendbar. Die wären z.B.

- Protokolle (802.11a/b/g) abschalten, sondern nur 802.11n/ax bzw. 802.11ac/ax verwenden
- Kanalbandbreite 20 MHz oder 40 MHz
- Minimale Datenübertragungsrate von 24 Mbit/s
- RSSI-Schwellenwert zwischen -80 dBm und -85 dBm
- Max. 3 SSIDs
- 802.11 k/v aktivieren

## 2.3. OFDMA

WiFi 5 arbeitet mit dem orthogonalen Frequenzmultiplexverfahren OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Diese Methode ist bei kleinen Datenpaketen ineffizient, da die Access Points die gesamte verfügbare Bandbreite ausnutzen bzw. blockieren. Bei OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) wird der Kanal in verschiedene Fragmente unterteilt. Jedes Fragment kann von einem Client verwendet werden, je nachdem, ob eine Parallelisierung der Datenübertragung und des Herunterladens innerhalb der Bandbreite des Kanals erforderlich ist.

Durch diese Fragmentierung wird verhindert, dass Clients, die kleine Datenpakete übertragen, die Luft-schnittstelle übermäßig belegen und ineffizient nutzen. OFDMA sollte bei WiFi 6 Netzwerken in Schulen aktiviert sein.



## 2.4. MU-MIMO

WiFi 5 unterstützte bereits das MU-MIMO (Multiple User Multiple Input Multiple Output), allerdings nur in Downstream Richtung. WiFi 6 hingegen unterstützt MU-MIMO in Down und Upstream Richtung.

Der Vorteil von MU-MIMO gegenüber von SU-MIMO (Single User Multiple Input Multiple Output) ist die Parallelisierung der Datenübertragung auf alle Antennen. Bei MU-MIMO können alle zur Verfügung stehenden Antennen eines Access Points (z.B. 4 x 4) gleichzeitig genutzt werden, so wird eine Parallelisierung der Datenübertragung ermöglicht und Wartezeiten bei der Übertragung reduziert. MU-MIMO sollte bei WiFi 6 Netzwerken in Schulen aktiviert sein, ebenso wollten Clients MU-MIMO-fähig sein.

## 2.5. Frequenzmodulation (1024-QAM)

Eine weitere Verbesserung bei WiFi 6 stellt die Nutzung von mehr Modulationsstufen als bei früheren WiFi-Technologien dar. Auf diese Weise erhöht sich die Datenrate, bei guten Signal-Rauschverhältnis, im Vergleich zu älteren Standards. 1024 QAM sollte daher bei WiFi 6 Netzwerken in Schulen aktiviert sein.

## 2.6. BSS Coloring

Eines der Hauptprobleme bei der Realisierung von WiFi-Netzwerken mit hoher Nutzerdichte ist die Frequenzüberlappung von Access Points.

Zwei benachbarte Access Points senden auf dem gleichen Kanal, da sie sich nicht sehen können. Ein Client, der die Signale beider Access Points empfängt, wird bei der Übertragung von Daten immer so lange warten, bis alle „sichtbaren“ Access Points keine Daten mehr übertragen. BSS Coloring wird als Technik der räumlichen Frequenzwiederverwendung eingeführt, um es Clients zu ermöglichen, in derartigen Situationen ohne zusätzliche Wartezeiten Daten zu senden. Die Frames erhalten einen BSS-Farbwert.

Der Client kann den BSS-Farbwert in den von beiden Access Points gesendeten Frames überprüfen und mit „seinem“ Access Point kommunizieren, unabhängig von den Frames des anderen Access Points. Diese Funktionalität erhöht die Nutzung der 2,4-GHz-Bandbreite erheblich, da diese Frequenz nur drei nicht überlappende 20-MHz-Kanäle hat. Bei der Nutzung von WiFi 6 im 2,4 GHz Band sollte BSS Coloring aktiviert sein.

## 2.7. TWT (Target Wake Time)

Bis WiFi 5 müssen Smartphones, Tablets oder Notebooks ständig empfangsbereit sein, was bei akkubetriebenen Endgeräten die Laufzeit verkürzt. Wi-Fi 6 und Wi-Fi 6E verbessern mit TWT (Target Wake Time) diese Technik, weil Access Point und Client nun aushandeln, wann genau der Client aufwachen wird, um die Kommunikation mit dem Access Points durchzuführen.

Access Points des WiFi-6-Standards sorgen so für eine zeitlich optimierte Verwaltung der Datenströme und einen geringeren Energieverbrauch. Bei der Nutzung von WiFi 6 an Schulen sollte TWT aktiviert sein.



### 3. Zusammenfassung

Wie können WiFi-Netzwerke an Schulen optimiert werden?

#### WiFi 5

- Protokolle (802.11 a/b/g) abschalten, sondern nur 802.11n/ac bzw. 802.11ac only verwenden
- Kanalbandbreite 20 MHz oder 40 MHz
- Minimale Datenübertragungsrate von 24 Mbit/s
- RSSI-Schwellenwert zwischen -80 dBm und -85 dBm
- Max. 3 SSIDs
- 802.11 k/v aktivieren

#### WiFi 6

- Protokolle (802.11 a/b/g) abschalten, sondern nur 802.11n/ax bzw. 802.11ac/ax verwenden
- Kanalbandbreite 20 MHz oder 40 MHz
- Minimale Datenübertragungsrate von 24 Mbit/s
- RSSI-Schwellenwert zwischen -80 dBm und -85 dBm
- Max. 3 SSIDs
- 802.11 k/v aktivieren
- OFDMA aktiv
- MU-MIMO aktiv
- 1024-QAM aktiv
- BSS Coloring aktiv
- TWT aktiv

#### Infrastruktur

- Access Points mit WiFi 6e
- Endgeräte mit WiFi 6e und MU-MIMO 2x2 Technik