



März 2023

---

# Faktenblatt WLAN

## Wireless Local Area Networks

---

### Zusammenfassung

WLAN (Wireless Local Area Networks) sind kabellose lokale Netzwerke. Sie ermöglichen den bequemen schnurlosen Internetzugang innerhalb eines Gebäudes oder im Garten. In Gebäuden werden mit WLANs je nach Datenrate typischerweise Entfernungen von einigen Zehn Metern überbrückt.

Bereits seit 1997 gibt es mit den IEEE 802.11-Standards (Institute of Electrical and Electronics Engineers) normierte Luftschnittstellen für diese lokalen Funknetze. Diese ersten Systeme erlaubten eine maximale Datenrate von 1 oder 2 Mbit/s brutto. Darauf aufbauend wurden die Standards laufend erweitert, hauptsächlich um die Datenrate zu erhöhen. Heute können mit dem Standard IEEE 802.11ac rein rechnerisch Datenraten von bis zu 6.9 Gbit/s brutto erreicht werden; im Handel sind in der Regel allerdings nur Geräte bis 1.7 Gbit/s anzutreffen. In der Praxis, bei realen Umgebungsbedingungen, wird davon typischerweise 800 Mbit/s übrigbleiben.

Das Ende der Entwicklung von WLAN ist noch lange nicht abzusehen. Der Einsatz von Mehrfachantennen (z.B. Beamforming) ist ein vielversprechender Ansatz zu weiteren Kapazitätssteigerungen. So ermöglicht der IEEE 802.11ax-Standard, der Multi User MIMO im Uplink und Downlink nutzt, Datenraten von bis zu 9.6 Gbit/s brutto.

Für WLAN stehen heute fünf lizenzfreie Frequenzbänder zur Verfügung. Die meistgenutzten Bereiche liegen bei 2.4 GHz und 5 GHz. Seit 2021 ist der Frequenzbereich bei 6 GHz freigegeben. Dies ermöglicht höhere Datenraten, und gleichzeitige Datenströme von mehreren Geräten im Uplink und Downlink über denselben Funkkanal. Dazu kommen die Frequenzbereiche bei 60 GHz für sehr grosse Datenraten über kurze Sichtdistanzen bis etwa 10 Meter sowie bei 900 MHz für relativ kleine Datenraten und relativ grossen Distanzen von bis zu einigen hundert Metern im Freien.

Dieses Faktenblatt konzentriert sich auf die technischen Aspekte von WLAN. Rechtliche Grundlagen finden sie unter: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/geraete-anlagen/besondere-geraete/wlan-rlan.html>.

Fragen und Antworten zu WLAN finden sie unter: [WLAN \(admin.ch\)](#)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Was versteht man unter einem WLAN</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Prinzip eines WLAN</b> .....	<b>1</b>
3.1	Access Point (AP) .....	2
3.2	Mobile Terminal (MT) .....	2
3.3	Dienste .....	3
<b>4</b>	<b>Sicherheit</b> .....	<b>3</b>
4.1	Abhörsicherheit .....	3
4.2	Elektromagnetische Verträglichkeit und Umwelt .....	4
<b>5</b>	<b>Verwendete Standards</b> .....	<b>4</b>
5.1	DECT-basierte WLAN .....	4
5.2	WLAN nach IEEE 802.11 .....	4
5.3	WLAN nach IEEE 802.11b .....	5
5.4	WLAN nach IEEE 802.11g .....	5
5.5	Bluetooth .....	5
5.6	WLAN nach IEEE 802.11a .....	6
5.7	WLAN nach IEEE 802.11h .....	6
5.8	WLAN nach IEEE 802.11n .....	6
5.9	WLAN nach IEEE 802.11ac .....	7
5.10	WLAN nach IEEE 802.11ax .....	7
5.11	WLAN nach IEEE 802.11ad .....	7
5.12	WLAN nach IEEE 802.11ah .....	8
5.13	LTE .....	8
<b>6</b>	<b>Standards, Frequenzen und Sendeleistungen für WLANs in der Schweiz</b> .....	<b>9</b>
6.1	Die ERC/DEC(04)08 auf einen Blick .....	10
6.2	Die ECC Decision (20)01 auf einen Blick .....	10
<b>7</b>	<b>WLAN-Luftschnittstellen</b> .....	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Meldepflichten für WLAN Betreiber</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>16</b>
9.1	Weitere Informationsquellen .....	16
9.2	Abkürzungen .....	16
9.3	Herleitung der Bitraten (brutto) von einigen OFDM-Systemen .....	19

## 1 Einführung

Das Faktenblatt WLAN gibt eine Einführung und Übersicht über die drahtlosen Netzwerke für die interessierte Öffentlichkeit.

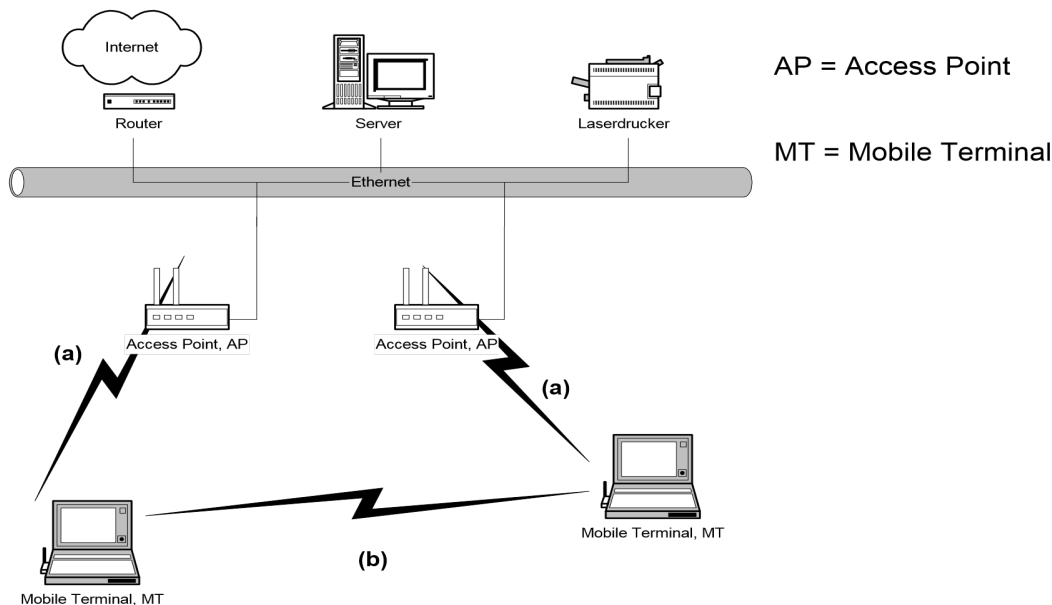
## 2 Was versteht man unter einem WLAN

In der heutigen Zeit sind die Personal-Computer (PC) in den Büros zum grossen Teil vernetzt. Diese Vernetzung erfolgt in den allermeisten Fällen mittels eines Kabels, mit dem der PC mit der Netzwerkanschlussdose in der Nähe des PCs verbunden wird. Je nach verwendetem Netzwerk und Controller bestehen damit Übertragungsraten von 10 Mbit/s, 100 Mbit/s und bis zu einigen Gbit/s.

Seit langem bestand daher der Wunsch, sich von diesem Kabel zu lösen. Die Vorteile liegen auf der Hand: es muss keine aufwendige Kabelinstallation in den Büros durchgeführt werden und man kann seinen PC resp. Laptop überall im Büro einsetzen. Durch die Möglichkeiten der Informatik und der immer weiter getriebenen Integration im Halbleiterbereich wurde es nun möglich, diesen Wunsch zu verwirklichen. Heute stehen drahtlose Netzwerke zu erschwinglichen Preisen für jedermann zur Verfügung.

Die Begriffe Radio Local Area Network (RLAN) und Wireless Local Area Network (WLAN) sind gleichbedeutend.

## 3 Prinzip eines WLAN



**Abbildung 1: WLAN-Netzwerk**

Mit dem WLAN können Verbindungen zwischen dem Mobile Terminal und dem Access Point aufgebaut werden (a). Damit wird das Mobile Terminal Teil des Ethernets und kann auf alle angeschlossenen Geräte wie Drucker, Server, Internetanschluss etc. zugreifen.

Ist keine Infrastruktur vorhanden, so können Direktverbindungen zwecks Datenaustausch (b) zwischen mehreren Mobile Terminals aufgebaut werden.

Dabei ist die Reichweite der drahtlosen Verbindung von verschiedenen Faktoren abhängig wie:

- Sendeleistung
- Interferenzsituation (mit anderen Teilnehmern, optimierbar durch Netzwerkdesign)

- Datenübertragungsrate (Modulationsart)
- Umgebung (innerhalb oder ausserhalb des Hauses, Sichtverbindung)

Man kann dabei von folgenden Voraussetzungen ausgehen:

- je höher die Übertragungsrate, desto kürzer die Reichweite
- je mehr Hindernisse zwischen den drahtlosen Teilnehmern und Access-Points, desto kürzer die Reichweite
- je mehr Teilnehmer gleichzeitig aktiv sind, desto kleiner die Datenrate

Dies erklärt, warum die Datenübertragungsrate bei grösserer Entfernung oder gegenseitiger Störung (Interferenz) abnimmt.

Bei der Datenübertragungsrate handelt es sich im Übrigen um die maximale Datenrate in beiden Richtungen. Diese Datenrate teilt sich auf die einzelnen Teilnehmer, die diesen Kanal benutzen, auf. Je mehr Teilnehmer diesen Kanal benutzen desto geringer ist die Datenrate für jeden einzelnen Teilnehmer. Ausserdem müssen noch Overhead und Zugriffsverluste berücksichtigt werden. Dies führt zu einer reduzierten nutzbaren Datenrate.

### 3.1 Access Point (AP)

Der Access-Point ist die Schaltstelle im WLAN. Über ihn werden die drahtlosen Teilnehmer mit der Festnetzwelt verbunden, d.h. der Access-Point wird normalerweise an das Ethernet angeschlossen.

Vielfach sind im Access-Point weitere Funktionen integriert so z.B.

- ADSL / Kabelmodem
- 10/100 MHz LAN-Anschluss
- Router
- Printserver

Auf dem Access-Point können auch zusätzliche Software-Funktionen vorhanden sein wie z.B.

- Firewall
- Zugriffskontrolle
- Passwortschutz
- Verschlüsselung

### 3.2 Mobile Terminal (MT)

Für die Teilnehmeranbindung diente früher bei Notebooks eine PCMCIA-Karte und bei PCs eine eigenständige PCI-Karte, oder eine PCI-Trägerkarte, die wiederum eine PCMCIA-Karte aufnehmen kann. Heute sind die WLAN-Interfaces in den PCs, Notebooks und Smartphones fest integriert.

Der Teilnehmeranschluss kommuniziert über die Luftschnittstelle mit dem Access-Point; über diesen werden Verbindungen auf das kabelgebundene Ethernet hergestellt.

Dank Ad-Hoc Funktion besteht meist auch die Möglichkeit ohne Access-Point direkt Daten auszutauschen.

Das Mobile Terminal ist im eigentlichen Sinne „nur“ ein Portable Terminal, da die Systeme nicht für den mobilen Betrieb ausgelegt sind. Die verschiedenen Standards erlauben jedoch ausnahmslos das Handover von einer Funkzelle zur nächsten.

### 3.3 Dienste

Von eigentlichen Diensten kann bei Wireless LANs nicht gesprochen werden. Käufliche Systeme dienen zur drahtlosen Anbindung von PCs an das Ethernet. Für den Benutzer sind diese Systeme völlig transparent, das heisst, er stellt keinen Unterschied fest ob er über ein Kabel oder drahtlos mit dem Netzwerk verbunden ist. Somit stehen alle Anwendungen und Dienste (Dateiaustausch, Zugriff auf Drucker, Internet, ...) die auf dem Netzwerk verfügbar sind ohne Einschränkung (mit Ausnahme der begrenzten Datenrate) zur Verfügung.

Das Angebot beschränkt sich heute auf LAN-Anwendungen und den Internetzugang mit all seinen Möglichkeiten.

## 4 Sicherheit

### 4.1 Abhörsicherheit

Die Sicherheit ist bei WLAN's ein Thema, da der Zugriff auf die Luftschnittstelle problemlos ohne örtlichen Zutritt möglich ist. Die Reichweite beträgt ca. 100 m, maximal ca. 300 m. In letzter Zeit hat sich jedoch herausgestellt, dass mit entsprechendem Aufwand die Verschlüsselung gebrochen werden kann. Dazu existieren bereits Softwaretools die das Knacken der gängigen Verschlüsselungsverfahren ermöglichen.

Die Verschlüsselungsverfahren arbeiten auf einzelnen oder mehreren Schichten des OSI-Modells mit unterschiedlichen Verfahren. Die Vielfalt dieser Verfahren ist gross.

Die früher weit verbreitete WEP (Wired Equivalent Privacy) Verschlüsselungsmethode, die nach dem RC-4 Algorithmus arbeitet, erwies sich als nicht sicher. Das Verfahren arbeitet mit einem konstanten WEP-Schlüssel und einem variablen, im Funkkanal im Klartext übertragenen, Initialisierungsvektor (IV). Dieser Vektor ist nur 24 Bit lang und wird zufällig erzeugt. Dadurch entsteht relativ häufig derselbe effektive Schlüssel für unterschiedliche Pakete. Durch längeres Zuhören und Beobachten kann der konstante WEP-Schlüssel ermittelt werden. Die Crackertools nutzen genau diesen Schwachpunkt.

Die Weiterentwicklung von WEP mit dem Namen WEP2 genannt, setzt einen 128-Bit Initialisierungsvektor und eine periodische Erneuerung des vorher konstanten WEP-Schlüssels ein. Auch diese Erweiterung gilt nicht als viel sicherer und wurde deshalb bereits wieder verworfen.

Eine sicherere jedoch proprietäre Weiterentwicklung heisst WEPplus. Diese Verschlüsselungsmethode ist dadurch resistenter, dass ein Schlüsselerzeugungsalgorithmus eingesetzt wird, der schwache Schlüssel vermeidet. So ist es aufwändiger den Schlüssel durch Abhören des Funkkanals zu knacken. Allerdings ist es nur eine Frage der Zeit bis ein entsprechendes Softwaretool zur Verfügung steht. WEPplus ist vollständig abwärtskompatibel zu bisherigen WEP-WLAN's.

Fast Packet Keying arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip und wurde vom RC4 Erfinder RSA Data Security entwickelt. Dieser Algorithmus erzeugt für jedes Datenpaket einen 104 Bit langen Paketschlüssel und einen 24 Bit langen Initialisierungsvektor. Das vermeidet die wiederholte Verwendung eines Schlüssels mit demselben Initialisierungsvektor, eines der Hauptprobleme von WEP. Fast Packet Keying ist auch auf Kompatibilität mit bestehender WLAN-Hardware ausgelegt und kann mittels Treiber- und Firmwareupgrade nachgerüstet werden.

Die im Jahr 2004 eingeführte WLAN-Verschlüsselung WPA2 (Wi-Fi Protected Access) ist aktuell der bewährte Standard und bietet auch künftig eine hohe Sicherheit. Das zurzeit aktuellste Verschlüsselungsprotokoll ist WPA3. 2018 eingeführt, verwendet WPA3 das moderne Verschlüsselungsverfahren SAE (Simultaneous Authentication of Equals) und bietet u.a. erhöhte Sicherheit gegen sog. „Wörterbuchangriffe“ und verhindert damit effektiv das automatisierte Ausprobieren von Passwörtern.

Ein Verschlüsselungsprotokoll wird jedoch nicht zwangsläufig vom Betreiber in den WLAN Access Points aktiviert.

Die Funksignale eines WLAN können bis auf eine Entfernung von mehreren hundert Metern empfangen werden, d.h. nicht nur vom Nachbarn. Um Ihre Daten zuverlässig zu schützen, setzen Sie am

besten eine zusätzliche «End-to-End» Sicherheitslösung ein. Eine der erfolgversprechendsten Lösungen stellt im Moment IPSec dar. IPSec ist ein verschlüsseltes TCP/IP Protokoll und setzt voraus, dass der Datenverkehr im Netzwerk ausschliesslich über das IP-Protokoll erfolgt. Dies stellt in den meisten Fällen kein Problem dar, da TCP/IP wegen der Verbreitung von Internet omnipräsent ist. IPSec ist eine der sichersten Verschlüsselungsmethoden für WLAN, setzt aber eine sorgfältige und relativ aufwändige Konfiguration voraus. Leider bringt IPSec unter allen Verfahren den grössten Zuwachs an Overhead und damit eine Einbusse bei der Übertragungsrate.

Auch das HTTPS-Protokoll (Hypertext Transfer Protocol Secure) bietet eine als sicher geltende «End-to-End» Transportverschlüsselung. Ohne Transportverschlüsselung, wie z.B. bei HTTP, sind die über das Internet übertragenen Daten für jeden, der Zugang zum entsprechenden Netz hat, im Klartext lesbar. Bei der Nutzung von offenen (d.h. unverschlüsselten) WLANs nimmt die Bedeutung von HTTPS zu, da damit Inhalte vom Netzwerk unabhängig verschlüsselt werden können.

Auf Stufe Netzwerkzugang sind zusätzlich zu den Verschlüsselungsalgorithmen die üblichen Sicherheitsmechanismen wie Anmeldung durch Username und Passwort, Computerkonto (Identifikation eines PCs über seine MAC-Adresse) und Domänensicherheitsmerkmale aktiv. Alle Sicherheitssysteme, ob einzeln oder kombiniert betrachtet, bieten keinen hundertprozentigen Schutz.

## 4.2 Elektromagnetische Verträglichkeit und Umwelt

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV<sup>1</sup>) ist prinzipiell auch für die drahtlosen Netzwerke anwendbar. Sendeanlagen mit einer äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von weniger als 6 W sind von dieser Verordnung ausgenommen. WLANs haben eine ERP von weniger als 6 W und sind daher von der NISV nicht betroffen.

# 5 Verwendete Standards

## 5.1 DECT-basierte WLAN

Eine einfache Lösung ist die Verwendung des DECT-Standards zur Anbindung von drahtlosen Teilnehmern. DECT ist ein seit Jahren bewährter Standard, der sehr robust und leistungsfähig ist. Er unterstützt zudem das Handover zwischen den Basisstationen sofern diese durch ein Kabel verbunden sind.

Das DPRS-Protokoll (DECT Packet Radio Service) erlaubt Datenraten pro Zeitschlitz von bis zu 76.8 kbit/s (brutto) bei robuster Modulation und bis zu 460.8 kbit/s (brutto) bei höherwertiger Modulation. Es können bis zu 11 Zeitschlitze pro Verbindungsrichtung kombiniert werden, was zu maximalen Datenraten von 844.8 kbit/s (brutto) bei einfacher Modulation und von bis zu 5.07 Mbit/s (brutto) bei höherwertiger Modulation führt.

## 5.2 WLAN nach IEEE 802.11

Durch die IEEE wurde im Jahr 1997 der Standard IEEE 802.11 geschaffen. Er erlaubt eine Datenübertragungsrate von 1 resp. 2 Mbit/s und arbeitet im ISM-Frequenzband 2.4 GHz. In diesem Frequenzbereich (2400 – 2483.5 MHz) stehen 79 Kanäle mit je 1 MHz Bandbreite zur Verfügung.

Diese Kanäle werden beim Frequency-Hopping-Spread-Spectrum System (FHSS) jeweils kurzzeitig (einige ms) belegt; danach erfolgt die Kommunikation auf einem anderen Kanal. Dazu müssen Sender und Empfänger synchron nach einer vorgegebenen Tabelle die Kanäle belegen.

Im gleichen Standard wird auch ein Verfahren mit einer Spreizung der Signalbandbreite um den Faktor 11 beschrieben. Dieses sogenannte Direct-Sequence-Spread-Spectrum-Verfahren (DSSS) verteilt die für die Informationsübertragung eingesetzte Energie auf 22 MHz. Mehrere Verbindungen können

---

<sup>1</sup> <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/38/de>

dann gleichzeitig im gleichen Kanal stattfinden. Für diese Art des Verfahrens stehen im Frequenzbereich 2400 – 2483.5 MHz 13 Trägerfrequenzen mit einem Kanalraster von 5 MHz zur Verfügung.

Um einen problemlosen Betrieb von verschiedenen WLANs am gleichen Ort zu gewährleisten sollten z.B. nur die Kanäle 1, 7 und 13 belegt werden, da sich die Kanäle ansonsten überlappen.

### 5.3 WLAN nach IEEE 802.11b

Im Jahr 1999 wurde durch die Änderung der Modulationsart die Datenrate auf 5.5 resp. 11 MBit/sec. gesteigert. Diese WLANs arbeiten ebenfalls nur im 2.4-GHz-Band. Die Steigerung der Datenrate wird durch den Einsatz von CCK-Spreizcodes (Complementary Code Keying) erreicht, einer Klasse komplexwertiger Spreizcodes. Damit einher geht eine Reduktion der Reichweite. Die im Standard IEEE 802.11 definierten Übertragungsraten werden ebenfalls unterstützt.

Der Standard IEEE 802.11b arbeitet bei den höheren Übertragungsraten ausschliesslich mit DSSS.

### 5.4 WLAN nach IEEE 802.11g

Unter diesem Namen wurde eine Erweiterung des Standards 802.11b erarbeitet. Mit diesem Standard werden maximal 54 Mbit/s im 2.4 GHz ISM-Band erreicht werden.

Die höheren Datenraten werden erreicht indem die Luftschnittstelle (PHY) um zwei Modulations/Codierarten erweitert wurde. Die Erweiterung trägt den Namen Extended-Rate-PHY (ERP). Neu sind die Modulations/Codierarten

- ERP-PBCC: Die Nutzdaten werden mit Hilfe eines Convolutionscoders mit 256 Zuständen codiert und anschliessend mit 8-PSK moduliert. Zudem werden Preamble und Header zeitlich verkürzt, was total Bruttobitraten von 22 und 33 Mbit/s in diesem Modus ergibt.
- DSSS-OFDM: Diese Modulationsart ist ein Hybrid zwischen DSSS und OFDM. Zeitlich verkürzte Preamble und Header werden wie im Standard IEEE 802.11b BPSK moduliert und DSSS gespreizt. Die Nutzdaten werden mit OFDM auf 48 Subcarrier moduliert. Je nach Datenrate werden die Sub-Träger BPSK, QPSK, 16-QAM oder 64-QAM moduliert. Durch Variation der Sub-Trägermodulationsart und der Code-Rate (1/2, 2/3 oder 3/4) ergeben sich Bruttobitraten von 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 oder 54 Mbit/s (siehe auch Kapitel 9.3)

Der Standard IEEE 802.11g ist kompatibel mit Geräten nach IEEE 802.11 und IEEE 802.11b. Zudem sind die OFDM-Parameter denjenigen der WLAN-Systeme im 5-GHz-Band angepasst, was die Herstellung von WLAN-Chipsets ermöglicht, welche das 2.4 und das 5-GHz-Band unterstützen.

### 5.5 Bluetooth

Hinter dem Namen Bluetooth verbirgt sich der Standard IEEE 802.15.1. Bluetooth ist für die Überbrückung kurzer Distanzen (bis 10 m bei 0 dBm EIRP und bis zu 100 m bei 20 dBm EIRP) mit Datenraten von bis zu 1 Mbit/s gedacht. Es gibt drei Leistungsklassen von Geräten, 0, 4 und 20 dBm (1, 2, 5 und 100 mW). Zum Einsatz sollen Bluetooth-Geräte typischerweise in einem Wireless Personal Area Network (WPAN oder PAN) kommen. Ein PAN umfasst die Summe der drahtlos verbundenen Geräte (Mobiltelefon, Organizer, Notebook, Drucker, Fotokamera, Beamer etc.) in unmittelbarer Nähe einer Person. Das Ziel ist die Vereinfachung der Verbindung oben genannter Geräte.

Bluetooth-Verbindungen sind leistungsfähige und robuste Punkt-zu-Punkt-Verbindungen von denen mehrere gleichzeitig aktiv sein können. Denkbar sind sogar Multi-Hop Verbindungen, die die örtliche Ausdehnung eines PANs erweitern, indem dazwischenliegende Geräte als Repeater eingesetzt werden.

Im Gegensatz zu WLAN, das einen nomadischen Zugang zum Firmennetzwerk oder Internet ermöglicht, ist Bluetooth als universeller drahtloser Adapter (z.B. serielle Schnittstelle) gedacht. Das drahtgebundene Pendant wäre die USB-Schnittstelle. Erste Produkte sind drahtlose Headsets zu Mobiltelefonen sowie Drucker- und Videokameraanbindungen an PCs und Notebooks.

Bluetooth ist besonders für einen geringen Energieverbrauch optimiert. Da Bluetooth wie IEEE 802.11 / IEEE 802.11b im 2.4 GHz ISM-Band arbeitet können sich die Systeme gegenseitig stören. Die Kapazität nimmt mit zunehmendem Verkehr ab. Dies ist ein Nachteil, der in konzessionsfreien Bändern in Kauf genommen werden muss.

## 5.6 WLAN nach IEEE 802.11a

Die WLAN nach IEEE 802.11a arbeiten im 5-GHz-Band. Sie bieten Übertragungsraten von 6 Mbit/s bis 24 Mbit/s und optional bis 54 Mbit/s. Das Kanalaraster beträgt 20 MHz. Der Standard sieht zwei Frequenzbänder im 5-GHz-Band mit unterschiedlichen Sendeleistungen vor (siehe auch Kapitel 6).

Damit WLAN Access-Points in Europa das ganze 5-GHz-Band benutzen dürfen, müssen sie die Signale von anderen Funksystemen in diesem Frequenzband erkennen und diesen durch einen Frequenzwechsel ausweichen. Dafür sind im WLAN Access-Point Funktionen für einen dynamischen Frequenzwechsel (Dynamic Frequency Selection– DFS) und eine Sendeleistungsregulierung (Transmit Power Control – TPC) zu implementieren. Als Alternative zu TPC kann auch die Sendeleistung halbiert werden.

Leider fehlen den WLANs nach IEEE 802.11a diese beiden Merkmale. Trotzdem ist der Einsatz von Systemen nach IEEE 802.11a in Europa mit gewissen Einschränkungen möglich. Detailliertere Informationen finden sich beim BAKOM<sup>2</sup>.

Bei den WLANs nach dem Standard IEEE 802.11h (siehe nächstes Kapitel) wurden dann schliesslich dieser Mangel behoben.

## 5.7 WLAN nach IEEE 802.11h

Der Standard entspricht weitestgehend IEEE 802.11a (siehe Kapitel 5.6) und arbeitet im 5-GHz-Band. Die Funktionen DFS und TPC sind hier implementiert. Der Standard darf daher in Europa verwendet werden.

## 5.8 WLAN nach IEEE 802.11n

Dieser Standard wird sowohl im 2.4-GHz- als auch im 5-GHz-Band eingesetzt. Die meisten billigen Geräte sollen jedoch nur das 2.4-GHz-Band unterstützen. Die Funktionen DFS und TPC sind im 5-GHz-Band implementiert und dem Einsatz dieses Standards in Europa steht deshalb nichts im Wege.

Der Standard umfasst WLANs mit einer Bruttobitrate von bis zu 600 Mbit/s, die durch den Einsatz von 4 x 4 MIMO (Multiple Input Multiple Output), 64-QAM-Modulation und einer Bandbreite von 40 MHz erreicht wird (siehe auch Kapitel 9.3 im Anhang). Bei einer guten Funkverbindung wird in der Praxis netto wohl nur etwa die Hälfte davon übrigbleiben.

Wie der Name vermuten lässt werden bei MIMO sowohl beim Access-Point als auch beim Mobile Terminal mehrere Antennen eingesetzt. Bei einem 4 x 4 MIMO sind dies 4 Antennen beim Sender und 4 Antennen beim Empfänger. Über die einzelnen Antennen können unterschiedliche Datenströme (Streams) auf der gleichen Frequenz und für die gleiche Verbindung übertragen werden. Auf der Empfangsseite können die Signale mit Hilfe komplizierter Algorithmen wieder dekodiert werden. Bei einer Verdoppelung der Anzahl Antennen auf beiden Seiten einer Funkverbindung kann damit theoretisch die Datenrate verdoppelt werden, und dies ohne zusätzliche Frequenzressourcen und ohne zusätzliche Sendeleistung.

Durch den Einsatz von MIMO bei IEEE 802.11h kommt damit zur Frequenz- und Zeit- noch eine weitere Dimension hinzu: die Raumdimension. Man spricht daher in diesem Zusammenhang auch von Raum-Multiplex.

Alternativ kann mit einem MIMO-System statt, die Datenrate zu erhöhen, das Signal-zu-Rauschverhältnis und damit die Qualität der Funkverbindung verbessert werden. Durch Aussenden des gleichen

---

<sup>2</sup> [Marktzugang Funkanlagen \(admin.ch\)](#)



kodierten Sendesignals über mehrere Antennen kann die Qualität des Signals am Zellenrand – bei gleicher totalen Sendeleistung aller Antennen zusammen – erheblich verbessert werden (Diversitätsgewinn); allerdings jetzt ohne Erhöhung der Datenrate. Damit wird die Reichweite erhöht.

Als dritte Möglichkeit bietet sich mit MIMO die Möglichkeit des sog. Beamforming an. Die Sendeleistung wird in Richtung zum Empfänger gebündelt und umgekehrt. Damit wird ebenfalls die Reichweite erhöht und die Störung von anderen Teilnehmern wird vermindert.

### 5.9 WLAN nach IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac ist eine Weiterentwicklung von IEEE 802.11n. MIMO-Techniken (nur im Downlink) bis zu 8 x 8 sind mit diesem Standard möglich und die Modulation ist auf 256-QAM erweitert worden. Die maximale Bandbreite beträgt 160 MHz.

Dieser Standard kann im 5-GHz-Band arbeiten. Bruttobitrate von bis zu 6'933 Mbit/s sind theoretisch möglich (siehe Anhang 9.3). Dies wird durch den Einsatz von 8 x 8 MIMO, 256-QAM-Modulation und in einer Bandbreite von 160 MHz erreicht. Bei einer guten Funkverbindung wird in der Praxis netto wohl nur ein Bruchteil davon wirklich benutzt werden können.

Den WLANs nach IEEE 802.11ac fehlen in der Regel leider die Funktionen DFS und TPC die in ganz Europa vorgeschrieben sind (siehe Kapitel 5.6). Deshalb dürfen diese Systeme in Europa im 5-GHz-Band nur auf gewissen Kanälen betrieben werden. Detailliertere Informationen finden sich beim BAKOM<sup>3</sup>.

### 5.10 WLAN nach IEEE 802.11ax

IEEE 802.11ax ist eine Weiterentwicklung von IEEE 802.11ac. OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) und MIMO-Techniken bis zu 8 x 8 (Uplink und Downlink) sind mit diesem Standard möglich und die Modulation ist auf 1024-QAM erweitert worden. Die maximale Bandbreite beträgt 160 MHz.

Dieser Standard kann neben dem 2.4-GHz- und 5-GHz-Band, auch im 6-GHz-Band arbeiten. Bruttobitraten von bis zu 9607 Mbit/s sind theoretisch möglich<sup>4</sup>. Das Hauptmerkmal von 802.11ax ist die OFDMA Technik, die TDMA und FDMA kombiniert ähnlich wie bei den 4G- und 5G-Mobilfunknetzen. Weitere Verbesserungen bei der Nutzung des Spektrums sind bessere Methoden zur Leistungssteuerung, um Interferenzen mit benachbarten Netzen zu vermeiden, 1024-QAM-Modulation, MIMO in beiden Richtungen (Uplink und Downlink) und MU-MIMO, um den Durchsatz weiter zu erhöhen.

### 5.11 WLAN nach IEEE 802.11ad

IEEE 802.11ad wird auch als Wireless Gigabit - kurz WiGig - bezeichnet und erlaubt schnelle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. WLANs nach IEEE 802.11ad werden im Frequenzbereich um 60 GHz betrieben. Wegen der hohen Sendefrequenz werden die Signale auf der Funkschnittstelle stark gedämpft. Darum, und wegen der relativ kleinen Sendeleistung, beträgt die Reichweite mit diesem Standard nur ca. 10 m. Zusätzlich muss zwischen Sender und Empfänger Sichtkontakt bestehen. Bei grösseren Distanzen wechselt die Verbindung automatisch auf einen Standard mit reduzierter Datenrate im 2.4-GHz oder 5-GHz-Bereich.

Auf einem der vier rund 2 GHz breiten Funkkanälen sind je nach Distanz Datenraten von 385 bis 4'620 Mbit/s brutto (Single-Carrier-Mode) oder von 693 bis 6'757 Mbit/s brutto (OFDM) möglich.

---

<sup>3</sup> <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/geraete-anlagen/besondere-geraete/wlan-rlan.html>

<sup>4</sup> <https://ieeexplore.ieee.org/document/9442429>

Vom Standard wird ein leistungsfähiges Beamforming unterstützt. Dafür sind die hier verwendeten hohen Frequenzen gut geeignet, da viele Antennen auf kleiner Fläche angebracht werden können. Damit kann die Sendeleistung gezielt zum entsprechenden Empfänger gerichtet werden und Interferenzen in benachbarte Systeme werden minimiert (siehe auch Kapitel 5.8).

## 5.12 WLAN nach IEEE 802.11ah

Der Standard IEEE 802.11ah ist für IoT (Internet of Things) Anwendungen ausgelegt und ist entsprechend für geringen Stromverbrauch, verhältnismässig grosse Reichweite und auch geringe Bandbreite (kleine Datenraten) konzipiert. Mit diesem neuen Standard könnten Geräte vernetzt werden, die beispielsweise batteriebetrieben sind, nicht permanent Daten senden und keine hohe Übertragungsrate benötigen. Damit steht diese Technologie in Konkurrenz zu Technologien wie Bluetooth oder Zigbee. Die WiFi Alliance hat den Standard IEEE 802.11ah verabschiedet und ihm den Namen «HaLow» verliehen.

In Europa arbeitet HaLow im Frequenzbereich 863 – 870 MHz. Der Standard sieht Übertragungsbandbreiten von 1 und 2 MHz vor. Optional können noch 4, 8 und 16 MHz eingesetzt werden, wobei aufgrund verfügbarer Bandbreiten in den unlicenzierten Bändern die Bandbreiten 8 und 16 MHz nur in den USA und in China verwendet werden können. Im Up- und Downlink beträgt die Datenrate 150 kbit/s bis 346.6 Mbit/s. Ausserhalb von Gebäuden sind Reichweiten bis 1 km möglich.

## 5.13 LTE

Der Mobilfunkstandard LTE wird stetig erweitert, so dass Geräte dieses Standards zusätzlich zur mobilen Datenkommunikation in lizenzierten Bändern auch für eine Datenübertragung über kurze Distanzen in lizenzfreien Bändern eingesetzt werden können. Auf diese Weise kann ein LTE-Mobilfunkgerät ohne Beeinträchtigung einer momentanen Datenübertragung bei Bedarf automatisch auf eine WLAN-Übertragung um, bzw. eine WLAN-Übertragung zuschalten. Mit dieser Evolution des LTE-Standards im Gremium 3GPP wurde und wird LTE mit den folgenden Funktionen erweitert:

- LTE-License Assisted Access (LTE-LAA): Bei dieser Technologie macht man sich die Eigenschaft von LTE zunutze, welche es erlaubt die Datenübertragung gleichzeitig über verschiedenen Frequenzbänder zu verteilen. So wird der Datenverkehr immer über eine primäre und eine sekundäre Funkzelle übertragen. Dabei arbeitet die primäre Funkzelle im lizenzierten Frequenzbereich, während die sekundäre den lizenzfreien 5-GHz-Frequenzbereich mit einer maximalen Übertragungsbandbreite von 20 MHz nutzt. Dabei wird unterschieden zwischen den Betriebsarten „supplemental downlink“, wo nur die Kapazität des Downlinks und „Carrier aggregation“ wo die Kapazität des „Up“- und „Downlinks“ durch die Benützung des 5-GHz-Spektrums vergrössert wird. Die Parameter der Luftschnittstelle für die primäre wie sekundäre Funkzelle sind bis auf die Sendeleistung prinzipiell identisch. Einzig für die Luftschnittstelle der sekundären Funkzelle werden zusätzliche Fähigkeiten zur Sicherstellung der Kompatibilität mit den im 5 GHz-Band bereits existierenden Systeme gefordert. So darf der Sender der sekundären Zelle, analog zu allen anderen WLAN, erst Funksignale senden wenn sichergestellt ist, dass der Funkkanal nicht durch ein anderes System bereits besetzt wird.
- LTE-WLAN Aggregation (LTE-LWA) ist eine Spezifikation welche analog zu LTE-LAA zur Übertragung der Daten zusätzlich zu den Frequenzen in lizenzierten Bändern noch Frequenzen aus dem unlicenzierten 5-GHz-Band nutzt. Dabei verwendet das Mobilfunkgerät direkt Signale von 5-GHz WLAN Access Points. Zukünftig, mit der Fertigstellung des 3GPP rel 14, sollen LTE-Geräte so spezifiziert sein, dass neben den Signalen im 5-GHz-Band auch noch Signale aus dem 60-GHz-Band verwendet werden können. Wie schon bei LTE-LAA ist auch für LTE-LWA immer gleichzeitig zur Verbindung über die sekundäre auch eine Verbindung über eine primäre Funkzelle, also eine Verbindung in einem lizenzierten Frequenzband, erforderlich.

Neben den LTE-Erweiterungen für den Betrieb in unlicenzierten Bändern, treiben Hersteller die Entwicklung für LTE basierte Systeme in unlicenzierten Bändern voran. Dabei ist MultiFire ein entspre-

chender Standard der LTE basierte Systeme vorsieht, welche in unlizenzieren Frequenzbändern arbeitet ohne dass eine Verbindung über eine primäre LTE-Funkzelle in einem lizenzierten Band erforderlich ist.

## 6 Standards, Frequenzen und Sendeleistungen für WLANs in der Schweiz

In der Schweiz dürfen drahtlose Netzwerke betrieben werden, die die folgenden Standards erfüllen:

- DECT
- Im 2.4 GHz Band alle Geräte die Norm EN 300 328-2 erfüllen, darunter fallen IEEE 802.11, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g
- Im 5-GHz-Band alle Geräte welche die Norm EN 301 893 erfüllen und in den Rahmen der ERC/DEC(04)08<sup>5</sup> (siehe Decides 1. – 6.) fallen. Darunter fallen IEEE 802.11h und IEEE 802.11n. Mit bestimmten Massnahmen auch IEEE 802.11a und IEEE 802.11ac.
- Im 6-GHz-Band alle Geräte welche die Norm EN 303 687<sup>6</sup> erfüllen und in den Rahmen der ECC Decision (20)01<sup>7</sup> fallen. Darunter fällt IEEE 802.11ax.
- Bluetooth

Die für WLAN-Systeme freigegebenen konzessionsfreien Frequenzbereiche liegen im 800-MHz, 2.4-GHz-, 5-GHz- und 60-GHz Frequenzband. In diesen Bändern besteht kein Schutz vor Störungen. Die folgenden Frequenzbereiche und Sendeleistungen stehen in der Schweiz für WLAN-Systeme zur Verfügung:

Frequenzband	Frequenzbereich	max. EIRP [mW]
2.4-GHz-Band (ISM-Band)	2400 – 2483.5 MHz	100
5-GHz-Band	5150 - 5350 MHz <sup>a)</sup>	200
5-GHz-Band	5470 - 5725 MHz	1'000
6-GHz-Band	5945 – 6425 MHz	200 (Low Power Indoor) 25 (Very Low Power)
60-GHz-Band	57 - 66 GHz	20/MHz, max 10'000
800-MHz-Band	863 - 868 MHz	25

a) WLANs nach Norm EN 301 893 und beschränkt auf in-Haus-Anwendungen (indoor use).

Die technischen Schnittstellen-Anforderungen definieren eine der Bedingungen für den Marktzugang von Funkanlagen. Sie beschreiben die Frequenzcharakteristik und die Funkparameter, sowie die zulässigen Messprozeduren. Für WLANs sind technische Schnittstellen-Anforderungen<sup>8</sup> rechtsverbindlich.

Auf dem Markt sind Antennen mit Richtwirkung für WLANs erhältlich oder werden teilweise selber hergestellt. Solche Antennen können dazu dienen, gegenseitige Störungen verschiedener Systeme oder Nachbarzellen zu reduzieren, womit die Reichweite oder der Datendurchsatz steigt. Der Betrieb einer Anlage mit einer solchen Antenne ist jedoch nur zulässig, sofern die maximale Sendeleistung EIRP den in obenstehender Tabelle nicht überschreitet. Der Benutzer der Anlage ist dafür verantwortlich,

<sup>5</sup> <https://docdb.cept.org/document/415>

<sup>6</sup> [EN 303 687 - V1.0.0 - 6 GHz WAS/RLAN; Harmonised Standard for access to radio spectrum \(etsi.org\)](https://www.etsi.org/standards-store/standard/EN-303-687-V1-0-0-6-GHz-WAS/RLAN-Harmonised-Standard-for-access-to-radio-spectrum)

<sup>7</sup> <https://docdb.cept.org/document/16737>

<sup>8</sup> <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/geraete-anlagen/besondere-geraete/wlan-rlan.html>

dass die gültigen Bestimmungen (EIRP, in-Haus für 5 GHz, etc.) eingehalten werden. Das heisst für die Praxis, dass die Sendeleistung reduziert werden muss, wenn eine Richtantenne eingesetzt wird.

### 6.1 Die ERC/DEC(04)08 auf einen Blick

Die folgende Tabelle enthält die Anforderungen an WLAN Geräte der europäischen Entscheidung ERC/DEC(04)08.

Frequency range	5150 – 5250 MHz	5250 – 5350 MHz	5470 – 5725 MHz
Indoor or Outdoor use	Indoor only	Indoor only	Indoor and Outdoor
Max. mean EIRP	200 mW	200 mW	1000 mW
Max. mean EIRP density	10 mW in any 1 MHz	10 mW in any 1MHz	50 mW in any 1 MHz
Required standard compliance	EN 301 893	EN 301 893	EN 301 893
TPC or 3 dB power reduction required	no	yes	yes
DFS complying with ITU-R M.1652 Annex 1	no	yes	yes
Uniform random channel selection	yes	yes	yes

### 6.2 Die ECC Decision (20)01 auf einen Blick

Die folgenden Tabellen enthalten die Anforderungen an WLAN Geräte der europäischen Entscheidung ECC Decision (20)01.

#### Low Power Indoor (LPI) devices

Parameter	Technical conditions
<b>Permissible operation</b>	Restricted to indoor use only (including trains where metal coated windows (note 1) are fitted and aircraft) Outdoor use (including in road vehicles) is not permitted.
<b>Category of device</b>	An LPI access point or bridge that is supplied power from a wired connection, has an integrated antenna and is not battery powered. An LPI client device is a device that is connected to an LPI access point or another LPI client device and may or may not be battery powered.
<b>Frequency band</b>	5945-6425 MHz
<b>Channel access and occupation rules</b>	An adequate spectrum sharing mechanism shall be implemented.
<b>Maximum mean e.i.r.p. for in-band emissions (note 2)</b>	23 dBm
<b>Maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 2)</b>	10 dBm/MHz

<b>Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz (note 2)</b>	-22 dBm/MHz
Note 1: Or similar structures made of material with comparable attenuation characteristics.	
Note 2: The "mean e.i.r.p." refers to the e.i.r.p. during the transmission burst, which corresponds to the highest power, if power control is implemented.	

### Very Low Power (VLP) devices

Parameter	Technical conditions
<b>Permissible operation</b>	Indoors and outdoors Use on drones is prohibited
<b>Category of device</b>	The VLP device is a portable device
<b>Frequency band</b>	5945-6425 MHz
<b>Channel access and occupation rules</b>	An adequate spectrum sharing mechanism shall be implemented.
<b>Maximum mean e.i.r.p. for in-band emissions (note 1)</b>	14 dBm
<b>Maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 1)</b>	1 dBm/MHz
<b>Narrowband usage maximum mean e.i.r.p. density for in-band emissions (note 1) (note 2)</b>	10 dBm/MHz
<b>Maximum mean e.i.r.p. density for out-of-band emissions below 5935 MHz (note 1)</b>	-45 dBm/MHz (note 3)
Note 1: The "mean e.i.r.p." refers to the e.i.r.p. during the transmission burst, which corresponds to the highest power, if power control is implemented.	
Note 2: Narrowband (NB) devices are devices that operate in channels bandwidths below 20 MHz. Narrowband devices also require a frequency hopping mechanism based on at least 15 hop channels to operate at a PSD value above 1 dBm/MHz.	
Note 3: ECC will study the appropriateness of this level of OOBE by 31/12/2024. In absence of the justified evidence, a value of -37 dBm/MHz will be adopted from 1 January 2025.	

## 7 WLAN-Luftschnittstellen

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Übersicht über die Luftschnittstellen der WLAN-Systeme.

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)
DECT	1.88 - 1.90	10	0.864 (3dB)	0.8448 (GFSK) ⋮ 5.07 (64-QAM)	GFSK (B·T=0.5) π/2-DBPSK π/4-DQPSK ⋮ 16-QAM 64-QAM	no spreading	TDMA/FDM	250	300
Bluetooth	2.4 - 2.4835	79	1	1	GFSK	FHSS	TDD/FH	1 / 2.5 / 100	2 - 100
IEEE 802.11	2.4 - 2.4835	79	1	1	2-level-GFSK	FHSS	CSMA/CA	100	20 - 100
			1	2	4-level-GFSK				
		13	22	1	DBPSK	DSSS			
			22	2	DQPSK				
IEEE 802.11b	2.4 - 2.4835	13	22	1	DBPSK	DSSS	CSMA/CA	100	40 - 100
			22	2	DQPSK				
			22	5.5, 11	DBPSK / CCK / PBCC	DSSS			
IEEE 802.11g	2.4 - 2.4835	13	22	1	DBPSK	DSSS	CSMA/CA	100	40 - 140
			22	2	DQPSK				
			22	5.5, 11	DQPSK / CCK / PBCC				
			22	22, 33	8-PSK / ER-PBCC				
		3 / 7 <sup>d</sup> )	22	6, 9	BPSK	DSSS / OFDM			

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)		
			22	12, 18	QPSK						
			22	24, 36	16-QAM						
			22	48, 54	64-QAM						
IEEE 802.11a	5.15 - 5.25 <sup>a)</sup> 5.25 - 5.35 <sup>a) c)</sup>	4 <sup>a)</sup>	20	same as IEEE 802.11h	same as IEEE 802.11h	OFDM 64 subcarriers ( $\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120		
	5.47 - 5.725 <sup>c)</sup>	15 <sup>c)</sup>						1000			
IEEE 802.11h	5.15 - 5.35 <sup>a)</sup>	8 <sup>a)</sup>	20	6, 9 <sup>b)</sup>	BPSK	OFDM 64 subcarriers ( $\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120		
				12, 18 <sup>b)</sup>	QPSK						
				24, 36 <sup>b)</sup>	16-QAM						
	5.47 - 5.725	11		48 <sup>b)</sup> , 54 <sup>b)</sup>	64-QAM <sup>b)</sup>			6, 9 <sup>b)</sup>		BPSK	1000
				12, 18 <sup>b)</sup>	QPSK						
				24, 36 <sup>b)</sup>	16-QAM						
				48 <sup>b)</sup> , 54 <sup>b)</sup>	64-QAM <sup>b)</sup>						
IEEE 802.11n	2.4 - 2.4835	8 x 20 MHz 4 x 40 MHz	20 40	150 (1 stream) 300 (2 streams) 450 (3 streams) 600 (4 streams)	BPSK QPSK ⋮ 64-QAM	4 x 4 MIMO OFDM 128 subcarriers ( $\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	100	70 - 250		
	5.15 - 5.35 <sup>a)</sup>	19 x 20 MHz 9 x 40 MHz						Indoors 200			
	5.47 - 5.725							1000			
IEEE 802.11ac (Gigabit WLAN)	5.15 - 5.25 <sup>a)</sup> 5.25 - 5.35 <sup>a) c)</sup>	2 x 80 MHz 1 x 160 MHz	20 40 80 160 (optional)	867 (1 stream) 1'733 (2 streams) 2'600 (3 streams) 3'467 (4 streams) 6'933 (8 streams)	BPSK QPSK ⋮ 256-QAM	8 x 8 MIMO OFDM 512 subcarriers ( $\Delta f = 312.5$ kHz)	CSMA/CA / TDMA/TDD	Indoors 200	40 - 120		
	5.47 - 5.725 <sup>c)</sup>							1000			
IEEE 802.11ax	2.4 - 2.4835	8 x 20 MHz 4 x 40 MHz	20 40 80 160	1'201 (1 stream) 2'402 (2 streams) 3'603 (3 streams) 4'803 (4 streams) 6'005 (5 streams) 7'205 (6 streams) 8'406 (7 streams)	BPSK QPSK ⋮ 1024-QAM	8 x 8 MIMO UL/DL OFDM 2048 subcarriers ( $\Delta f = 78.125$ kHz)	OFDMA	100	40 - 120		
	5.15 - 5.25 <sup>a)</sup> 5.25 - 5.35 <sup>a) c)</sup>	2 x 80 MHz 1 x 160 MHz						Indoors 200			
	5.47 - 5.725 <sup>c)</sup>							1000			
	5.945-6.425	24 x 20 MHz						25			

Standard	Frequency-range (GHz)	Number of channels	Bandwidth (MHz)	PHY Datarate (/s)	Modulation	Spreading	Channel access	max. Transmit power (mW EIRP)	Range (m)
		12 x 40 MHz 6 x 80 MHz 3 x 160 MHz		9'607 (8 streams)				Indoors 200	
IEEE 802.11ad (Wigig)	57 - 66	4	1'830.5	385 - 4'620 (SC) 693 - 6'757 (OFDM)	SC: $\pi/4$ -BPSK $\pi/4$ -QPSK $\pi/4$ -16-QAM Spread QPSK  OFDM: QPSK 16-QAM 64-QAM	SC: 1'760 Msym/s  OFDM: 355 act. subcarrier ( $\Delta f = 5.15625$ MHz)	TDMA/LBT	1000	10
IEEE 802.11ah (HaLow)	863 - 868 MHz	5 (1 MHz) 2 (2 MHz)	1 2	up to 8'670	BPSK QPSK ⋮ 256-QAM	OFDM 64 subcarrier ( $\Delta f = 31.25$ kHz)	CSMA/CA/ TDMA/TD	25 e.r.p.	<1000
LTE-LAA	5.15 - 5.35 5.47 - 5.725	10 x 20 MHz 12 x 20 MHz	20 20	max. 100.8	QPSK 16 QAM 64 QAM	OFDM ( $\Delta f = 15$ kHz)	TDD / LBT	200	40-120

- a) Nur indoors erlaubt
- b) Optional
- c) *wegen fehlender Mitigations-Techniken TPC und DFS (gemäss ERC/DEC(04)08, Decides 1.- 6. resp. EN 301 893) in ganz Europa nicht erlaubt*
- d) überlappend



## 8 Meldepflichten für WLAN Betreiber

Oftmals wird die Frage nach einer Registrierungspflicht von Nutzern eines öffentlichen WLAN Hotspots gestellt.

Das Fernmelderecht sieht keine Melde- oder Registrierungspflicht von Nutzern der Kommunikationsmittel vor. Die beim BAKOM gemeldeten Fernmeldediensteanbieterin (FDA) oder bekannte WLAN Zugangsanbieterinnen werden in der Regel durch Stellen des EJPD (Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements) kontaktiert um die Überwachung im Post- und Fernmeldewesen sicherzustellen. Hierzu kann das BAKOM keine Auskünfte erteilen, Sie sind daher gebeten sich an die zuständigen Stellen zu wenden. Weitere Informationen hierzu finden Sie unter: [www.li.admin.ch](http://www.li.admin.ch)

In Bezug auf WLAN-Hotspots ist festzuhalten, dass der überwiegende Teil solcher Internetzugänge keinen Fernmeldedienst nach dem Fernmelderecht darstellt, da diese sich in der Übertragung auf eine oder angrenzende Liegenschaften begrenzen. Der eigentliche Fernmeldedienst des Internetzugangs wird dabei durch eine FDA ab der Liegenschaft und dem zugehörigen Netzabschlusspunkt erbracht. Dies entspricht in der Analogie der Beurteilung für Telefonanlagen von Gastbetrieben oder Unternehmen in der Vergangenheit.

Sobald ein Unternehmen Kommunikationsdienste an Dritte über mehrere Liegenschaften hinweg anbietet, die nicht der firmeninternen Kommunikation dienen, muss von einem Fernmeldedienst ausgegangen werden. Dabei ist anzumerken, dass das bloße Überlassen bzw. gewähren eines Zugangs zu einer Leistung einer gemeldeten FDA kein aktives Angebot darstellt, es müsste sich also als eigene Dienstleistung gegenüber einem Kunden darstellen um eine Meldepflicht zu begründen. Dies wird beispielsweise angenommen, wenn Gastbetriebe die im Angebot enthaltenen Kommunikationsleistungen für Gäste zunächst innerhalb der Gruppe (z.B. Hotelkette) über eigene (virtuelle) Infrastrukturen zusammenführen und an einem entfernten Ort an eine andere FDA übergeben.

Seit 2021 registriert und publiziert das BAKOM nur noch FDA, die bestimmte Ressourcen unter nationaler Verwaltung der Schweiz für die Dienste verwenden, z.B. im Rahmen einer Funkkonzession.

Die zulässigen Funkfrequenzen bei WLAN bedürfen keiner Konzession. Werden Fernmeldedienste mittels WLAN erbracht begründet das nicht eine ordentliche Registrierung und Publikation als FDA beim BAKOM. Aus anderen Gründen registrierte FDA müssen Fernmeldedienste mittels WLAN als «Lokal RAN» ausweisen.

Weiterführende Fragen zur Registrierung und Publikation der FDA beantwortet Ihnen unser Faktenblatt zu dem Thema, abzurufen unter folgender Webadresse:

[www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/fernmeldediensteanbieter/registrierung-und-publikation-als-fda.html](http://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/fernmeldediensteanbieter/registrierung-und-publikation-als-fda.html)

## 9 Anhang

### 9.1 Weitere Informationsquellen

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee	<a href="http://www.ieee802.org">http://www.ieee802.org</a>
ETSI, EP BRAN	<a href="http://www.etsi.org">http://www.etsi.org</a> , <a href="http://pda.etsi.org/pda/queryform.as">http://pda.etsi.org/pda/queryform.as</a>
BAKOM	<a href="http://www.bakom.ch">http://www.bakom.ch</a>
Elektronik Kompendium	<a href="http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0610051.htm">http://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0610051.htm</a>

### 9.2 Abkürzungen

3GPP	3rd Generation Partnership Projekt
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
AP	Access-Point
ARQ	Automatic repeat request
ATM	Asynchron Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CCK	Complementary Code Keying
CDMA <sup>a)</sup>	Code Division Multiple Access
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
dB	Dezibel
dBc	Dezibel relativ zum Carrier
dBm	Dezibel bezogen auf ein Milliwatt
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DES	Data Encryption Standard
DFS	Dynamic frequency selection
DPRS	DECT Packet Radio Service
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DS	Direct Sequence
DSSS	Direct sequence spread spectrum
EiRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ERP	Effective radiated power
ER-PBCC	Extended Paket Binary Convolutional Coding
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDA	Fernmeldedienstanbieterin
FDD	Frequency division duplex
FDMA <sup>b)</sup>	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward error correction
FH	Frequency hopping

FHSS	Frequency hopping spread spectrum
FSK	Frequency shift keying (4FSK = 4 level FSK)
FTP	File Transfer Protocol
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communication
HF	High Frequency
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protokoll
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local area network
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunk der 3. Generation)
LTE-LAA	LTE-License Assisted Access
LTE-LWA	LTE-WLAN Aggregation
MAC	Media Access Control (OSI Layer 2)
MAN	Metropolitan Area Network
Mbit/s	Megabit ( $10^6$ Bit) pro Sekunde
MIMO	Multiple Input Multiple Output (Mehrfachantennen)
m-PSK	Phase Shift Keying with m-phase states
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA <sup>d)</sup>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Private Area Network
PBCC	Packet Binary Convolutional Coding
PC	Personal Computer
PHY	physikalische Luftschnittstelle (OSI Layer 1)
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RLAN	Radio local area network
SAE	Simultaneous Authentication of Equals
SC	Single Carrier
SHA	Secure Hash Algorithm
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA <sup>c)</sup>	Time Division Multiple Access
TPC	Transmit power control
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

USB	Universal Serial Bus
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Private Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

- a) Codemultiplex (CDMA); in diesem Verfahren werden den einzelnen Teilnehmern Codes zugeteilt. Das zu übertragende Signal wird mit diesem Code gespreizt und ausgesendet. Im Empfänger wird das Signal mit dem gleichen Code wieder entspreizt und so das ursprüngliche Signal zurückgewonnen. Die Bandbreite des zu übertragenden Signals kann durch Zuteilung entsprechender Codes gewählt werden. Bei diesem Verfahren senden Zentralstationen und Teilnehmerstationen kontinuierlich, wobei das Sendesignal leicht über dem absolut notwendigen Minimum gehalten wird.
- b) Frequenzmultiplex (FDMA); in diesem Verfahren werden die einzelnen Verbindungen auf separaten Frequenzen übertragen. Die Bandbreite der einzelnen Verbindungen können dynamisch je nach Verkehrsaufwand angepasst werden. Bei diesem Verfahren senden die Zentralstation und die Teilnehmerstation während der Verbindungsdauer kontinuierlich.
- c) Zeitmultiplex (TDMA); in diesem Verfahren werden den einzelnen Teilnehmern Zeitschlitze zur Verfügung gestellt, während denen sie ihre Daten übertragen. Für höhere Datenraten können mehrere Zeitschlitze kombiniert werden. Bei diesem Verfahren sendet die Zentralstation normalerweise dauernd, die Teilnehmerstation im Takt der ihr zugewiesenen Zeitschlitze.
- d) Kombinierte Frequenz- und Zeitmultiplexing (OFDMA); in diesem Verfahren werden den einzelnen Teilnehmern die Ressourcen im Zeit-Frequenz-Raum aufgeteilt werden, was die gleichzeitige Datenübertragung von mehreren Benutzern ermöglicht;

Zusätzlich zu den obengenannten Zugriffsverfahren existieren Kombinationen wie z.B. CDMA mit TDMA.

### 9.3 Herleitung der Bitraten (brutto) von einigen OFDM-Systemen

Standard IEEE		2.4 GHz		5 GHz		2.4 GHz / 5 GHz				5 GHz											
Band		20		20		20		40		20		40		80		160					
Bandwidth [MHz]		20		20		20		40		20		40		80		160					
Subcarrier total		64		64		64		64		128		128		256		256		512		512	
Subcarrier spacing [kHz]		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5		312.5	
Pilot subcarrier		4		4		4		4		6		6		8		8		16		16	
Null subcarrier		12		12		8		8		14		14		14		14		28		28	
Data subcarrier		48		48		52		52		108		108		108		234		234		468	
Symbol time [μs]		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2	
Guard interval [μs]		0.8		0.8		0.8		0.4		0.8		0.4		0.8		0.4		0.8		0.4	
Block time [μs]		4.0		4.0		4.0		3.6		4.0		3.6		4.0		3.6		4.0		3.6	
PHY overhead		45%		45%		39%		30%		36%		27%		39%		30%		36%		27%	
Symbol rate [MSym/s]		12		12		13.0		14.44		27.0		30.0		13.0		14.44		27.0		30.0	
Modulation		BPSK		QPSK		16-QAM		64-QAM		256-QAM		256-QAM		256-QAM		256-QAM		256-QAM		256-QAM	
Coding rate		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4		3/4	
MIMO		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1	
Bitrate [MBit/s]		6		6		6.50		7.22		13.5		15.0		6.50		7.22		13.50		15.00	
Bitrate [MBit/s]		9		9		9.75		10.83		20.3		22.5		9.75		10.83		20.25		22.50	
Bitrate [MBit/s]		12		12		13.00		14.44		27.0		30.0		13.00		14.44		27.00		30.00	
Bitrate [MBit/s]		18		18		19.50		21.67		40.5		45.0		19.50		21.67		40.50		45.00	
Bitrate [MBit/s]		24		24		26.00		28.89		54.0		60.0		26.00		28.89		54.00		60.00	
Bitrate [MBit/s]		36		36		39.00		43.33		81.0		90.0		39.00		43.33		81.00		90.00	
Bitrate [MBit/s]		48		48		52.00		57.78		108.0		120.0		52.00		57.78		108.00		120.00	
Bitrate [MBit/s]		54		54		58.50		65.00		121.5		135.0		58.50		65.00		121.50		135.00	
Bitrate [MBit/s]		65.00		72.22		135.00		150.00		65.00		72.22		135.00		150.00		292.5		325.0	
Bitrate [MBit/s]		78.00		86.67		162.00		180.00		78.00		86.67		162.00		180.00		351.0		390.0	
Bitrate [MBit/s]		86.67		96.30		180.00		200.00		86.67		96.30		180.00		200.00		390.0		433.3	
Bitrate [MBit/s]		130.00		144.44		270.00		300.00		130.00		144.44		270.00		300.00		585.0		650.0	
Bitrate [MBit/s]		130.00		144.44		270.00		300.00		130.00		144.44		270.00		300.00		585.0		650.0	
Bitrate [MBit/s]		156.00		173.33		324.00		360.00		156.00		173.33		324.00		360.00		702.0		780.0	
Bitrate [MBit/s]		173.33		192.59		360.00		400.00		173.33		192.59		360.00		400.00		780.0		866.7	
Bitrate [MBit/s]		195.00		216.67		405.00		450.00		195.00		216.67		405.00		450.00		877.5		975.0	
Bitrate [MBit/s]		195.00		216.67		405.00		450.00		195.00		216.67		405.00		450.00		877.5		975.0	
Bitrate [MBit/s]		234.00		260.00		486.00		540.00		234.00		260.00		486.00		540.00		1'053.0		1'170.0	
Bitrate [MBit/s]		260.00		288.89		540.00		600.00		260.00		288.89		540.00		600.00		1'170.0		1'300.0	
Bitrate [MBit/s]		260.00		288.89		540.00		600.00		260.00		288.89		540.00		600.00		1'170.0		1'300.0	
Bitrate [MBit/s]		312.00		346.67		648.00		720.00		312.00		346.67		648.00		720.00		1'404.0		1'560.0	
Bitrate [MBit/s]		346.67		385.19		720.00		800.00		346.67		385.19		720.00		800.00		1'560.0		1'733.3	
Bitrate [MBit/s]		346.67		385.19		720.00		800.00		346.67		385.19		720.00		800.00		1'560.0		1'733.3	
Bitrate [MBit/s]		104.00		115.56		216.00		240.00		104.00		115.56		216.00		240.00		468.0		520.0	
Bitrate [MBit/s]		104.00		115.56		216.00		240.00		104.00		115.56		216.00		240.00		468.0		520.0	
Bitrate [MBit/s]		693.3		770.37		1'440.0		1'600.0		693.3		770.37		1'440.0		1'600.0		3'120.0		3'466.7	
Bitrate [MBit/s]		693.3		770.37		1'440.0		1'600.0		693.3		770.37		1'440.0		1'600.0		3'120.0		3'466.7	
Bitrate [MBit/s]		6'240.0		6'933.3		12'960.0		14'400.0		6'240.0		6'933.3		12'960.0		14'400.0		28'800.0		32'000.0	

1) 1: BPSK  
2: QPSK  
4: 16-QAM  
6: 64-QAM  
8: 256-QAM

Jan 2017, doh