

Ernst Ahlers

Funk-Übersicht

WLAN-Wissen für Gerätewahl und Fehlerbeseitigung

Gleich, ob Sie ein neues Smartphone oder ein TV-Gerät kaufen, ziemlich sicher steht WLAN oder Wifi in der Produktbeschreibung. Alles klar, das Ding funktioniert also auch in meinem Netz, denken Sie. Doch um unangenehme Überraschungen nach dem Kauf zu vermeiden und kein Geld für unnötige Features rauszuwerfen, sollte der Blick etwas weiter gehen.

WLAN hat sich als bequemste Vernetzungstechnik etabliert: Statt lästig Kabel zu ziehen, muss man nur das richtige Funknetz raussuchen und das zugehörige Passwort eingeben. Schon fließen die Daten per Funk. Zwar wurde WLAN einst für mobile Geräte entwickelt, aber inzwischen nehmen die meisten es auch für Stationäres wie etwa den Fernseher.

Das grundlegende Konzept: Ein Access Point (AP) vermittelt als WLAN-Basis zwischen Funk und Kabelnetz. Die Funktion ist in WLAN-Router integriert, um Mobilgeräte ins interne LAN einzubinden und ihnen einen Internetzugang zu verschaffen. Natürlich können per WLAN an den AP angebundene Geräte auch miteinander kommunizieren.

Der technische Standard zum WLAN heißt IEEE 802.11. Zusatzbuchstaben kennzeichnen Optionen, die durch die Weiterentwicklung dazukommen. So steht IEEE 802.11ac für die aktuell schnellste WLAN-Variante, was wir der Kürze halber nachfolgend auf 11ac eindampfen. Die wichtigsten Abkürzungen und Begriffe fasst das Glossar auf Seite 181 zusammen.

Wie Mobilfunk, Bluetooth, Rundfunk und andere Funkanwendungen ist WLAN per Regulierung an bestimmte Frequenzbereiche gebunden. Das erste Band, das sich WLAN eroberte, liegt in Europa zwischen 2,400 und 2,485 Gigahertz. Dort funk(tionier)t jedes Gerät, das heute als WLAN-fähig verkauft wird, und dementsprechend ist

das 2,4-GHz-Band heute in Städten schlicht überlaufen.

Wenn ein WLAN-Teilnehmer sendet, müssen die anderen auf dem Funkkanal schweigen, damit die Daten ungestört ankommen. Folglich teilen sich alle in Reichweite das Medium Funk. In dem dafür nötigen Zugriffsprotokoll mit gewollten Sendepausen liegt auch der Grund, warum von der hohen Bruttorate auf Anwendungsebene stets deutlich weniger ankommt.

Schon anno 1999 erschien mit 11a ein WLAN-Standard, der damals flotten Betrieb mit bis zu 54 MBit/s im 5-GHz-Band definierte und so eine Ausweichspur eröffnete. Dualband-Clients können auf die höhere Frequenz wechseln und dort ungestört funken –

falls der WLAN-Router sie parallel anbietet.

Erst ab 2010 kamen nennenswerte Stückzahlen solcher Simultan-Dualband-Router in den Handel, weil sich die nächstschnellere Norm 11n etablierte, die gleichermaßen auf 2,4 wie auf 5 GHz arbeiten kann. Mit dem aktuell schnellsten Standard ist der Simultan-Dualband-Betrieb nun Pflicht, weil 11ac nur für das 5-GHz-Band definiert ist, aber nicht dualband-fähige Clients parallel auf 2,4 GHz per 11n bedient werden müssen.

DFS! DFS! DFS!

Doch da lauert ein ärgerliches Problem. Längst nicht jeder Hersteller baut bei seinen 11ac-Basen die Störminderungstechniken Dynamic Frequency Selection und Transmit Power Control ein. Ohne DFS und TPC dürfen WLAN-Basen in Europa im 5-GHz-Band nur auf den Kanälen 36 bis 48 arbeiten. Für das veraltete 11a-WLAN wäre das zwar ausreichend, denn damit sind vier 20 MHz breite Spuren parallel nutzbar, sodass sich WLAN-Nachbarn gut ausweichen können.

Weil das neuere 11n ein 40 MHz breites Signal verwendet, gibt es ohne DFS/TPC aber nur noch zwei unabhängige Spuren (36+40 sowie 44+48). Und bei



Anfang Mai 2015 in einem Café in Hannover: Im 2,4-GHz-Band treten sich die WLANs gegenseitig die Füße platt. Auf 5 GHz ist dagegen viel weniger los.

11ac mit seinem 80-MHz-Signal müssen sich alle Nachbarn auf demselben Kanalblock 36+40+44+48 drängeln. Der Durchsatz sinkt für alle, weil sich mehr Stationen das Medium teilen.

Schmalspur-Clients

Ein ähnliches Phänomen gibt es bei WLAN-Clients wie Smartphones und Tablets sowie bei Reaternern (siehe weiter unten): Auf dem Karton steht zwar, dass das Gerät dualbandfähig ist. Dennoch haben manche Hersteller nicht auf dem Schirm, dass das 5-GHz-Band in Europa von Kanal 36 bis 140 reicht. Deren Geräte tasten nur die in den USA ohne DFS/TPC erlaubten Kanäle 36 bis 48 und 149 bis 165 ab.

Hat sich eine DFS-fähige WLAN-Basis wie einer der verbreiteten Fritzbox- und Speedport-Router jedoch Kanal 100 ausgesucht, weil dort nichts los ist, kommt keine Verbindung zu stande. Mit Glück kann man die Situation durch Umstellen des Clients auf die Region Europa retten, aber sicher ist das nicht.

Die Konsequenz kann nur lauten: Lassen Sie von Dualband-WLAN-Geräten die Finger, bei denen der Hersteller nicht auf dem Karton garantiert, dass sie im ganzen 5-GHz-Band funktionieren. c't prüft das bei Tests regelmäßig und verzeichnet es in den Ergebnistabellen.

Strom-Kombinationen

Anno 2005 erschienen die ersten WLAN-Basen, die etwas vorher

für unmöglich Gehaltenes schafften: Mit Multiple Input Multiple Output übertragen sie mehrere Datenströme (MIMO-Streams) gleichzeitig auf derselben Frequenz. Dazu senden sie über mehrere Antennen parallel. Weil die von außen aber nicht immer einsichtbar sind, erfährt man aktuell

nur aus dem Kleingedruckten, wie schnell ein WLAN-Gerät tatsächlich ist.

So schafft ein 11ac-Router mit drei Antennen standardkonform bis zu 1300 MBit/s brutto im 5-GHz-Band. Dazu muss natürlich auch die Gegenstelle drei Antennen haben und zwischen beiden

Geräten eine gute Funkverbindung bestehen.

Besitzt der Client nur zwei Antennen, dann fällt der Router auf höchstens 867 MBit/s zurück. Seine dritte Antenne ist dann aber nicht verschenkt, sondern liefert ein Stützsignal, das den Nutzdurchsatz gegenüber einem reinen 2-Stream-System um etwa 20 % steigert.

Bei kompakten Gadgets wie Smartphones ist typischerweise sogar nur eine Antenne eingebaut. Darüber gehen nach dem älteren 11n-Standard maximal 150 MBit/s, mit 11ac im 5-GHz-Band indes fast das Dreifache (433 MBit/s).

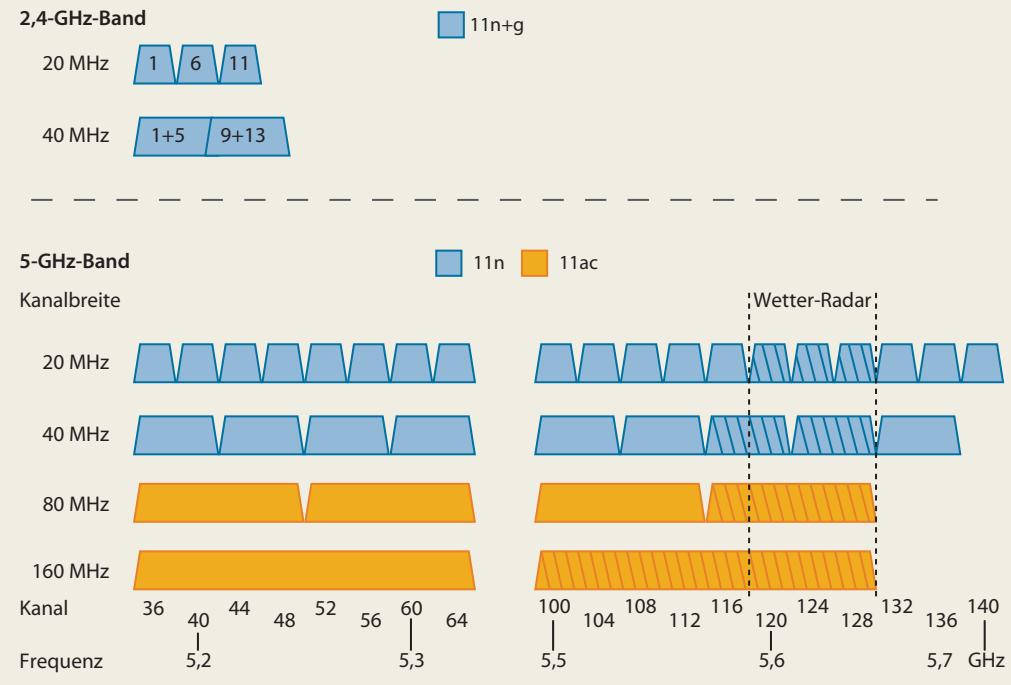
Weil bei der WLAN-Weiterentwicklung so weit wie möglich auf Kompatibilität zu älteren Standards geachtet wird, arbeiten 11ac-Routen auch mit 11n- und 11g-Stationen zusammen – freilich höchstens mit den Maximalgeschwindigkeiten der älteren Geräte.

Kombinatorik

Abgesehen von der Antennenanzahl gibt es beim modernen

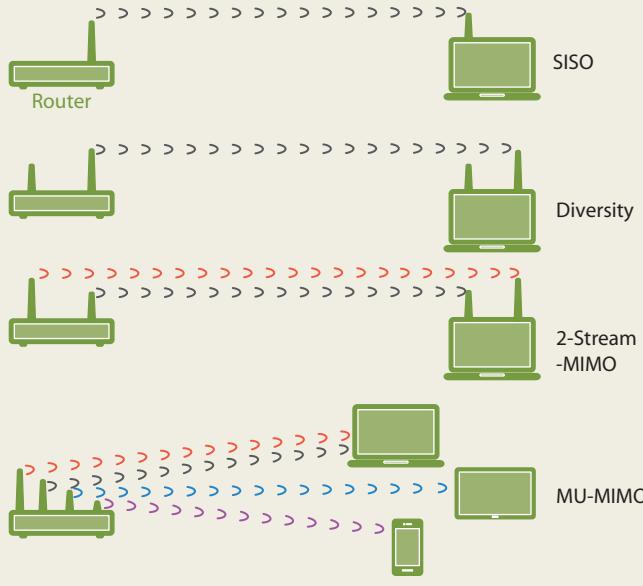
WLAN-Spektrum

Im 5-GHz-Band kann schnelles WLAN viel mehr Kanäle nutzen als auf 2,4 GHz und so störenden Nachbarnetzen ausweichen. Das klappt aber nur, wenn alle Gerätehersteller DFS (Dynamic Frequency Selection) implementieren.



WLAN-Datenströme

Beim klassischen WLAN geht nur ein Datenstrom durch die Luft (Single Input Single Output). Mit Diversity können die Geräte die aktuell bessere von zwei Antennen wählen. MIMO (Multiple Input Multiple Output) überträgt auf derselben Frequenz gleichzeitig mehrere Datenströme. Multi-User-MIMO sendet sogar Daten gleichzeitig an mehrere Clients, was die Kanalkapazität besser ausnutzt.



WLAN zahlreiche weitere Parameter, die die Bruttodatenrate bestimmen. Die wichtigsten sind die Modulationsart (1, 2, 4, 6, 8, 10 Bit/Symbol) und die Kanalbreite (20, 40, 80 und optional 160 MHz). Letztere kann man entweder fest einstellen oder den Router je nach aktuellen Funkbedingungen selbst wählen lassen; eine Verdoppelung bringt ungefähr doppelte Geschwindigkeit.

Die verwendete Modulationsart hängt von der aktuellen Qualität der Funkverbindung ab und die wiederum nicht nur von der Signalstärke, sondern auch vom Hintergrundrauschen. Dort gehen auch Nachbar-WLANS ein, deren Signale sich mit dem eigenen überlappen und es so stören. Das zugehörige Maß heißt SNR (Signal to Noise Ratio).

Sinkt das SNR, dann schalten die WLAN-Geräte auf eine robustere Modulation mit weniger Bit pro Übertragungsschritt zurück, die Verbindung wird langsamer. Unter anderem wegen der Nachbar-Signale schwankt die vom Betriebssystem angezeigte Datenrate selbst dann, wenn Sie mit dem Notebook auf dem Schoß ruhig auf dem Sofa sitzen

und sich an der Signalstärke nichts ändert.

Tricksereien

Weil sich große Zahlen in der Werbung besser machen, kombinieren die Router-Hersteller die Bruttoraten der Funkmodule zu Geschwindigkeitsklassen: Aus einem Simultan-Dualband-Router mit 300 MBit/s auf 2,4 GHz

Lassen Sie von Dualband-WLAN-Geräten die Finger, bei denen der Hersteller nicht auf dem Karton garantiert, dass sie im ganzen 5-GHz-Band funktionieren.

und 433 MBit/s bei 5 GHz wird so ein „AC750“-Modell. Mit 3 MIMO-Streams in beiden Bändern heißt es „AC1750“. Damit ist zwar auch eine Einstufung möglich. Weil aber kein Client gleichzeitig in beiden Bändern funken kann, bleibt es Augenwischerei.

Schon während der 11b-Ära vor 13 Jahren brachten Chiphersteller wie Texas Instruments WLAN-Bausteine mit nicht standardisierten, also proprietären Modulationsarten heraus. So konnten die Router-Hersteller da-

WLAN-Standards

IEEE	erschienen	Frequenz	Streams	maximale Bruttorate	typische Maximalrate ²
802.11	1997	2,4 GHz	1	2 MBit/s	2 MBit/s
802.11b	1999	2,4 GHz	1	11 MBit/s	11 MBit/s
802.11a	1999	5 GHz	1	54 MBit/s	54 MBit/s
802.11g	2002	2,4 GHz	1	54 MBit/s	54 MBit/s
802.11n	2006	2,4 und 5 GHz	1 bis 4	600 MBit/s ¹	72 / 144 MBit/s (2,4 GHz), 150 / 300 MBit/s (5 GHz) ²
802.11ac	2012	5 GHz	1 bis 8	6933 MBit/s ¹	433 / 867 / 1300 MBit/s ²
802.11ad	2012	60 GHz	1	4620 / 6757 MBit/s ¹	4620 / 6757 MBit/s ²

¹ abhängig von Funkkanalbreite, Übertragungsart und Anzahl verwendeter Antennen ² abhängig vom Gerät

mals mit 22 statt 11 MBit/s Maximalgeschwindigkeit werben.

Dieser Eigensinn kommt bei 11ac wieder, wenn auch weniger drastisch: Der Hersteller Broadcom baut Chips mit „TurboQAM“ (8 statt 6 Bit/Symbol im 2,4-GHz-Band) und „NitroQAM“ (10 statt 8 Bit/Symbol auf 5 GHz), um die Maximalraten um 33 % beziehungsweise 25 % hochzutreiben. Das funktioniert indes nur mit kompatiblen Geräten. Steckt im Notebook kein Broadcom-Chip, dann lohnt sich auch kein Turbo- oder NitroQAM im Router.

einem 2,4-GHz-11n- und 5-GHz-11ac-Modul.

Schlauer funkeln

Zwar sind in 11n bis zu 4 MIMO-Streams vorgesehen und bei 11ac sogar bis zu 8. Aber schon bei Notebooks mit vergleichsweise viel Platz zum Unterbringen der Antennen sind 3-Stream-Adapter rar: Aktuell bietet das nur Apple in seinen Macbook-Pro-Modellen an. Die meisten Klapprechner haben zwei Antennen, Billigmodelle gar nur eine wie die meisten Smartphones und Tablets.

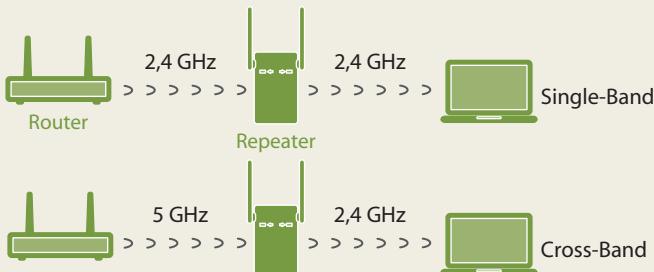
Weil die Geschwindigkeitskarte damit ausgereizt ist, gehen die Hersteller dazu über, beim modernen 11ac-WLAN eine andere Option auszuspielen: Mit Multi-User-MIMO sollen Access Points künftig Daten an mehrere Clients gleichzeitig schicken. Hier werden dann auch Basen mit 4 und mehr Antennen sinnvoll, um etwa zwei oder drei 2-Stream-Clients optimal zu bedienen.

Bei MU-MIMO schickt der Router Daten an beispielsweise drei 1-Stream-Geräte nicht mehr nacheinander mit 433 MBit/s und lässt so die 1300 MBit/s seines 3-Stream-Moduls weitgehend brach liegen. Stattdessen gehen die drei Datenpakete gleichzeitig auf die Reise. So wird der Funkkanal schneller wieder frei und die Effizienz des Gesamtsystems steigt. AVM hat auf der Fachmesse Broadband World Forum im Herbst 2014 mit einem Fritzbox-Prototyp demonstriert, dass das prinzipiell funktioniert.

Aktuell kommen die ersten MU-MIMO-Router auf den Markt, die aber passende Clients voraussetzen. Zwar sollen die ersten MU-MIMO-fähigen Notebooks schon im August erscheinen. Dennoch besteht beim MU-MIMO-Routerkauf keine Eile.

Repeater-Typen

Herkömmliche Repeater leiten Daten auf demselben WLAN-Band weiter. Ein Paket belegt das Medium Funkkanal so zweimal, was den Gesamtdurchsatz drückt, aber wenigstens eine Verbindung ermöglicht. Crossband-Repeater wechseln – dualbandfähige Router und Clients vorausgesetzt – zwischendurch den Frequenzbereich. Das vermeidet Wartezeiten im WLAN-Protokoll und führt zu mehr Geschwindigkeit.



Denn auch diese Technik wird wohl noch paar Kinderkrankheiten auskurieren müssen, bis sie alltagstauglich ist und eine größere Auswahl an Clients besteht.

Sicherer funken

Inzwischen ist sichere Verschlüsselung mit WPA2 (Wi-Fi Protected Access, Version 2) der Standard. WPA2 ist zwar nicht unüberwindbar, aber für daheim sicher genug – solange Sie keine zu kurzen oder unsicheren Passwörter nehmen. Denn wenn ein Angreifer in Funkreichweite den Verbindungsauflaufbau mitschneidet, kann er schwache Passwörter mit erträglichem Aufwand errechnen. So bekommt er nicht nur Zugang zum Netz, sondern kann auch aufgezeichneten Datenverkehr nachträglich entschlüsseln.

Die Wi-Fi Alliance arbeitet bereits an der Weiterentwicklung WPA3, die diese Art Angriff blockiert. Doch wird es wohl noch mindestens ein Jahr dauern, bis WPA3-fähige Geräte auf den Markt kommen.

Firmen können auf die Spielart WPA2-Enterprise ausweichen, die das WLAN mit individuellen Zugangsdaten für jeden Mitarbeiter und optionaler Authentifizierung mittels Zertifikaten weiter hält.

Spezialitäten

APs tun ihre Anwesenheit mit regelmäßigen Funkpaketen kund, sogenannten Beacons. Darin tei-

len sie den Namen der Funkzelle mit (Service Set IDentifier, SSID), damit man sein eigenes WLAN von dem der Nachbarn unterscheiden kann.

Manche APs bieten per Multi-SSID sogar mehrere logisch getrennte Funkzellen gleichzeitig an. Das ist beispielsweise nützlich, um Besuchern einen Gastzugang zu bieten, was viele WLAN-Router auf Wunsch tun. Aktiviert man das Gastnetz, dann erscheint ein zweites WLAN mit anpassbarem Namen. Der Router trennt den Verkehr beider Netze intern per Firewall-Regeln: Gäste kommen so nur ins Internet. Manchmal lässt sich ihr Zugang auch noch weiter auf Surfen und Mailen einschränken.

Bei Firmen-APs trennt man mit Multi-SSID mehrere Arbeitsgruppen, deren Verkehr dann per VLAN-Tagging auch im verkabelten Netzwerk getrennt wird. Für Einsatz in kleinen Netzen ist Letzteres normalerweise nicht nötig. Aber wer selbst eine Firewall oder einen Multi-Netz-Router auf einem Kompakt-PC aufgesetzt hat, freut sich darüber.

Funkverlängerung

Repeater sind die einfachste Art, die Reichweite des eigenen WLAN zu vergrößern: Sie nehmen einerseits mit dem Router als Client Kontakt auf und stellen den so bezogenen Netzzugang wiederum als Access Point zur Verfügung. Wenn man sie ungefähr auf halber Strecke zwischen Router und Funkloch aufstellt, tei-

WLAN-Abkürzungen und Begriffe

AP	Access Point: WLAN-Basis, die zwischen dem Kabel-LAN und WLAN-Clients vermittelt, in WLAN-Router integrierte Funktion
Bridge-Mode	Betriebsart von WLAN-Geräten, bei der sie mit einer anderen Bridge Verbindung aufnehmen und über diesen Link zwei LANs koppeln
Client Isolation	Option bei APs, die die Kommunikation von WLAN-Clients untereinander blockiert, die in derselben Funkzelle angemeldet sind
Client-Mode	Betriebsart von WLAN-Geräten, bei der sie als Client Verbindung zu einem AP aufnehmen und diese über ihren LAN-Port an per Kabel angeschlossene Geräte weitergeben
Concurrent Dualband	siehe Simultan-Dualband
DFS	Dynamic Frequency Selection: automatischer Kanalwechsel im 5-GHz-Band, wenn ein AP auf dem aktuellen Kanal Signale fremder Funksysteme erkennt, vor allem die von (Wetter)Radarstationen
Diversity	bei Stationen mit mehreren Antennen dynamische Wahl der aktuell besten Antenne
Dualband	Fähigkeit von WLAN-Stationen, in einem der beiden Funkbänder 2,4 oder 5 GHz zu arbeiten
MC2UC	Multicast-to-Unicast: Umsetzen von UDP-Multicast-Streams in WLAN-Unicast-Pakete, bei Multicast-IPTV wie Telekom Entertain Voraussetzung für ruckelfreies Bild
Multi-SSID	Technik, mit der ein AP mehrere logische Funkzellen unter verschiedenen Namen anbietet kann, wird beispielsweise in Routern für parallel laufende WLAN-Gastnetze und Hotspots eingesetzt
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers: internationales Normengremium mit Sitz in den USA
MIMO	Multiple Input Multiple Output: eine Station schickt mehrere Datenströme über mehrere Antennen (Multiple Input bezogen auf den Funkkanal) gleichzeitig an eine andere, deren Antennen sind der Multiple Output
MU-MIMO	Multi-User-MIMO: ein AP schickt verschiedene Daten gleichzeitig an mehrere Clients, steigert die Gesamtkapazität, weil der Kanal schneller wieder frei ist
(Universal-) Repeater-Mode	Betriebsart von WLAN-Geräten, bei der sie als Client Verbindung zu einer Basis aufnehmen und diese wiederum als AP anbieten, dient zur Reichweitenverlängerung; die Verbindung kann gleichzeitig auch an LAN-Ports zur Verfügung stehen
Radius	Remote Authentication Dial-In User Service: Verfahren zur individuellen Nutzeranmeldung mit verschiedenen Methoden, im Zusammenspiel mit IEEE 802.1X in Firmen-WLANs gebräuchlich
Simultan-Dualband	Fähigkeit von APs, in beiden WLAN-Bändern 2,4 und 5 GHz gleichzeitig Clients zu bedienen, setzt zwei Funkmodule voraus
SISO	Single Input Single Output: klassische Funkübertragungstechnik, bei der ein Signal über eine Antenne gesendet wird (Single Input in den Funkkanal) und auf der anderen Seite mit einer Antenne empfangen wird (Single Output)
SSID	Service Set IDentifier: individueller Name für WLANs, gilt in Funknetzen mit mehreren APs übergreifend
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol: WEP-Verbesserung, zwar deutlich sicherer, aber heute überholt; zwingt nach einer WFA-Vorgabe schnelle WLAN-Geräte auf langsame Datenraten
TPC	Transmit Power Control: automatisches Absenken der Sendeleistung im 5-GHz-Band bei guten Verbindungen so weit, dass die Datenrate gerade nicht zurückgeht
VLAN-Tagging	Virtual-LAN-Kennzeichnung: markiert Datenpakete mit einer ID (1–4094), um verschiedene logische Netze zu trennen; nützlich etwa, um dieselbe Infrastruktur (LAN und WLAN) für mehrere Arbeitsgruppen zu verwenden
WEP	Wired Equivalent Privacy: veraltete und gebrochene WLAN-Verschlüsselung, keinesfalls verwenden!
WFA	Wi-Fi Alliance: für Interoperabilitätstests gegründete Herstellervereinigung, gibt das WiFi-Siegel heraus
Wifi/Wi-Fi	Synonym für WLAN, eigentlich Bezeichnung eines Prüfsiegels der WFA, aber für angelsächsische Zungen leichter auszusprechen als WLAN
WLAN	Wireless Local Area Network: nach IEEE 802.11 standardisiertes Funknetz
WPA(2)	Wi-Fi Protected Access (2): Methoden zur sicheren Anmeldung und Verschlüsselung
WPS	Wi-Fi Protected Setup: Techniken zum einfachen Ankoppeln von Clients an APs
WPS-PBC	WPS Push Button Control: Koppeln per Knopfdruck
WPS-PIN	Koppeln durch Eingabe einer achtsteligen Nummer

bekommen auch weiter entfernte Clients Verbindung. Aktionsware ist teilweise schon für unter 20 Euro zu haben. Sie verlängert indes nur auf 2,4 GHz, leistet also die Grundversorgung.

Besitzen Sie einen Simultan-Dualband-Router und sollen Notebooks ihre Backups zügig zum daran angeschlossenen NAS schicken können, dann werden Crossband-Repeater interessant. Sie sind zwar teurer als die Einfach-Modelle, nehmen aber

in beiden WLAN-Bändern gleichzeitig Kontakt zur Basis auf.

Verbindet sich nun ein Client auf 2,4 GHz mit dem Repeater, schickt der die Daten im 5-GHz-Band weiter – und umgekehrt. So vermeidet der Crossband-Repeater, dass dasselbe Datenpaket denselben Funkkanal zweimal belegt. Der gesamte Transfer läuft deutlich flotter. (ea@ct.de)

ct WLAN-FAQ, Gigabit-Standard: ct.de/ycmf