

WiFi-Trends

Neue Standards, Datenraten und Anwendungsfelder

Kai-Oliver Detken

Die WiFi-Technik entwickelt sich immer weiter und erschließt sich neuen Reichweiten und Bandbreiten. War sie früher nur als internes Netz gedacht, als Alternative für das verlegte Netzwerk, ist sie heute allgegenwärtig und hat sich auf breiter Form durchgesetzt. In den letzten Jahren hat sich die Übertragungsgeschwindigkeit weiter erhöht und die Effizienz sowie die Frequenznutzung hat sich verbessert. Moderne Anwendungen wie IoT, AR/VR oder Smart Home sind hinzugekommen.



Die Anforderungen nach höheren Datenraten gab es im WiFi-Umfeld schon immer. Schließlich konkurriert man mit drahtgebundenen Technologien wie Ethernet, die sich ebenfalls hinsichtlich der Bandbreite immer weiterentwickelt haben. Die Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Neuerungen im Vergleich zum weit verbreiteten WiFi-5-Standard auf. Hieran wird ersichtlich, dass gerade die Geschwindigkeit gegenüber den Vorgängertechnologien enorm zugelegt hat. Aber auch auf die Effizienz wurde Wert gelegt, weshalb der WiFi-6-Standard noch einmal auf 6-GHz-Frequenzen erweitert wurde.

Das Modulationsverfahren Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM), das die Aufteilung der Übertragung auf verschiedene Subträger ermöglicht, wodurch es störungsrobuster ist und zusätzlich eine höhere Gesamtdatenrate ermöglicht, ist inzwischen standardmäßig integriert. Kommt es zu Störungen, fallen nur einzelne Subträger aus und es steht temporär eine geringere Bandbreite zur

Durch die hohen Datenraten bleiben aktuelle WiFi-Technologien ein adäquater Ersatz für LAN-Techniken wie Ethernet. Durch WPA3-Absicherung ist zudem ein besserer Schutz vor Man-in-the-Middle-Angriffen gegeben (Foto: Gerd Altmann, Pixabay)

Verfügung. Die Subträger sind orthogonal zueinander, weshalb sie sich nicht gegenseitig stören, obwohl sie sich im Frequenzspektrum überlappen. Das sorgt für eine sehr effiziente Nutzung der Bandbreite. OFDM ist daher robust gegen Interferenzen und Mehrwegeausbreitung, was es ideal für Funkübertragungen in Gebäuden oder Städten macht. Die Zahl der Subträger kann zudem angepasst werden, je nach Bandbreitenanforderung. Auch die Mobilfunktechnologien 4G (LTE) und 5G greifen darauf zurück. Angewendet wird das Verfahren ebenfalls in VDSL/ADSL-Routern bei der Datenübertragung via Kupferleitung mit vielen Subkanälen.

Die Erhöhung der Datenrate bedingt aber auch immer eine Reichweitenverringerung, da diese von Modulation, Kanalbreite und Signalstärke abhängig ist. Zwar verwenden die modernen WiFi-Stan-

Prof. Dr.-Ing. Kai-Oliver Detken studierte Informationstechnik an der Universität Bremen und promovierte im Fachbereich Informatik. Heute ist er Geschäftsführer der DECOIT GmbH & Co. KG, doziert an der Hochschule Bremen und arbeitet als freier Autor im IT-Umfeld

dards komplexe Modulationsverfahren wie 1024-QAM und 4096-QAM, die in der Lage sind mehr Bits pro Symbol zu kodieren. Aber sie sind dadurch auch anfälliger für Rauschen, Interferenzen und Signalverlust. Das heißt, je weiter das Endgerät vom WLAN-AP entfernt ist, desto schlechter wird das Signal-/Rauschverhältnis. Hinzu kommt, dass die Vergrößerung der Kanalbandbreite bei WiFi 7 eine geringere Energie pro Subträger beinhaltet. Und höhere Frequenzen führen ebenfalls zu einer stärkeren Dämpfung im Übertragungsmedium Luft und bei dazwischenliegenden Wänden. Dadurch kann die maximale Übertragungsrate praktisch nur neben dem WLAN-AP erreicht werden, wenn keine Hindernisse vorhanden sind. Um eine möglichst hohe Datenrate ermöglichen zu können wird daher auf den Mesh-Betrieb gesetzt, der mehrere Access Points oder Beamforming, gebündelte Richtung eines Funksignals, einsetzt, um stabile Verbindungen garantieren zu können.

In den modernen WiFi-Standards wird zudem das Verfahren Multiple User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO) verwendet, dass die Netzwerklatenz verringert und die WiFi-Bandbreite erhöht. MU-MIMO nutzt mehrere räumliche Datenströme, sogenannte „Spatial Streams“, für die gleichzeitige Kommunikation mit mehreren Geräten (oder Gruppen von Geräten). Zusätzlich kommt bei WiFi 7 noch Multi-Link Operation (MLO) mit hinzu. Dadurch ist es erstmals ermöglicht worden, dass alle unterstützten Frequenzbänder gleichzeitig genutzt werden können. MLO unterscheidet dabei die Nutzung nach Frequenzband. So wird das robuste 2,4GHz-Band für Steuerdaten verwendet, während das 5GHz-Band für die stabile Datenübertragung und das 6GHz-Band für die maximale Datenrate genutzt werden. Je nach Anwendungsfall kann das System selbst entscheiden, ob es eine Lastverteilung (Load Balancing), Fallback bei Störungen,

Funktionen	WiFi 5 (802.11ac)	WiFi 6 (802.11ax)	WiFi 6E (802.11ax)	WiFi 7 (802.11be)
Standard	2014	2019	2021	2024
Frequenzen	5 GHz	2,4 und 5 GHz	+6 GHz	2,4 / 5 / 6 GHz, gleichzeitig
Geschwindigkeit	Bis zu 3,5 Gbit/s	Bis zu 9,6 Gbit/s	Bis zu 9,6 Gbit/s	Über 40 Gbit/s, theoretisch
Kanalbreite	160 MHz	160 MHz	160 MHz	320 MHz
Modulation	256-QAM	1024-QAM	1024-QAM	4096-QAM
MU-MIMO	Downlink (nur Router zu Gerät)	Uplink + Downlink	Uplink + Downlink	Verbesserte MU-MIMO + MLO
OFDMA-Support	Nein	Ja	Ja	Ja, mit mehreren Streams
Multi-Link Operation (MLO)	Nein	Nein	Nein	Ja, mit simultaner Nutzung mehrerer Bänder
Latenzoptimierung	Basis	Gut (TWT, Scheduling)	Sehr gut	Extrem niedrig (Echtzeitfähig)
IoT-Freundlichkeit	Gering	Hoch (TWT, Effizienz)	Hoch	Sehr hoch
Sicherheit	WPA2	WPA3	WPA3	WPA3 / WPA4 optional

Tabelle 1: Die Geschwindigkeit gegenüber den Vorgängertechnologien hat enorm zugelegt. Aber auch auf die Effizienz wurde Wert gelegt, weshalb der WiFi-6-Standard noch einmal auf 6-GHz-Frequenzen erweitert wurde

Nutzung des schnellsten Links oder parallele Datenströme zur Beschleunigung vornehmen sollte. Die Latenz wird durch den MLO-Einsatz auf 1/100stel reduziert, wodurch Echtzeitanwendungen besser unterstützt werden.

Erhöhte Sicherheit

Auch die Sicherheit wurde erhöht. So kommt das Sicherheitsprotokoll WPA3 zur Verschlüsselung der Kommunikation zum Einsatz und löst WPA2 ab. Der ausgehandelte Sitzungsschlüssel kann von einem Angreifer nicht mehr errechnet und der aufgezeichnete Datenverkehr kann mit finanzierbarem Aufwand nicht mehr entschlüsselt werden. Zudem besteht die Möglichkeit Opportunistic Wireless Encryption (OWE) zu nutzen. OWE ermöglicht verschlüsselte Verbindungen ohne Passwordeingabe, was bei öffentlichen Hot-spots Vorteile bringt. Neue Anwendungsfelder

Die IEEE-Arbeitsgruppe entwickelt kontinuierlich neue Standards für drahtlose lokale Netzwerke. Zu den wichtigsten Arbeiten derzeit zählen:

- IEEE 802.11bb (Light Communications): Diese Arbeitsgruppe definierte die physikalische Schicht und drahtlose Kommunikation mittels Lichtwellen

und bildet damit die Grundlage für Li-Fi-Technologien. Die Technik wurde im Juni 2023 ratifiziert.

- IEEE 802.11bf (WLAN Sensing): Diese Arbeitsgruppe konzentriert sich auf die Integration von Sensing-Funktionen in WLANs, um Anwendungen wie Erkennung, Lokalisierung und Objekterkennung zu ermöglichen. Dabei werden WLAN-Signale genutzt, um die Funkwellen zu analysieren, die ausgesendet, reflektiert und empfangen werden. Wenn sich Objekte (z.B. Personen) im Raum bewegen, lassen sich diese Veränderungen messen und interpretieren (siehe Abbildung 2).
- IEEE 802.11bh (Randomized and Changing MAC Addresses): Zielt darauf ab den Betrieb von Geräten mit zufällig generierten oder sich ändernden MAC-Adressen zu unterstützen, um dadurch die Privatsphäre der Teilnehmer zu schützen. Da die zufällige Vergabe von MAC-Adressen zu Problemen bei bestimmten Netzwerkdiensten führen kann, wurde diese Spezifikation ins Leben gerufen. Aktuell ist der Entwurf noch in Bearbeitung.
- IEEE 802.11bi (Enhanced Privacy): Diese Arbeitsgruppe wird die Privat-

sphäre in WLANs verbessern. Der erste Arbeitsgruppen-Ballot zu Entwurf D1.0 wurde mit 89% Zustimmung abgeschlossen, und die Gruppe arbeitet an der Bearbeitung der Kommentare für einen erneuten Ballot zu D2.0 nach der Sitzung im Juli 2025.

- eIEEE 802.11bn (Ultra High Reliability, auch bekannt als Wi-Fi 8): Diese Arbeitsgruppe zielt darauf ab, die Zuverlässigkeit von WLANs zu erhöhen. Im Januar 2025 wurde der Entwurf D0.1 genehmigt. Hier wird bereits an der nächsten WiFi-Generation entwickelt.
- IEEE 802.11bk (320 MHz Positioning): Diese Technik hat das Ziel, die Genauigkeit der Positionsbestimmung in WLANs auf etwa 0,1 Meter zu erhöhen, basierend auf der 320-MHz-Kanalisation und den Wellenformen von P802.11be.
- IEEE 802.11me (802.11 Accumulated Maintenance Changes): Diese Spezifikation ist eine geplante Revision des gesamten IEEE 802.11-Standards, um verschiedene Wartungsänderungen und Korrekturen vorzunehmen.

LiFi (Light Fidelity) ist eine drahtlose Kommunikationstechnologie, die Licht anstelle von Funkwellen zur Datenübertragung nutzt. Sie verwendet den nahen Infrarotbereich von 800-1000 nm. Dabei werden Datenraten zwischen 10 Mbit/s und 9,6 Gbit/s erreicht, abhängig von den spezifischen Implementierungen und Bedingungen. Der Standard wurde erarbeitet, um die nahtlose Zusammenarbeit zwischen LiFi- und WiFi-Geräten zu ermöglichen.

Das „WLAN Sensing“ kann für neue Anwendungsfelder eingesetzt werden. So lässt sich beispielsweise eine Bewegungserkennung ohne Kameras damit in Smart Homes umsetzen (siehe Abbildung 2). Für das Gesundheitswesen lässt sich eine Sturzerkennung von Senio-

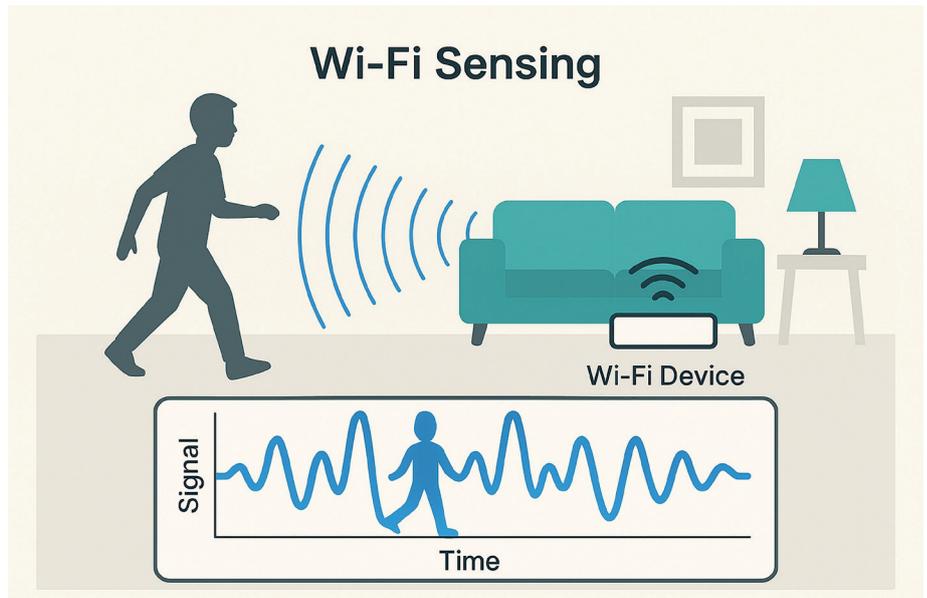


Abbildung 2: Das „WLAN Sensing“ kann für neue Anwendungsfelder eingesetzt werden. So lässt sich beispielsweise eine Bewegungserkennung ohne Kameras damit in Smart Homes umsetzen (Grafik: Detken)

ren damit realisieren. Vorstellbar ist aber auch, dass Geräte per Gestensteuerung bedient werden können. Vorteilhaft dabei ist, dass diese Technik auch ohne Licht und durch Wände funktioniert. Ebenfalls ist sie datenschutzfreundlich, da keine visuellen Daten gesammelt werden. Hinzu kommt, dass keine weitere Hardware angeschafft werden muss, da dieses Merkmal mit der vorhandenen WLAN-Infrastruktur genutzt werden kann, wenn man sie auf dem neusten Stand hält.

Der WiFi7-Standard 802.11be tritt mit seiner Leistungsfähigkeit in Konkurrenz zum 5G-Mobilfunkstandard, der es ebenfalls ermöglicht eigene Campusnetze aufzusetzen. Bei erforderlicher Echtzeitfähigkeit der Anwendungen kann man daher zwischen den beiden Mobilfunkvarianten wählen. Typische Echtzeit-anwendungen beinhalten Gaming, Augmented / Virtual Reality (AR/VR), Industrie 4.0 und Edge Artificial Intelligence (AI). Dabei ist die AR/VR-Anwendung eine hochaktuelle Herausforderung im Hinblick auf hohe Datenraten, geringe Latenz und hohe Zuverlässigkeit. Durch die neuen IEEE-Standards 802.11ax und 802.11be und die Entwicklungen im Bereich Edge-

Computing, Quality-of-Service (QoS) und Multi-Link-Operationen können solche modernen Anwendungen aber umgesetzt werden.

Fazit

Die WiFi-Standards werden immer weiterentwickelt und bieten eine Reihe neuer Anwendungen. So lassen sie sich inzwischen auch gut bei Internet-of-Things (IoT) Komponenten durch die Kombination von Target Wake Time (TWT) und Low Power Operation verwenden. Denn TWT sorgt dafür, dass Endgeräte länger im Standby-Modus bleiben und gleichzeitig weniger Daten senden und empfangen, wodurch der Energieverbrauch reduziert wird. Durch die hohen Datenraten bleiben aktuelle WiFi-Technologien auch ein adäquater Ersatz für LAN-Techniken wie Ethernet. Durch eine aktuelle WPA3-Absicherung ist zudem ein besserer Schutz vor Brute-Force- und Man-in-the-Middle-Angriffen gegeben. Die Nutzung des 6-GHz-Bands ist zwar regional unterschiedlich, aber der Trend geht weltweit zur Freigabe. Inzwischen wird bereits an der WiFi8-Generation gearbeitet, die weitere Anwendungsmöglichkeiten nach sich ziehen wird.