

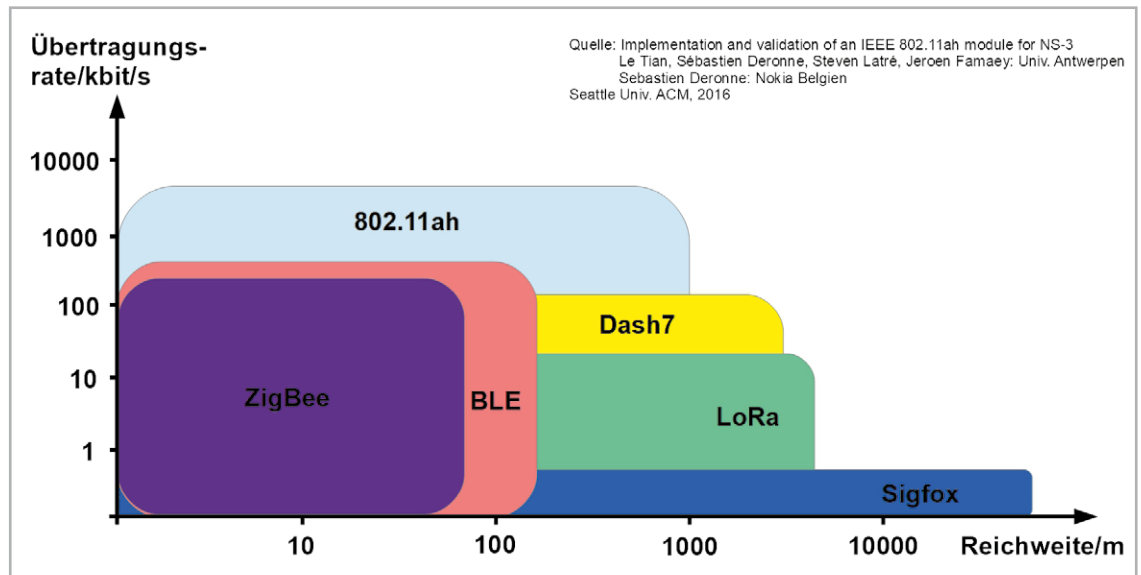
# Weniger ist mehr!

## WLAN im Sub-GHz-Bereich für höhere Reichweite

Drahtlose Datennetze, wie wir sie im lokalen Umfeld kennen, werden als Wireless Local Area Networks (WLAN) bezeichnet. Sie benötigen keine kostenintensiven, drahtgebundenen Verbindungs- und Vernetzungssysteme und sind dadurch eine Voraussetzung für mobile Kommunikationsanwendungen im Nahbereich. Leider ist ihre Reichweite wegen der verwendeten Frequenzen um 2,4 GHz und 5 GHz recht begrenzt. Abhilfe können Betriebsfrequenzen unter 1 GHz schaffen, die physikalisch bedingt Objekte im Funkfeld leichter durchdringen können. Dies hat den Anstoß zu Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah) gegeben. Neben grundlegenden Erläuterungen zu dieser Technik wird in diesem Artikel ein damit ausgestattetes Überwachungskamerasystem beschrieben.



Bild 1: IEEE802.11ah stellt einen Kompromiss zwischen Reichweite und Datendurchsatz dar.



## Vor- und Nachteile

Den Vorteilen kabelloser Netzwerke stehen eine Reihe von Nachteilen im Vergleich zu Twisted-Pair-Kabel- oder Glasfaser-Vernetzungssystemen gegenüber: frequenzabhängig, geringere Reichweite, Dämpfung durch Objekte im Funkfeld, erschwerte Übertragungssicherheit durch Abhörbarkeit, geringere Bandbreite der übertragenen Signale, eingeschränkte Störfestigkeit, erhöhter Energiebedarf und einige mehr. Dies sind grundsätzliche, mit der Funktechnik verbundene Einschränkungen, die sich jedoch mit einigem technischen Aufwand recht gut für den jeweiligen Einsatzzweck beherrschen lassen.

Eine relativ unbekanntere WLAN-Variante ist Wi-Fi HaLow, die von der Wi-Fi Alliance im Jahr 2017 als Standard IEEE 802.11ah für Anwendungen mit geringem Leistungsbedarf und hoher Reichweite veröffentlicht wurde.

Bild 1 erlaubt eine grobe Einordnung von 802.11ah im Reigen der konkurrierenden WPAN-Netze (Wireless Personal Area Networking) wie ZigBee und Bluetooth Low Energy (BLE) mit Reichweiten bis zu mehreren Metern und moderaten Übertragungsgeschwindigkeiten sowie LP-WAN-Netze (Low Power – Wide Area Networking) wie LoRa und Sigfox, die auf Kosten der Übertragungsgeschwindigkeit größere Distanzen im Kilometerbereich überwinden können. In Bezug auf den Kompromiss zwischen Bitrate und Reichweite füllt 802.11ah hier eine Lücke.

## Frequenz und Reichweite

Bei allen Funkübertragungssystemen besteht ein prinzipieller Zusammenhang zwischen der Frequenz der elektromagnetischen Trägerwellen und der Reichweite ihrer Ausbreitung. Für die eingeschränkte Reichweite sind Dämpfungen auf dem Übertragungsweg ursächlich, die verschiedene Ursachen haben.

### • Freiraumdämpfung

Der Freiraumdämpfung (FSL: Free Space Loss) sind grundsätzlich alle elektromagnetischen Ausstrahlungen unterworfen. Sie entsteht allein dadurch, dass die Leistungsdichte einer omnidirektionalen (d. h. in alle Richtungen gleichförmigen) Strahlung abnimmt, indem sie sich in wachsendem Abstand zum Sender auf einen größeren Raum verteilt. Das geschieht nach dem quadratischen Abstandsgesetz, welches besagt, dass die Leistungsdichte der elektromagnetischen Ausstrahlung (Leistung pro Wirkfläche der Empfangsantenne) bei einer Verdoppelung des Abstandes auf ein Viertel abnimmt.

### • Atmosphärische Dämpfungen

Besteht das Funkfeld nicht aus einem reinen Vakuum, sondern aus einer Atmosphäre, wird durch deren absorbierende Eigenschaft

(Absorption: Energieaufnahme) eine Schwächung des Funksignals verursacht. Diese Energieentnahme ist im Wesentlichen von der Luftfeuchte (Regen, Nebel) und der Strahlungsfrequenz abhängig.

### • Materiebedingte Einflüsse

Im Innenraumbereich ist mit atmosphärischen Dämpfungen naturgemäß nicht zu rechnen. Dagegen können die Funkwellen beim Auftreffen auf Materie (Wände, Einrichtungsgegenstände, Glasscheiben ...) reflektiert werden. Ein Teil der auftreffenden Energie dringt in das Innere der Materie ein und ggfs. wieder aus. Dabei wird dem elektromagnetischen Feld Energie entzogen, die dann bei dessen weiterer Ausbreitung fehlt und zu einer verringerten Empfangsfeldstärke führt. Diese Dämpfungen sind sowohl von den Materialeigenschaften als auch von der Frequenz abhängig. Regelmäßig wird dadurch die Reichweite der Funkverbindung reduziert, woraus die Forderung nach einem möglichst freien Funkfeld resultiert.

## Wi-Fi und WLAN

In Anlehnung an den altbekannten Begriff Hi-Fi (High Fidelity: Hohe Wiedergabetreue) aus dem Bereich hochqualitativer Audio-Wiedergabetechnik hat die Wi-Fi Alliance vor einem knappen Vierteljahrhundert die Handelsmarke Wi-Fi geschaffen. Die Abkürzungen Wi-Fi und WLAN werden im deutschsprachigen Raum bedeutungsgleich für die funkbasierte digitale Vernetzung von elektronischen Geräten verwendet.

Ab 1997 wurde vom Standard IEEE 802.11 (2 Mbit/s, 2,4 GHz) ausgehend eine Vielzahl von Varianten (gekennzeichnet durch ein oder zwei angehängte Buchstaben in Kleinschreibweise) mit speziellen Eigenschaften spezifiziert und die Übertragungsgeschwindigkeit ständig erhöht. Eine Übersicht liefert ein Wikipedia-Artikel [1].

Heute sind vor allem Geräte nach den WLAN-Standards der 802.11-Familie 802.11, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.11ax, 802.11ad verbreitet. Allen gemeinsam ist, dass sie die ISM-Bänder 2,4 GHz,

5 GHz, 6 GHz und 60 GHz einzeln oder kombiniert nutzen. Als ISM-Band (Industrial, Science and Medical Band) wird ein Frequenzbereich bezeichnet, der zur gebühren- und lizenzfreien Nutzung durch Hochfrequenzgeräte freigegeben ist – so auch für WLAN-Zwecke.

Das **2,4-GHz-Band** wird wegen der geringen Gerätekosten am häufigsten genutzt. Abschirmende Materialien verursachen in ihm weniger Verluste. Nachteilig ist, dass es mit anderen Hochfrequenzanwendungen wie Bluetooth und Mikrowellen-, Babyfon- und Schnurlostelefontechnik usw. geteilt werden muss und dadurch interferenzbedingte Störungen auftreten können. Weil effektiv nur drei oder vier schwach überlappende Kanäle zur Verfügung stehen (Deutschland: Kanäle 1, 5, 9 und 13), kann nur eine sehr begrenzte Zahl von Netzwerken am selben Ort voneinander unbeeinflusst betrieben werden.

Das **5-GHz-Band** ist seit 2002 in der EU freigegeben. Es ermöglicht eine höhere Datenrate und ist als (noch) weniger genutztes Frequenzband mit in Deutschland 19 nicht überlappenden Kanälen häufig für einen störungsärmeren Betrieb geeignet. An sich ist bei höheren Frequenzen mit stärkeren Dämpfungen zu rechnen, was aber hier durch erhöhte Sendeleistung (bei 802.11h bis zu 1000 mW) dennoch oft zu größeren Reichweiten führt.

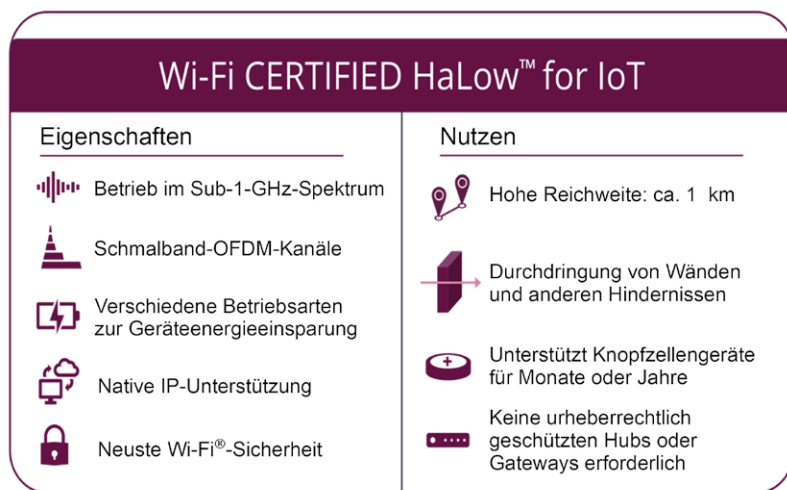


Bild 2: Die Eigenschaften von IEEE802.11ah HaLow im Überblick

## Wi-Fi HaLow

Wi-Fi HaLow wurde für die energieeffiziente drahtlose Vernetzung von Endgeräten über Entfernungen von bis zu einem Kilometer im Standard IEEE 802.11ah spezifiziert. Erstmals wird hier ein Trägerfrequenzbereich von 900 MHz (lizenzfreies Sub-GHz-Band) verwendet. Das Ausbreitungsverhalten auf dieser Frequenz erlaubt die Überwindung größerer Distanzen und damit IoT-Anwendungen (IoT: Internet of Things, Internet der Dinge) mit weiter entfernten Sensoren und Aktoren. Zugleich nehmen durch die geringere Bandbreite der Übertragungskanäle bei diesen Frequenzen die möglichen Datenraten ab.

Die wesentlichen Eigenschaften von Wi-Fi CERTIFIED HaLow™ werden auf der Webseite der Wi-Fi Alliance [2] wie folgt dargestellt:

„Wi-Fi CERTIFIED HaLow™, die Bezeichnung für zertifizierte Produkte mit IEEE 802.11 Technologie, erweitert durch den Betrieb in einem Spektrum unter 1 GHz den Einsatz von Wi-Fi mit größerer Reichweite und geringerem Leistungsbedarf.“

Wi-Fi HaLow™ erfüllt damit die einzigartigen Anforderungen des Internet of Things für eine Vielzahl von Einsatzszenarien im Industrie-, Landwirtschafts-, Smart-Building- und Smart-City-Umfeld. Seine Reichweite ist größer als die vieler anderer IoT-Technologien und es stellt robustere Verbindungen in herausfordernden Umgebungen zur Verfügung, wobei die Fähigkeit zur Durchdringung von Wänden und anderen Hindernissen ein wichtiger Gesichtspunkt ist. Bild 2 fasst das Gesagte zusammen.

Als Teil des Wi-Fi-Portfolios gemäß Bild 3 erleichtert Wi-Fi HaLow eine umfassendere Herangehensweise zur drahtlosen Konnektivität. Wi-Fi HaLow kann viele der Vorteile liefern, die der Verbraucher heute von Wi-Fi erwartet, einschließlich herstellerunabhängiger Interoperabilität, einfacher Inbetriebnahme ohne Unterbrechung bestehender Wi-Fi-Netze und aktuellster Wi-Fi-Sicherheit.

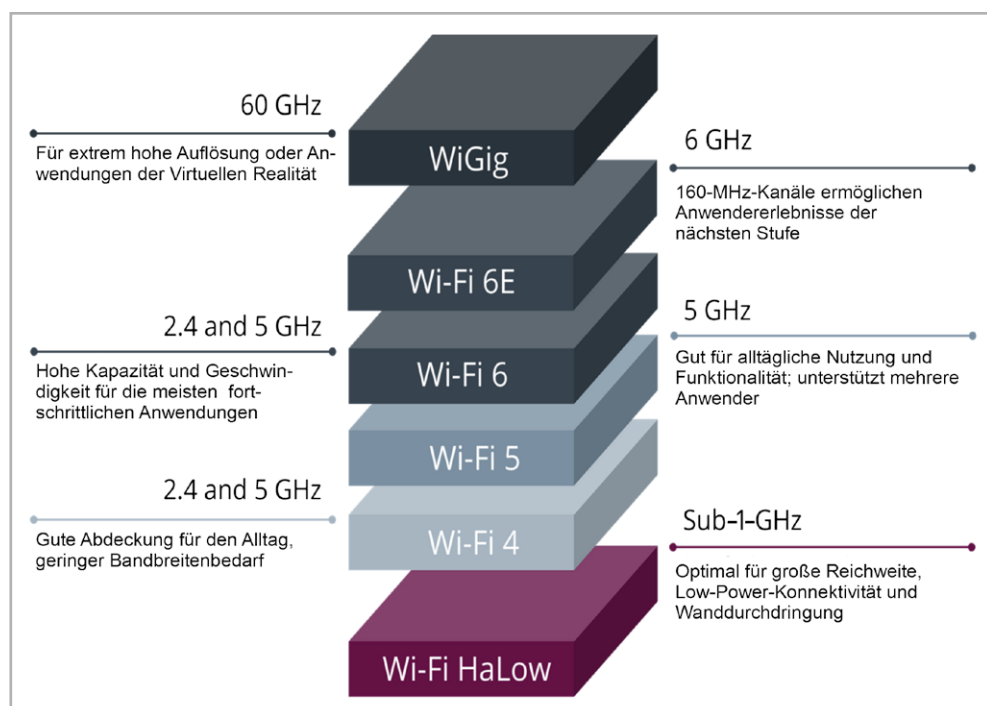


Bild 3: Die Standards der Wi-Fi-Alliance im Überblick (Quelle: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-halow>)

Wi-Fi HaLow verbindet verschiedene andere Wi-Fi-Technologien, um stromsparende, leistungsstarke und sichere Wi-Fi-Anwendungen zu ermöglichen. Vergleichende Untersuchungen belegen, dass Wi-Fi HaLow um ein Vielfaches energieeffizienter ist als andere Drahtlostechnologien. So können mehr Daten pro Ws (Wattsekunde) Sendeenergie übertragen werden, was die Lebensdauer der Batterien verlängert. Seine sternorientierte Architektur mit weitreichenden Verbindungen beseitigt die Datenengpässe und Latenzprobleme, die mit einem Maschennetz verbunden sind.

Eine wichtige Eigenschaft von Wi-Fi HaLow sind eingeschränkte Zeitfenster (Restricted Access Windows: RAW) für den Zugriff der Stationen (STA) auf die Übertragungskanäle. Das beschränkt den Datenaustausch zwischen den STAs auf vorher unter ihnen ausgehandelte Zeitschlitze (time slots). So wird die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen während der Übertragung verringert und der Batterieverbrauch gesenkt.

Wi-Fi HaLow unterstützt eine sternförmige Topologie, bei der die Basisstation (Relay Access Point: RAP) mit bis zu 8192 verbundenen Endgeräten kommunizieren kann. Wenn ein Endgerät (Station) Daten zur Basisstation übertragen möchte, kann es einen Zeitschlitz im ihm zugewiesenen RAW wählen und auf den Übertragungskanal zugreifen. Sollte dabei eine Kollision auftreten, wird der Übertragungsversuch für eine kurze Zufallszeit zurückgestellt, um erneut gestartet zu werden. Nach erfolgreichem Zugriff auf den Kanal fordert das Endgerät eine Bestätigung bei der Basisstation an. Ihr Empfang signalisiert der Station, dass sie wieder in den Schlafmodus fallen kann.

Wi-Fi HaLow ebenso wie LoRaWAN® nutzt in Europa den auch als ISM-Frequenzband (Industrial, Scientific and Medical Band) bezeichneten Frequenzbereich 863-870 MHz, für den keine Lizenzgebühren und Mobilfunkkosten anfallen.

Bild 4 zeigt symbolisch, wie die Sub-GHz-Wi-Fi-Variante IEEE802.11ah HaLow ihre Pendant im 2,4- und 5-GHz-Bereich in Bezug auf Reichweite übertrifft.

Ob sich drahtlose Netze nach IEEE 802.11ah etablieren können, ist noch ungewiss. Problematisch ist sicherlich die Konkurrenzsituation und die Verfügbarkeit des vorgesehenen Frequenzbereichs.

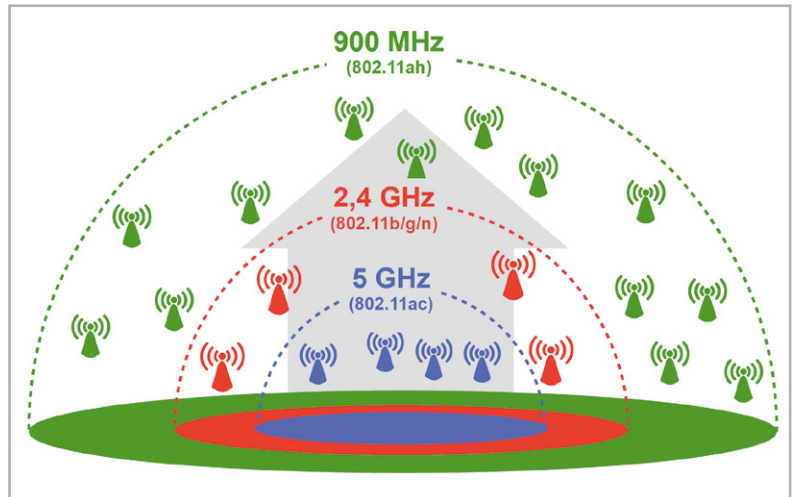


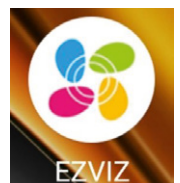
Bild 4: Mit IEEE802.11ah im Sub-GHz-Bereich ist eine deutlich bessere Funkabdeckung zu erreichen.

### EZVIZ-HaLow-Kamera

Die Vorteile des IEEE802.11ah Wi-Fi-HaLow Standards nutzt das nachfolgend beschriebene WLAN-Outdoor-Akku-Überwachungskamera-Set HB3 des chinesischen Herstellers EZVIZ [3]. Darin kommunizieren zwei wetterfeste Kameras (zwei weitere sind möglich) über Wi-Fi HaLow auf einer Frequenz von ca. 900 MHz mit einer Basisstation im Gebäudeinneren, die wiederum an einen WLAN-Router angeschlossen ist. Die Liste der Eigenschaften liest sich vielversprechend: sehr gute Auflösung von 2304 x 1296 Farbpixeln, bis zu 300 m Reichweite im Freifeld, bis zu 4 Monate langer Betrieb mit eingebautem Akku durch extrem niedrigen Stand-by-Verbrauch jeder Kamera von 0,002 W, alternativ Dauerbetrieb mit EZVIZ-Solarpanel möglich, LED-Scheinwerfer für farbige Nachtbilder, IR-LEDs für S/W-Nachtaufnahmen, akustische Alarmierung über Sirene in Basisstation und Kameras, stabile Kugelgelenke zur präzisen Ausrichtung, weiter Temperaturbereich -20 °C bis +45 °C, eingebauter Lautsprecher und Mikrofon sowohl in den Kameras als auch in der Basisstation, Speicherung auf microSD-Karte in der Basisstation oder in der Cloud und vieles mehr (Bild 5). Durch die einfache Anbindung an ein bestehendes (W)LAN oder Mobilfunknetz ist die Abfrage und Konfiguration völlig ortsungebunden.

### Aufbau und Inbetriebnahme

Die dem Set beiliegenden Informationen in Form eines Quickstart-Guides sind knapp, sodass man dem dort ausgesprochenen Rat „Laden Sie das ausführliche Benutzerhandbuch herunter“ folgen sollte (Downloads unter [3]). Zur Inbetriebnahme der Kameras muss man zunächst eine für Android oder iOS verfügbare kostenlose App installieren, mit der ein Nutzerkonto auf dem EZVIZ-Server erstellt wird.



Wenn dieses Icon auf dem Handybildschirm erscheint, ist die EZVIZ-App installiert.

 2K Auflösung	 Bis zu 120 Tage Akkulaufzeit* (5200 mAh)	 Intelligente Erkennung von menschlichen Bewegungen	 Inklusive Basisstation (Unterstützt microSD- Karten von bis zu 256 GB²)	 Leistungsstarkes Wi- Fi HaLow™	 Nachtsicht in Farbe
 Zwei-Wege-Audio	 Anpassbare Sprachalarme	 Aktive Verteidigung mit Sirene und Stroboskoplicht	 H.265- Videokomprimierung	 Wetterfestes Design	 Intelligente Integration mit Google Assistant und Amazon Alexa
					 Akkuaufladung mit EZVIZ-Solarmodul möglich³

Bild 5: Highlights des Kamerasystems

Vor der ersten Benutzung empfiehlt es sich, die Kameraakkus über ein USB-Netzteil mit Micro-USB-Stecker über die hinter einer Gummabdeckung in der Kameraunterseite verborgene USB-Buchse vollständig aufzuladen, bis die LED in der Kamerafront konstant grün leuchtet. Mit der Reset-Taste (ebenfalls in der Kameraunterseite, wassergeschützt abgedeckt) lässt sich die Kamera in drei Betriebszustände versetzen:

1. Einschalten – 2 Sekunden lang drücken
2. Pairing-Bereitschaft – 4 Sekunden lang drücken
3. Ausschalten – 3 Mal kurz innerhalb einer Sekunde drücken.

Eine LED in der Frontseite der Kamera informiert in den Farben Rot, Grün oder Blau mit unterschiedlichen Blinkmustern über ihren inneren Zustand. Die Auslösung eines Alarms kann sowohl über einen PIR-Sensor (Passive InfraRed) als auch über die Analyse des Kamerabildes erfolgen.

Die EZVIZ-Basisstation verfügt auf der Rückseite über eine Ein/Aus-Taste, eine RJ45-Buchse (LAN) zur Verbindung mit dem Heim-WLAN-Router mittels dem beigelegten Ethernet-Patchkabel, eine Stromversorgungsbuchse für den 3,5-mm-Hohlstecker des mitgelieferten 12V/1A-Steckernetzteils, eine Reset-Taste und eine Lautsprecheröffnung. Im Boden findet sich ein Schlitz zur Aufnahme einer microSD-Karte (max. 256 GB) und auf der Oberseite ein Taster mit zwei Funktionen: SYNC (um die Basisstation in den Pairing-Modus zu versetzen) und SIREN OFF (um einen über Sirenton signalisierten Alarm abzuschalten). An der Basisstation lassen sich bis zu vier typgleiche Kameras anmelden.

Um die Inbetriebnahme richtig zu verstehen, sollte man sich anhand von Bild 6 die grundsätzliche Funktionsweise des Systems bestehend aus Kamera(s), EZVIZ-Basisstation und WLAN-Router verdeutlichen. Man erkennt die HaLow-Drahtlosverbindung (roter Doppelpfeil) zwischen der EZVIZ-HB3-Kamera und der EZVIZ-Basisstation. Hier können die Alarmbilder auf einer microSD-Karte abgelegt werden oder sie gelangen über das Ethernet-Patchkabel zum WLAN-Router und von dort per DSL- und/oder Glasfaserverbindung zu einem Internet-Serviceprovider, der die Bilder zu einem europäischen Amazon-Server (AWS) über das Internet leitet. Bei beiden Methoden sind die Daten auch bei Diebstahl oder Zerstörung der Kamera sicher – im Gegensatz zu Lösungen, die nur eine Speicherkarte in der Kamera verwenden.

Die Inbetriebnahme des Sets ist recht einfach. Nach der Installation der EZVIZ-App wird die HaLow-Basisstation über das erwähnte

Patchkabel mit dem WLAN-Router verbunden und über das Internet dem EZVIZ-Konto hinzugefügt. Nun wird die erste Kamera durch zweisekündiges Drücken der RESET-Taste eingeschaltet. Über den Lautsprecher ertönt die Sprachmitteilung, dass die Kamera nun bereit zur Paarung mit der Basisstation ist (ready for pairing). Dazu drückt man 2 Sekunden lang die SYNC-Taste auf der Oberseite der Basisstation, worauf diese den Start des bis zu 150 Sekunden dauernden Pairing-Vorgangs und bei seinem erfolgreichen Abschluss dessen Ende akustisch meldet. Mit der zweiten Kamera wird ebenso verfahren. Das System sollte nun einsatzbereit sein und kann konfiguriert werden.

Die Verbindung der EZVIZ-Basisstation mit dem WLAN-Router über ein Ethernet-Patchkabel erfordert deren räumliche Nähe.

Um mit der Energie des Kameraakkus sparsam umzugehen und bei Nutzung des Mobilfunknetzes keine unnötig hohen Datenübertragungskosten entstehen zu lassen, wird die Liveübertragung der Kamerabilder nach etwa 5 Minuten abgebrochen und erst wieder bei erneuter Anforderung durch den Nutzer aufgenommen. Dann dauert es einige Sekunden bis der aktuelle Live-Stream der Kamera beim Wiedergabegerät (Handy, Tablet, Laptop ...) eintrifft. Die Verzögerungszeiten hängen von der zu übertragenden Datenmenge und der Verbindungsqualität zwischen Basisstation und Kamera ab.

Um den Datenstrom der Stand- und Livebilder der Kamera möglichst klein zu halten, kommt das Videokompressionsverfahren H265 (HEVC: High Efficiency Video Coding) zum Einsatz. H265 weist eine nochmals gesteigerte Kompressionseffizienz, erhöhte Zuverlässigkeit, verbesserte Fehlerkorrekturverfahren, verringerte Echtzeitlatenz und einige Vorteile mehr auf.

Die Reichweite der Sub-GHz-Verbindung zwischen Kamera und Basisstation dürfte in etwa die einer reinen WLAN-Lösung im 2,4-GHz-Band um den Faktor 2 bis 3 übertreffen. Wenn das Ethernet-Verbindungskabel zwischen WLAN-Router und Basisstation lang genug ist, kann man dessen optimalen Standort experimentell ermitteln.

### Montage der Kameras

Nach der Inbetriebnahme des Sets wurden beide Kameras an zwei Orten im Garten in 2 bis 3 m Höhe installiert, an denen eine Funkverbindung zur Basisstation besteht. Dabei sind zwei Dinge zu beachten: Zum einen muss die Kamera den interessierenden Bereich erfassen und zum anderen sollte sie zum Aufladen leicht von der Grundplatte abzunehmen sein. Wer sich das ersparen will, kann ein kleines Solarpanel mit max. 6 W Ladeleistung und 4 m langem Anschlusskabel als Zubehör erwerben, das den eingebauten Akku tagsüber nachlädt.

Natürlich ist auch der Betrieb an einem USB-Netzgerät mit 5V/1A und Micro-USB-Stecker möglich. Dann kann die Kamera auch mehr als 20 Aktivitäten pro Tag (für jeweils 15 s) erkennen, die der Hersteller für eine Laufzeit von bis zu 4 Monaten mit einer einzigen Akkuladung angibt.

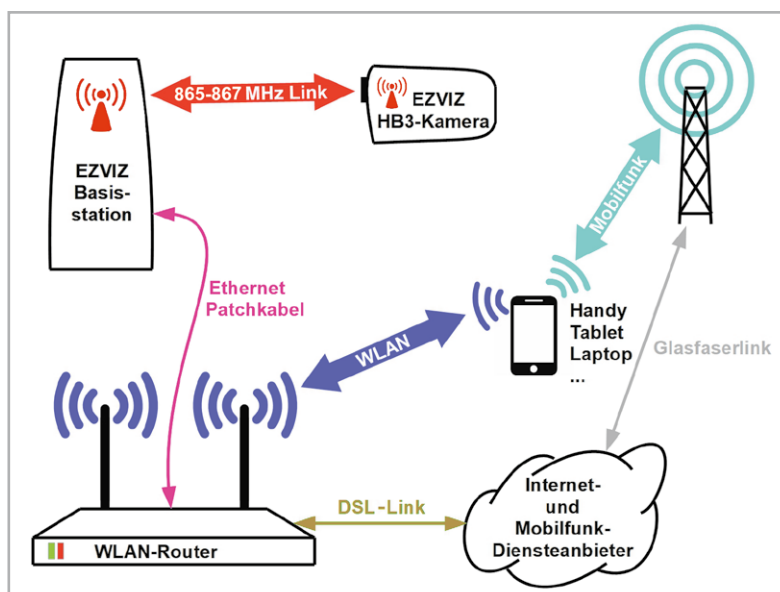


Bild 6: Mehrere Drahtlosübertragungsformen arbeiten im EZVIZ-System zusammen: HaLow, 2,4-GHz-WLAN und Mobilfunk.

Bild 7: Beide Kamerabilder auf einem Handybildschirm



Die Bildqualität überzeugt sowohl bei Standbildern als auch bei Livestreams, wie der Handy-Screenshot zweier gleichzeitig ablaufender Livestreams in Bild 7 belegt.

Die Bilder im Querformat belegen den ganzen Handybildschirm und lassen auch bei Vergrößerungen noch erstaunlich viele Details erkennen (Bild 8).

Die Vielzahl der Einstellungsmöglichkeiten für die Alarmerstellung ist hier detailliert zu erklären würde den Rahmen des Artikels sprengen. Nur so viel: Zum Auslösen eines Alarms steht ein PIR-Infrarotsensor zur Verfügung, der die Wärmestrahlung eines lebenden Organismus detektiert.

Das kann natürlich auch mal Nachbarns Katze sein und ist deshalb insbesondere bei hohen Außentemperaturen mit gelegentlichen Fehlalarmen verbunden.

Besser ist die softwaremäßige Auswertung des Bildes auf menschliche Konturen, wobei die Erkennungsgenauigkeit mit Methoden der Künstlichen Intelligenz gesteigert wird. Oft interessiert nicht voll umfänglich das Geschehen auf dem kompletten Kamerabild. Dann kann man per Zoom (bis zu 8x) den Bereich von Interesse vergrößern und/oder selektieren. So könnte man beispielsweise die Bewegung einer Türklinke sicher detektieren und einen entsprechenden Alarm auslösen.

Die Kamera ist mit zwei hellweiß leuchtenden LEDs in der Front ausgestattet, die ein erkanntes Objekt anstrahlen und seine Aufnahme in der Nacht auch



Bild 11: Auch bei einsetzender Dämmerung liefert die Kamera noch detailreiche Bilder, wie die Ausschnittsvergrößerung belegt.



Bild 8: Dank hochauflösendem Kamerachip bleiben auch bei starken Vergrößerungen viele Details erhalten.



Bild 9: Dank guter Ausleuchtung durch die zwei LED in der Kamerafront werden sogar farbige Nachtaufnahmen geliefert.



Bild 10: In völliger Dunkelheit bewirkt die unsichtbare Infrarotausleuchtung scharfe Schwarz-Weiß-Aufnahmen.

in Farbe ermöglichen (Bild 9). Aber es gibt auch einen Schwarz-Weiß-Modus, bei dem unsichtbares Infrarotlicht aus zwei IR-LEDs in der Kamerafront zum Einsatz kommt (Bild 10). Der Detailreichtum der bei völliger Dunkelheit angefertigten Bilder ist erstaunlich. Ein potenzieller Bösewicht wird deshalb nicht davor gewarnt, von einer Kamera erfasst zu sein.

Eine typische durch Bewegungsalarm ausgelöste Kameraaufnahme bei einsetzender Dämmerung zeigt Bild 11 als durchaus brauchbare Ausschnittsvergrößerung der Kameraperspektive von Bild 8.

Ein Alarm kann entweder durch abschrecken des Blitzens der LEDs an der Kamera, einen sirenenartigen Warnton oder das Abspielen einer vorbereiteten Voice-Meldung (externe Signalisierung) oder durch eine Pushnachricht auf das Smartphone oder eine akustische Warnung per Basisstation (interne Signalisierung) signalisiert werden.

Auch die Sprachkommunikation zwischen Smartphone und Kamera ist möglich, um beispielsweise dem Postboten zu sagen, wo er das Päckchen ablegen soll.

Die Latenzen (Meldeverzögerungen) und die Beschränkung auf einen Alarm pro Minute sind in manchen Situationen etwas störend.

Mit EZVIZ-Connect ist die Verwendung von Amazon Alexa und Google Assistant vorbereitet. Und nicht zuletzt ist eine Verknüpfung mit dem Smart-Home-System Homematic IP möglich.

## Ausblick

Trotz vieler offensichtlicher Vorteile für die Vernetzung von Sensoren und Aktoren im IoT (Internet of Things) hat sich IEEE 802.11ah HaLow noch nicht auf breiter Basis durchgesetzt. Das erkennt man auch daran, dass es zwar WLAN-Router mit den kombinierten Frequenzbereichen 2,4 GHz und 5 GHz gibt, nicht jedoch mit HaLow-Sub-GHz. Kompetente Hobbyisten können sich jedoch mit HAT-Modulen (HAT: Hardware Attached on Top = aufgesteckte Hardware) für den Raspberry Pi behelfen, z. B. AHPI7292S, dem weltweit ersten Wi-Fi HaLow™ Raspberry Pi™ HAT-Modul des taiwanesischen Herstellers Alfa [4]. Die Zahl der damit zusammenarbeitenden Module von Alfa und anderen Herstellern ist jedoch sehr übersichtlich. Einer der Gründe könnte darin liegen, dass viele Garagentoröffner, elektronische Autoschlüssel, schnurlose Telefone, Funksensoren und andere Kurzstreckenübertragungssysteme im HaLow-Frequenzbereich arbeiten und bei einer großen Verbreitung dieses Funkstandards mit gegenseitigen Störbeeinflussungen zu rechnen ist. Das mindert möglicherweise das Engagement der Hersteller für den IEEE802.11ah-Standard. Man darf auf die weitere Entwicklung gespannt sein. **ELV**

## i Weitere Infos

Alle Infos finden Sie auch online unter:  
de.elv.com/elvjournallinks

- [1] [https://de.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](https://de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
- [2] <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-halow>
- [3] EZVIZ WLAN-Outdoor-Akku-Überwachungskamera-Set HB3: Artikel-Nr. 252690
- [4] <https://www.alfa.com.tw/products/ahpi7292s?variant=36473961283656>
- [5] <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/2102171.htm>

## Die IEEE802.11-Standards im Laufe der Zeit

Die Eigenschaften drahtloser Netzwerke für den lokalen Bereich werden durch die Normen des IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) in den WLAN-Normen der IEEE802.11-Reihe spezifiziert und für das Zusammenspiel herstellerübergreifender Produkte vereinheitlicht.

Die erste Version des Standards wurde 1997 verabschiedet. Sie spezifiziert gemäß dem ISO/OSI-Referenzmodell (7-Schichten-Modell) den Zugriff auf das Übertragungsmedium (MAC-Layer, MAC: Media Access Control, Unterschicht der Sicherungsschicht No. 2, auch Data Link Layer genannt) und die physische Schicht (Bitübertragungsschicht No.1, auch Physical Layer genannt) für lokale Funknetzwerke.

Im Laufe der Jahre ist eine kaum zu überschauende Vielzahl von Erweiterungen und Ergänzungen zum Ausgangsstandard IEEE802.11 hinzugekommen, von denen viele keine Marktrelevanz erlangt haben, andere aber (auch wegen ihrer internationalen Nutzung) mittlerweile zu den Grundeigenschaften von Netzwerkprodukten wie WLAN-Router, Access-Points, Repeater, WLAN-Adapter ... gehören.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen groben Überblick. Für Details sei auf die Internetseiten [1] und [5] verwiesen.

### IEEE802-11-Standards für drahtlose Netze

Jahr	Standard	Frequenz	Modulation	Datenrate	Status	Kommentar
1997	802.11	2,4 GHz	FHSS, DSSS	1–2 Mbit/s	veraltet	
1999	802.11a	5 GHz	OFDM	6–54 Mbit/s	aktiv	
1999	802.11b	2,4 GHz	DSSS mit CCK	5,5 oder 11 Mbit/s	veraltet	
2003	802.11g	2,4 GHz	OFDM	6–54 Mbit/s	aktiv	
2007	802.11-2007	→ Kommentar	→ Kommentar	→ Kommentar	aktiv	Zusammenfassung der Standards 802.11a,b,d,g,e,h,i,j
2009	802.11n	2,4 GHz, 5 GHz	→ 802.11-2007	6,5–72,2 Mbit/s (20 MHz CBW) 13,5–150 Mbit/s (40 MHz CBW) theor. 500 Mbit/s (4x4 MIMO)	aktiv	
2013	802.11ac	2,4 GHz, 5 GHz	→ 802.11-2007	6,5–96,3 Mbit/s (20-MHz CBW) 13,5–200 Mbit/s (40-MHz CBW) ...	aktiv	Erweiterung von 802.11n
2013	802.11ad	60 GHz	OFDM, QAM	6390 Mbit/s (OFDM) 5280 Mbit/s (QAM)	aktiv	Zur Übertragung hochauflösender Videos, mehrere Gbit/s, wenige m Reichweite
2016	802.11ah	900 MHz	BPSK, QPSK, OFDM	150 kBit/s (1-MHz-Kanal)	aktiv	Wi-Fi HaLow für das IoT, geringe Dämpfung beim Materialdurchtritt

#### Abkürzungen

CBW Channel Bandwidth (Kanalbandbreite)  
CCK Complementary Code Keying

DSSS  
FHSS  
OFDM

Direct Sequence Spread Spectrum  
Frequency Hopping Spread Spectrum  
Orthogonal Frequency Division Multiplex

QAM  
QPSK

Quadrature Amplitude Modulation  
Quadrature Phase Shift Keying