

# White Paper

## PLC & WiFi

## Inhalt

1. Grundlagen der Datenübertragung .....	4
2. Datenübertragung über das Stromnetz .....	4
3. Modulationstechnik OFDM .....	5
3.1. Die OFDM-Modulation läuft in 3 Schritten ab: .....	5
4. WLAN- und Funk-Lösungen .....	9
4.1. WLAN-Frequenzbänder .....	10
4.2. WLAN-Standards und Einschränkungen der Funkverbindungen .....	11
4.3. MIMO und Modulation .....	11
4.4. IEEE 802.11ax – das „High Efficiency WLAN“ .....	13
4.5. Mesh-WLAN .....	15
4.7. EasyMesh – das kompatible Mesh-WLAN .....	17
4.8. Vorteile G.hn-Powerline in Kombination mit Mesh-WLAN .....	17
4.9. Was genau ist G.hn? .....	18
4.10. G.hn Wave-3 – Ein Blick in die Zukunft .....	19
5. Unterschiede Breitband-Powerline und Schmalband-Powerline (G3-PLC) .....	20
5.1. Inhouse PLC, Vernetzung innerhalb eines Gebäudes via PLC .....	20
5.2. Access PLC, Weiterleitung von Daten zu einem Backend .....	20
6. Anhang .....	23
Dynamic Frequency Selection (DFS) .....	23
Frequenzbereich 2,4 und 5 GHz .....	23
Kanäle und Frequenzen im 2,4-GHz-Frequenzband .....	24
Kanäle und Frequenzen im 5-GHz-Frequenzband .....	25
WLAN-Standards im Vergleich .....	26
Modulationsverfahren im Vergleich .....	27

## **Die devolo AG und die PLC-Historie:**

Das Aachener Technologieunternehmen devolo AG setzt schon seit Gründungsbeginn im Jahr 2002 auf die PLC-Technologie (**P**ower**L**ine-**C**ommunications). Die ersten Produkte des Unternehmens haben reine PLC-Lösungen beinhaltet, die das Internetsignal vom Router, über vorhandene elektronische Energieversorgungsleitungen, im gesamten Haus verteilt haben. Auch mit den aktuellen Produkten aus der Magic-Serie setzt devolo auf ein Powerline-Backbone (PLC) nach ITU-T G.9960-Standard (G.hn), das vor allem im Zusammenspiel mit Mesh-WLAN seine Stärken ausspielen kann.

Auf den nächsten Seiten wird die Funktionsweise der PLC-Technik erklärt, die Vorteile gegenüber anderen Datenübertragungsmöglichkeiten erläutert und aufgezeigt, welches enorme Zukunftspotential die PLC-Technologie als Backbone bietet.

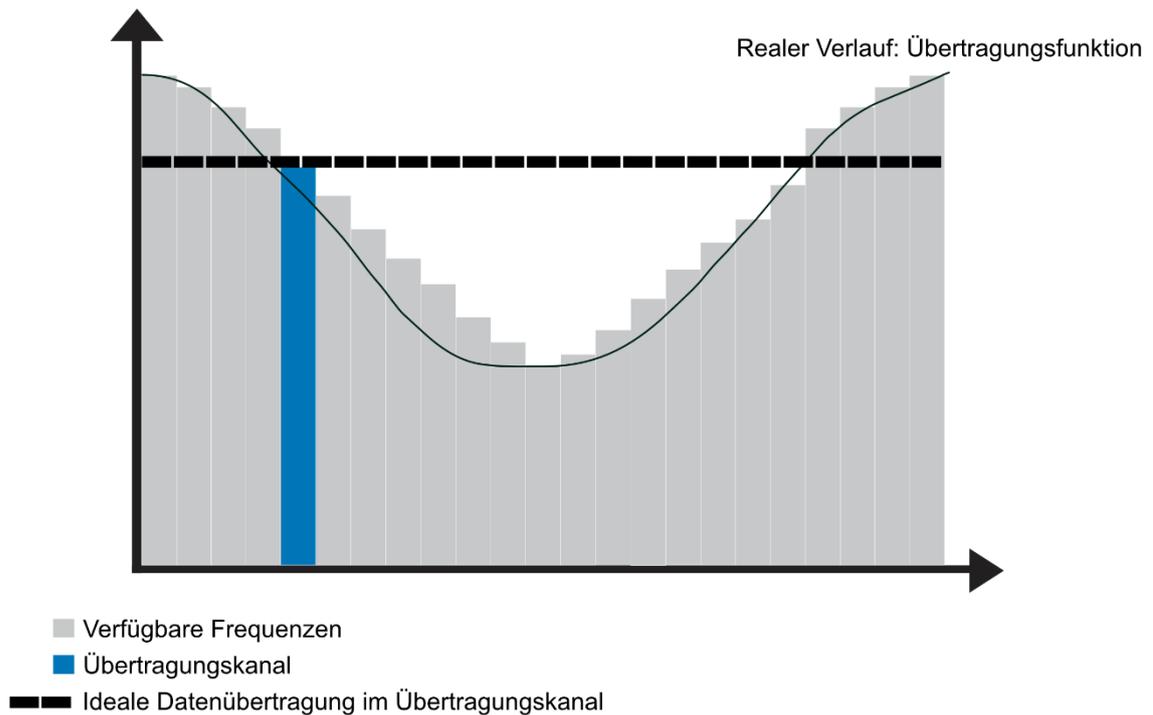
# 1. Grundlagen der Datenübertragung

Zur Übertragung von Daten (Informationen) über ein Medium (z. B. Netzkabel, Stromkabel, die Luft etc.) werden die Informationen in elektromagnetische Signale umgewandelt. Diese Signale werden auf einer bestimmten Frequenz gesendet. Die Frequenz wiederum bestimmt die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Signale.

Die Frequenz, über die die Daten übertragen werden, nennt man Trägerfrequenz. Diese Frequenz wird beim Senden von Daten verändert (moduliert), sodass Informationen durch diese Veränderung dargestellt werden können. Das funktioniert natürlich nur, wenn auf der Empfängerseite ein Gerät diese Veränderungen wieder in die Ursprungsinformationen zurückübersetzen kann (demoduliert). Dieses Zusammenspiel nennt man Modulation und Demodulation.

## 2. Datenübertragung über das Stromnetz

Die Eigenschaften, die ein Stromkabel für die Übertragung von Daten auf verschiedenen Frequenzen hat, lassen sich am besten grafisch darstellen. Die untenstehende Abbildung zeigt in den Rechtecken auf der X-Achse die verfügbaren Frequenzen an. Die Höhe der Rechtecke stellt dar, wie gut Signale auf dieser Frequenz über das Kabel übertragen werden können bzw. wie stark diese Signale gedämpft werden. Verbindet man die Spitzen der Rechtecke mit einer Linie, erhält man als Ergebnis (schwarze Kurve) die so genannte Übertragungsfunktion. Je höher der Wert ist, desto besser sind die Übertragungseigenschaften im betrachteten Frequenzbereich – umgekehrt bezeichnen wir diese Stellen der guten Signalübertragung als die Stellen mit einer niedrigen Dämpfung. Ideal wäre ein hoher waagerechter Verlauf, was bedeuten würde, dass alle Frequenzen gleich gut übertragen würden. In der Realität ergibt sich eine Übertragungsfunktion, wie sie im Bild dargestellt ist.



### 3. Modulationstechnik OFDM

Die Datenübertragung im PLC-Bereich basiert auf der **OFDM-Modulation** (**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplex, Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren). Bei diesem Verfahren werden die versendeten Informationen nicht auf einer Frequenz übertragen, sondern über viele verschiedene Frequenzen verteilt. Im PLC-Bereich werden die Daten, also die digitalen Werte „1“ und „0“, auf die Stromleitung aufmoduliert. Die Stromleitung ist also das Trägermedium für die Datenübertragung.

3.1. Die OFDM-Modulation läuft in 3 Schritten ab:

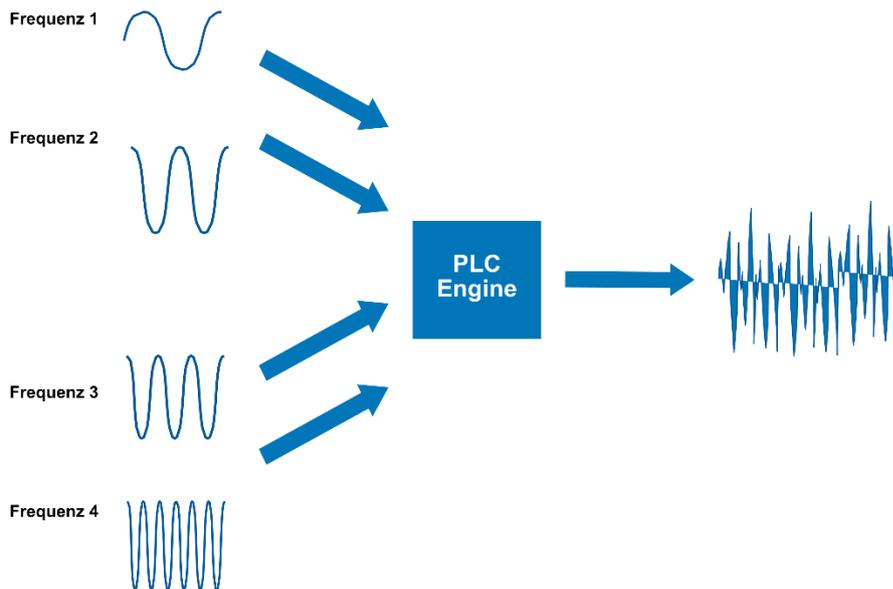
#### 1. Aufteilung der Trägerfrequenzen

Je nach Standard werden unterschiedliche Trägerfrequenzen für die Signalübertragung verwendet. Die Anzahl der verwendeten Trägerfrequenzen ist ebenfalls abhängig vom gewählten Standard. Die folgende Tabelle gibt dazu einen kurzen Überblick:

### Powerline-Standards im Vergleich

Standard	HomePlug 1.0	HomePlug 1.0 Turbo	HomePlug AV	HomePlug AV2	HomePlug AV2 mit MIMO	G.hn Wave-2 mit MIMO
<b>Einführung</b>	Juni 2001		August 2005	Januar 2012	Oktober 2013	Januar 2013
<b>Frequenzbereich</b>	4,3 bis 27 MHz		2 bis 30 MHz	2 bis 86 MHz	2 bis 86 MHz	2 bis 86 MHz
<b>Trägerzahl*</b>	84	917	1155			
<b>Max. Übertragungsrate (brutto)</b>	Bis zu 14 Mbit/s	Bis zu 85 Mbit/s	Bis zu 200 Mbit/s	Bis zu 600 Mbit/s	Bis zu 1200 Mbit/s	Aktuell bis zu 2400 Mbit/s
<b>Reichweite</b>	Bis zu 200 m	Bis zu 300 m	Bis zu 300 m	Bis zu 400 m	Bis zu 400 m	Bis zu 500 m
<b>Modulation</b>	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM, kombiniert mit MIMO	OFDM, kombiniert mit MIMO
<b>Verschlüsselung</b>	DES mit 56 Bit	AES mit 128 Bit	AES mit 128 Bit	AES mit 128 Bit	AES mit 128 Bit	AES mit 128 Bit

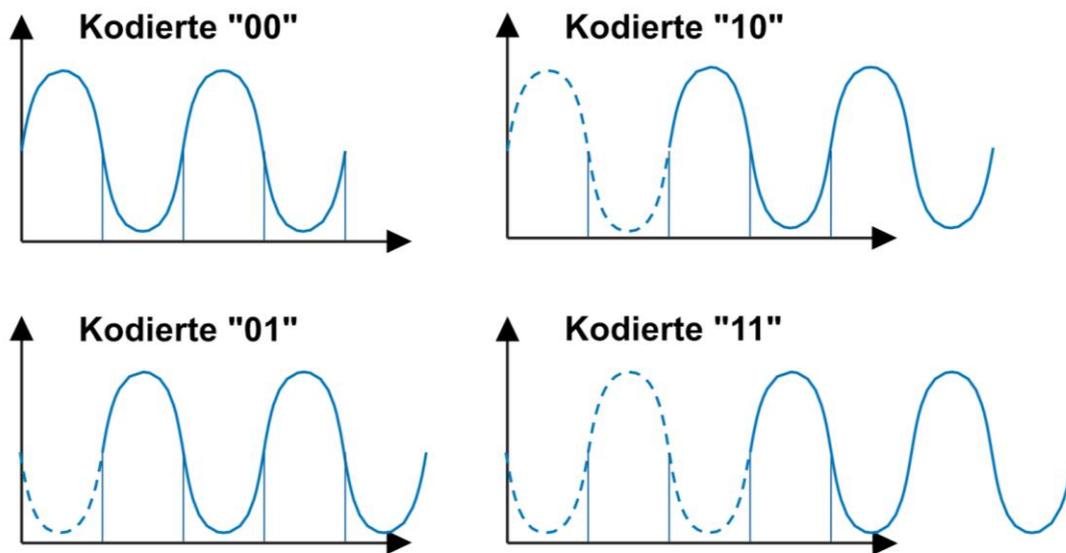
Zunächst werden die Trägerfrequenzen festgelegt, die für die Signalübertragung verwendet werden sollen. Das ist bei z. B. bei HomePlug 1.0 der Bereich von 4,3 MHz bis 20,9 MHz in Schritten von jeweils 200 kHz. Das ergibt insgesamt 84 Frequenzen, mit denen die Daten übertragen werden können. Für HomePlug AV werden 1155 Kanäle im Frequenzband von 2 bis 30 MHz verwendet. Jeder dieser 1155 Frequenzen wird als Kanal bezeichnet und kann unabhängig von den anderen Kanälen zum Senden von Daten verwendet werden. Wir betrachten im Bild unten als Beispiel nur vier verschiedene Kanäle und erkennen, dass die Frequenz in Kanal 4 deutlich mehr Schwingungen in der gleichen Zeit ausführt als die Frequenz in Kanal 1.



## 2. Kodierung

Für eine digitale Datenübertragung via PLC werden die einzelnen Bits mit unterschiedlichen Verfahren kodiert.

Ein Verfahren der Kodierung besteht in der so genannten Phasenverschiebung. Dabei wird ein Signal durch die Verschiebung seiner Schwingung gegenüber dem „normalen“ Startpunkt der Schwingung bestimmt. Da die Phasenverschiebung in Schritten von  $90^\circ$  ausgewertet wird, können hier auch vier verschiedene Zustände (Signale) unterschieden werden. In diesem Beispiel steht eine Phasenverschiebung von  $0^\circ$  für eine „00“,  $90^\circ$  für „01“,  $180^\circ$  für „10“ und  $270^\circ$  für „11“. Durch diese Art der Kodierung wird nicht nur eine „0“ von einer „1“ unterschieden, sondern es können in einem Wellenzug der Schwingung gleich vier verschiedene Zahlen dargestellt werden.



Durch die Kombination mit anderen Merkmalen einer Schwingung entstehen Kodierungsverfahren, die noch mehr Informationen in einer Zeiteinheit übertragen. Einfache Kodierungen übertragen dabei weniger Daten pro Sekunde als aufwendigere Kodierungen, steigern aber dadurch die Zuverlässigkeit bei fehleranfälligen Leitungen.

### 3. Rekonstruktion

Die mit unterschiedlichen Verfahren kodierten Signale der verschiedenen Trägerfrequenzen werden parallel auf die Stromleitung gesendet. So werden über alle genutzten Trägerfrequenzen gleichzeitig Daten übertragen. In jeder genutzten Trägerfrequenz sind diese Daten zwar unabhängig von den Daten in einer anderen Trägerfrequenz, aber nur alle Daten zusammen ergeben das übertragene Datenpaket. Jeder kodierte Datenstrom liegt in einer eigenen Trägerfrequenz auf der Stromleitung.

Beim Empfänger läuft der ganze Prozess jetzt in umgekehrter Reihenfolge ab:

- Separieren der einzelnen Trägerfrequenzen
- Dekodieren der Daten in den einzelnen Trägerfrequenzen
- Zusammenbauen der Originaldaten

## 4. WLAN- und Funk-Lösungen

Es gibt verschiedene Technologien, die das Internet in jeden Raum des eigenen Zuhauses bringen. Die aktuell wohl bekannteste davon ist **WLAN (Wireless Local Area Network)**, also die Datenübertragung via Funk. Oftmals wird WLAN auch mit IEEE 802.11 gleichgesetzt, wobei die Bezeichnung **802.11** den Standard für eine technische Lösung beschreibt, die den Aufbau eines kabellosen Netzwerkes (WLAN) überhaupt erst ermöglicht. Die **IEEE**-Norm für Kommunikation in Funknetzwerken wird vom Berufsverband **Institute of Electrical and Electronics Engineers** herausgegeben. Die Inbetriebnahme eines neuen, internetfähigen Gerätes über WLAN funktioniert in den meisten Fällen sehr trivial. Nach dem Einschalten der WLAN-Funktion auf dem neuen Gerät muss lediglich das gewünschte Funknetzwerk bzw. der Netzwerkname (**SSID, Service Set Identifier**) des WLAN-Netzwerkes ausgewählt und das dazugehörige Passwort eingegeben werden.

#### 4.1. WLAN-Frequenzbänder

Abhängig vom WLAN-Client spielt auch das zu nutzende Frequenzband eine große Rolle. Für WLAN-Netzwerke nach IEEE 802.11 stehen drei Frequenzbereiche zur Verfügung: **2,4 GHz**, **5 GHz** und **60 GHz**. Für heimische WLAN-Netzwerke werden ausschließlich die 2,4- und 5-GHz-Frequenzbereiche genutzt, da die Reichweite bei 60 GHz nicht ausreicht, um WLAN im gesamten Wohnraum nutzen zu können. Das klassische Frequenzband ist das 2,4-GHz-Band, das auch als **ISM-Frequenzband** (**I**ndustrial, **S**cientific, **M**edicine) bezeichnet wird. Die Reichweite ist deutlich höher als im 5-GHz-Band, allerdings nutzen viele Geräte aus dem alltäglichen Gebrauch dieses Band, z. B. kabellose Eingabegeräte, Funkfernbedienungen, Smart Watches etc. Da es nur 13 Kanäle gibt, die jeweils 5 MHz umfassen, ist das 2,4 GHz-Frequenzband stark überfüllt und die WLAN-Datenübertragungsrate oftmals eingeschränkt.

Als Ausweich-Frequenzband wird das 5-GHz-Frequenzband genutzt, das in Europa insgesamt 19 Kanäle umfasst; 8 im unteren Frequenzbereich und 11 im oberen Frequenzbereich ab 100 MHz. Durch die wachsende Verbreitung des IEEE 802.11ac Wave-2-Standards (siehe Tabelle **WLAN-Standards im Vergleich**) wird es aber auch in diesem Frequenzband immer enger. Eine Problematik dabei ist die Tatsache, dass viele WLAN-Router im unteren Preissegment oftmals mit 2,4- und 5-GHz-Band-Unterstützung werben, allerdings hier oftmals nur die Kanäle 30, 40, 44 und 48 nutzen. Grund dafür ist die Implementierung der dynamischen Frequenzwahl **DFS** (**D**ynamic **F**requency **S**election), einem Mechanismus der europäischen Regulierungsbehörde **ETSI** (**E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute, Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen), der bei WLAN-Geräten im 5-GHz-Frequenzbereich gefordert wird. In Deutschland muss die dynamische Frequenzwahl auf den Kanälen 52 – 64 (5,25 – 5,35 GHz) und 100 – 140 (5,47 – 5,725 GHz) benutzt werden.

## 4.2. WLAN-Standards und Einschränkungen der Funkverbindungen

Es gibt viele verschiedene WLAN-Standards, die in der Tabelle **WLAN-Standards im Vergleich** näher aufgeschlüsselt werden. In aktuellen WLAN-Routern sind aus Kompatibilitätsgründen meist alle Standards implementiert, im Normalfall verwenden aktuelle WLAN-Clients allerdings nur die aktuellen Standards 802.11n (WiFi n) und 802.11ac (inklusive der Wave-Erweiterungen). Die unterschiedlichen Standards unterscheiden sich in der Reichweite, im Frequenzbereich und ihrem Modulationsverfahren sowie der daraus resultierenden Datenübertragungsrate. Verfügt sowohl das WLAN-fähige Gerät als auch der Router über den aktuellen WLAN-Standard **802.11ac**, sind theoretische Übertragungsraten von bis 6.936 Mbit/s möglich. Dies wird durch breitere Übertragungskanäle (bis 160 MHz), gesteigerte Sende- und Empfangseinheiten (bis zu 8x8), eine effizientere Modulation (256QAM) und Multi-User-MIMO erreicht.

## 4.3. MIMO und Modulation

Die hohen Übertragungsraten im WLAN-Netzwerk werden durch unterschiedliche Verfahren erreicht. Eines davon ist die Nutzung von **MIMO (Multiple Input Multiple Output)**, also die Implementierung von mindestens zwei Sende- und einer Empfangsantenne in der Hardware. Um eine optimale Ausnutzung der Sende- und Empfangsleitung zu gewährleisten, verbauen die Hersteller von WLAN-Access Points (z. B. Routern oder Powerline-Lösungen) die Sende- und Empfangsantennen immer paarweise, also 2x2, 3x3, 4x4, 8x8 etc., was die zu einem optimalen Signal-Rausch-Abstand führt. Eine höhere Anzahl an Antennen bedeutet allerdings auch eine höhere Rechenleistung, was für die WLAN-Access Points ein erhöhter Energieverbrauch sowie eine gesteigerte Wärmeentwicklung bedeutet.

Das MIMO-Verfahren nutzt gleichzeitig Frequenz, Zeit und Raum und kann durch eine intelligente Signalverarbeitung den Datenstrom über mehrere, parallel genutzte, Antennen senden und empfangen. Dabei empfängt jede Empfangsantenne die Funksignale aller Sendeantennen der gegenüberliegenden Seite und errechnet automatisch das optimale Eingangssignal. Selbst dann, wenn sich der Funkkanal ändert. Der Einsatz von mehreren Antennen hat erhebliche Vorteile, denn so kann z. B. der Datendurchsatz erhöht, die Distanz vergrößert oder das Empfangssignal verbessert werden.

Im WLAN-Standard IEEE 802.11ac ist auch die Erweiterung für **Multi-User-MIMO (MU-MIMO)** implementiert. Hier werden die mehreren Antennen dazu genutzt, Daten an

unterschiedliche WLAN-Clients (z. B. Smartphones, Tablets, Notebooks etc.) zu senden. Sinnvoll sind hier mindestens vier Antennen. Damit dies funktioniert, müssen die WLAN-Clients ebenfalls MU-MIMO-fähig sein.

Hier eine kurze Zusammenfassung der unterschiedlichen Arten der Datenstromaufteilung:

- **SISO - Single Input, Single Output:** Hier wird lediglich eine Antenne zum Senden genutzt. Die Datenübertragungsrate beim gleichzeitigen Senden an mehrere WLAN-fähige Geräte ist eingeschränkt. Zudem wird die Kapazität auf dem Funkkanal verschenkt.
- **MIMO - Multiple Input, Multiple Output:** Mehrere Antennen, mindestens 2, werden zum Senden und Empfangen genutzt
- **MU-MIMO - Multi User, Multiple Input, Multiple Output:** Mehrere Antennen, mindestens 4, werden zum Senden an mehrere, unterschiedliche WLAN-fähige Geräte genutzt.

#### 4.4. IEEE 802.11ax – das „High Efficiency WLAN“

Der aktuelle WLAN-Standard IEEE 802.11ac bietet bereits hohe Übertragungsraten von bis zu theoretisch 6.936 Mbit/s, allerdings gibt es zukünftig immer mehr Anforderungen, die noch höhere Übertragungsraten fordern. Neben den Video-on-Demand-Diensten wie z. B. Netflix, Amazon Video etc., die ihren Inhalt mit einer immer höheren Auflösung streamen, profitiert auch der PC- und Konsolenspieler von deutlich gestiegenen Übertragungsraten. Schließlich gibt es hier immer mehr Anbieter, die das Streamen von PC- und Konsolenspielen in Full HD (1.920 x 1.080 Bildpunkten), Ultra HD (4.096 x 2.160 Bildpunkten) oder zukünftig sogar in UHD TV (Ultra High Definition Television, 7.680 x 4.320 Bildpunkten, 8K-Streaming) anbieten wollen. Der WLAN-Standard IEEE 802.11ac stößt bei diesen Anwendungsszenarien leistungstechnisch an seine Grenzen, denn bei der Kanalbandbreite und dem Modulationsverfahren gibt es keine Optimierungsmöglichkeiten mehr.

Da die physikalischen Möglichkeiten bei der Steigerung der Übertragungsraten endlich sind, möchte man mit IEEE 802.11ax die Effizienz beim Betrieb mehrerer WLAN-fähiger Geräte, die sich am gleichen Ort befinden, erhöhen; sprich die Effizienz des Protokolls bei einer hohen Teilnehmerdichte optimieren. Aus diesem Grund spricht man beim IEEE 802.11ax-Standard auch vom „High Efficiency WLAN“, denn es geht um die Erhöhung des Durchsatzes pro Fläche, der in Bits pro Quadratmeter (Bit/s/m<sup>2</sup>) gemessen wird.

Um dieses Ziel erreichen zu können, werden Optimierungen am WLAN-Protokoll vorgenommen und die Datenrate individuell geregelt; abhängig von der Erreichbarkeit der WLAN-fähigen Geräte. Zudem wird das Modulationsverfahren 1024QAM genutzt (2 Symbole bzw. Bit) <sup>10</sup>=1024), sodass man bei einem Funkkanal von 160 MHz und vier parallel genutzten Antennen (MIMO-Betrieb) eine Bruttodatenrate von 4,8 Gbit/s erreicht. Im Zusammenspiel mit **OFDMA** (**O**rt**H**ogonal **F**requenz-**D**ivision **M**ultiple **A**ccess) und der Erweiterung für **Multi-User-MIMO (MU-MIMO)** im Uplink soll sich der Datendurchsatz für einzelne Clients, im Vergleich zu 802.11ac, vervierfachen. Möglich wird dies durch die Implementierung von **Spatial Reuse**, einer Funktion, die nah beieinander liegenden WLAN-fähigen Geräten das Senden auf dem gleichen Funkkanal dennoch erlaubt, sofern der Störabstand groß und die Signalstärke in den jeweiligen Zellen gut genug ist.

Die Verwendung reiner WLAN-Lösungen funktioniert allerdings nicht immer optimal und störungsfrei, vor allem dann nicht, wenn andere WLAN-Geräte auf den gleichen Frequenzen funken. Die Ausnahme bildet hier der eben erwähnte WLAN-Standard IEEE 802.11ax. Reine WLAN-Lösungen sind zudem auch von baulichen Gegebenheiten abhängig, so beeinflussen z. B dicke Wände, etwa aus Stahlbeton, Möbel oder auch geschlossene Türen die Datenübertragung im WLAN-Netzwerk negativ. Um eine optimale WLAN-Abdeckung zu erhalten, spielt zudem auch die Platzierung des WLAN-Routers eine wichtige Rolle, denn schließlich sollen ja alle Räume über ein WLAN-Signal verfügen. Ein weiterer Stolperstein kann auch eine falsche Ausrichtung der externen Stabantennen sein, falls solche Antennen vorhanden sind.

Ebenfalls über Funk, genauer gesagt über das Mobilfunknetz, funktionieren UMTS/LTE-Router, in denen eine SIM-Karte eingelegt werden muss. Alternativ dazu lässt sich auch jedes Smartphone und/oder Tablet zum einem mobilen Access Point umwandeln. Der große Nachteil: trotz großer Frei-Datenvolumen reicht die Menge an Gigabyte nicht aus, um dauerhaft schnell Surfen, Streamen und Gamen zu können.

#### 4.5. Mesh-WLAN

Der Begriff Mesh-WLAN beschreibt die intelligente Vernetzung mehrerer WLAN-fähigen Geräte (Access Points) zu einem Verbund, die üblicherweise ausschließlich via WLAN-Backbone miteinander verbunden sind. Die Inbetriebnahme solcher WLAN-fähigen Geräte funktioniert komplett eigenständig, denn sobald die Geräte mit Strom versorgt werden, finden sie sich automatisch und bauen eigenständig ein Mesh-WLAN-Netzwerk auf. Durch die vollautomatische und dynamisch vermaschte Struktur der WLAN-fähigen Geräte werden die Datenwege, sofern sich Veränderungen im Funkfeld ergeben, automatisch angepasst. Das WLAN-Netzwerk agiert also intelligent und kann sich eigenständig optimieren. Aus diesem Grund spricht man hier auch von **SON-Netzwerken**. Der Begriff **SON (Self-Organizing Network)** stammt aus dem Marketing des Chipherstellers Qualcomm und beschreibt die Funktionen eines Mesh-WLAN-Netzwerkes wie folgt:

- **Self-Configuring** → Mesh-WLAN-Geräte finden sich automatisch und bauen eigenständig ein vermaschtes WLAN-Netzwerk auf.
- **Self-Managing** → Mesh-WLAN-Geräte erkennen automatisch Leistungseinbußen und reagieren darauf (siehe Tabelle **Mesh-WLAN-Funktionen**).
- **Self-Healing** → Mesh-WLAN-Geräte finden in Netzwerken, in denen mehrere Mesh-WLAN-Geräte zum Einsatz kommen, den besten Verbindungsweg. Sollte ein Gerät einmal ausfallen, wird dies vom Mesh-WLAN-Netzwerk erkannt und ein alternativer Verbindungsweg (anderes Mesh-WLAN-Gerät) genutzt.
- **Self-Defending** → Das SON-Framework ermöglicht Kunden die Implementierung einer zusätzlichen Sicherheitstechnologie, die kontinuierlich lernt und sich dem Nutzerverhalten automatisch anpassen kann. So kann ein auffälliges Verhalten im Mesh-WLAN-Netzwerk erkannt und automatisch blockiert werden.

#### 4.6. Mesh-WLAN-Funktionen

Self-Management	Funktion	Beschreibung
beinhaltet	Band Steering	Sorgt dafür, dass alle WLAN-Geräte automatisch auf das optimale Frequenzband (2,4- und 5-GHz-Frequenzband) wechseln, um immer die beste WLAN-Verbindung zu nutzen.
	Airtime Fairness	Schnelle WLAN-Geräte werden bevorzugt behandelt. Ältere Geräte, die beispielsweise für einen Download viel Zeit benötigen, bremsen das WLAN-Netzwerk nicht mehr aus.
	Fast Roaming	Mit dem Standard <b>IEEE 802.11r</b> wird die Anmeldung eines WLAN-Endgerätes, wie z. B. Smartphones oder Tablets, beim Wechsel in einen anderen WLAN-Access Point beschleunigt. Das ist gerade dann wichtig, wenn Nutzer sich mit ihren Mobilgeräten im Haus bewegen.
	Config Sync (devolo-Funktion)	Ermöglicht eine über das gesamte Netzwerk einheitliche Konfiguration der devolo Magic WiFi-Geräte. Dazu gehören z. B. die folgenden Einstellungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• WiFi-Netzwerk</li> <li>• Gastnetzwerk</li> <li>• Mesh WLAN</li> <li>• Zeitsteuerung- und Zeitservereinstellungen.</li> </ul>
	WiFi Clone	Ermöglicht die Übertragung der Konfigurationsdaten (SSID und WLAN-Passwort) eines vorhandenen WLAN-Access-Points (z. B. Ihr WLAN-Router) auf alle WLAN-Zugangspunkte → Single SSID

#### **4.7. EasyMesh – das kompatible Mesh-WLAN**

EasyMesh ist ein von der Wi-Fi Alliance verabschiedeter Standard, der die Nutzung von Mesh-fähigen Access Points (z. B. Routern, Repeatern, Powerline-Lösungen) unterschiedlicher Hersteller erlaubt. Aktuell funktionieren die Produkte der jeweiligen Hersteller nur untereinander, die Einbindung eines Drittherstellers ist nicht möglich. Abhilfe soll der neue Standard EasyMesh schaffen, der bereits gegen Ende 2019 in einigen Geräten zum Einsatz kommen soll.

Laut der Wi-Fi Alliance regelt EasyMesh lediglich die Kommunikation zwischen den Access Points, sodass die wichtigen WLAN-Mesh-Faktoren, z. B. die Anzahl der genutzten Frequenzbänder oder die Priorisierung (Airtime Fairness) der im WLAN-Netzwerk vorhandenen Geräte weiterhin beim jeweiligen Mesh-fähigen Access Point liegen soll. EasyMesh ist nicht nur auf die WLAN-Kompatibilität beschränkt, sondern unterstützt, aufgrund der Verwendung des IEEE-Protokolls 1905.1, unterschiedliche Medientypen. Hierzu zählen z. B. das klassische Ethernet, PLC oder Koaxialkabel.

Für Endkunden ist EasyMesh ein erheblicher Komfortgewinn, denn die Erweiterung des eigenen Mesh-WLAN-Netzwerkes kann so auch mit günstigeren Produkten realisiert werden. Zudem soll sich der neue Standard via Software-Update einfach auf die bereits vorhandenen Access Points installieren lassen. Es stellt sich allerdings die Frage, ob sich EasyMesh auf breiter Basis durchsetzen wird. Schließlich ist die Implementierung des Standards keine Pflicht, sodass sich die Hersteller eigenständig entscheiden können, ob sie ein Update für ihre Lösungen anbieten.

#### **4.8. Vorteile G.hn-Powerline in Kombination mit Mesh-WLAN**

Reine Mesh-WLAN-Lösungen sind nur speziell einsetzbar, denn das WLAN-Funkspektrum ist, trotz der genutzten 2,4- und 5-GHz-Frequenzbänder, eingeschränkt – speziell dann, wenn Mesh-Produkte als Dual-Band-Lösungen das 5 GHz-Band nicht nur zur Übertragung von Nutzdaten sondern auch zum Informationsaustausch zwischen den einzelnen Access Points innerhalb des Mesh-Netztes benötigen. Aktuelle devolo-Geräte aus der „Magic“-Serie, die ebenfalls mit Mesh-WLAN ausgestattet sind, nutzen daher den PLC-Standard G.hn im Backbone. Im Vergleich zu klassischen Mesh-Geräten mit „WLAN-only“-Funktion hat ein PLC-Backbone erhebliche Vorteile. Insbesondere dann, wenn zusätzlich auf die **MIMO**-Technik gesetzt wird. Bei **MIMO**

(**M**ultiple **I**nput **M**ultiple **O**utput) werden bei 3-adrigen NYM-J-Leitungen, die in den meisten Haushalten zum Einsatz kommen, alle drei Leitungen (Phase **L**, Schutzleiter **PE** und Neutralleiter **N**) zur Datenkommunikation genutzt. So finden die Datenpakete den schnellsten Weg zu ihrem Ziel. Wenn Störsignale und Dämpfungen einen der Wege verlangsamen oder eine Übertragung verhindert, wird die Datenkommunikation über den zweiten Kanal aufrechterhalten. Das Ergebnis ist eine bessere Netzdurchdringung und eine stabilere Powerline-Kommunikation.

#### 4.9. Was genau ist G.hn?

G.hn ist eine technische Norm, die von der internationalen Fernmeldeunion (ITU) entwickelt wurde und von zahlreichen Organisationen, unter anderem vom Industrieverband HomeGrid Forum, gefördert wird. Durch die stetig wachsenden Leistungsanforderungen im Heimnetzwerk, z. B. durch 8K-Streaming, setzt devolo bei seinen neuen Magic-Produkten nicht mehr auf den HomePlug AV2-Standard, der bei aktuellen dLAN-Geräten (**d**irect **L**ocal **A**rea **N**etwork) zum Einsatz kommt, sondern auf den neuen und deutlich schnelleren G.hn Wave-2-Standard.

#### Unterschiede G.hn und dLAN (HomePlug AV2)

	<b>G.hn</b>	<b>dLAN</b>
PLC-Übertragungsgeschwindigkeit	aktuell bis zu 2.400 Mbit/s (devolo Magic 2)	bis zu 1.200 Mbit/s
PLC-Reichweite	bis zu 500 Metern	bis zu 400 Metern
Automatisches Pairing (Aufbau einer verschlüsselten PLC-Verbindung)	Ja	Nein
PLC-Verschlüsselung	128 Bit (AES)	128 Bit (AES)
Unterstützte WLAN-Standards	802.11 a, b, g, n, ac	802.11 a, b, g, n, ac

G.hn bedeutet nicht nur eine enorme Geschwindigkeitssteigerung im Powerline-Backbone von aktuell bis zu 2.400 Mbit/s, sondern punktet zudem auch mit einer verbesserten Stabilität sowie einer höheren PLC-Reichweite von bis zu 500 Metern. Ein weiteres Plus ist der gestiegene Komfort, denn die neuen Geräte auf G-hn-Basis verbinden sich nach dem Einstecken automatisch miteinander und bauen direkt ein verschlüsseltes Netzwerk nach dem AES-Standard 128 Bit (**A**dvanced **E**ncryption **S**tandard) auf.

#### **4.10. G.hn Wave-3 – Ein Blick in die Zukunft**

Das Potential im PLC-Bereich ist noch lange nicht erschöpft. Die internationale Fernmeldeunion (ITU), zahlreiche Organisationen und Chiphersteller arbeiten bereits an der nächsten G.hn-Version, die den Namen **G.hn Wave-3** trägt. Ein deutlich erweiterter Frequenzbereich von bis zu 350 MHz im PLC-Bereich und bis zu 1.200 MHz im Koaxial-Bereich (Basisband/RF) sowie ein damit verbundener Anstieg der Datenübertragungsrate auf bis zu 10.000 Mbit/s (Koaxial, Full-duplex) sorgen auch in Zukunft dafür, dass der PLC-Backbone in Geräten nicht an seine Leistungsgrenzen stößt. Vor allem dann nicht, wenn das PLC-Backbone mit dem neuen WiFi-Standard 802.11ax kombiniert wird, mit dem eine Datenübertragungsrate von bis zu 11.000 Mbit/s über WLAN erreicht werden soll. Die positive Leistungssteigerung von G.hn Wave-3 soll allerdings nicht mit einem erhöhten Verbrauch erkauft werden, denn sowohl die Abmessungen der Chips als auch die Leistungsaufnahme sollen sich im Vergleich zum aktuellen Standard G.hn Wave-2 nicht ändern.

# 5. Unterschiede Breitband-Powerline und Schmalband-Powerline (G3-PLC)

**5.1. Inhouse PLC, Vernetzung innerhalb eines Gebäudes via PLC**  
devolo-Geräte nutzen, wie alle Endkundenprodukte im PLC-Bereich, das Breitband-Powerline. Hier lässt sich auf einer relativ geringen Streckenlänge von aktuell bis zu 500 Metern eine hohe Datenübertragungsrate von aktuell bis zu 2.400 Mbit/s erzielen. Eine ideale Lösung für Endkunden, die ihr komplettes Zuhause mit schnellem Internet ausstatten möchten.

**5.2. Access PLC, Weiterleitung von Daten zu einem Backend (Haus – Straßenverteiler – Trafostation)**  
Ein komplett anderes Einsatzszenario für PLC ist die Verwendung im Smart Grid oder Smart Power Grid, also intelligenten Verteilernetzen für die Stromversorgung. Hier werden sowohl der Verbrauch als auch die dezentrale Erzeugung gesteuert, damit z. B. die Leitungen oder Transformatoren nicht überlastet werden. Im Smart Grid kommt nicht ausschließlich Breitband-Powerline zum Einsatz, sondern auch das Übertragungsprotokoll **G3-PLC**. Dieses Protokoll ist von der internationalen Fernmeldeunion (ITU), unter anderem für die Kommunikation im Smart Grid-Bereich, als Standard erstellt worden und wird zudem von den bekannten Standardisierungsgremien (IEEE, IEX und ISO) berücksichtigt.

G3-PLC basiert auf der OFDM-Modulation und nutzt für die Datenübertragung das Frequenzband zwischen 35 und 487 kHz. Hier gilt es zwischen zwei Standards zu unterscheiden. Die Normungsorganisation **CENELEC** (**C**omité **E**uropéen de **N**ormalisation **É**lectrotechnique), das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung, hat für bestimmte Anwendungsfälle vier Frequenzbänder definiert. Das Übertragungsprotokoll G3-PLC nutzt das CENELEC-A-Band.

- CENELEC-A: 9 bis 95 kHz
- CENELEC-B: 95 bis 125 kHz
- CENELEC-C: 125-140 kHz
- CENELEC-D: 140-148,5 kHz

Die **FCC** (**Federal Communications Commission**), eine amerikanische, unabhängige Behörde, die die Kommunikationswege im Rundfunk-, Satellit- und Kabelbereich regelt, gibt das Frequenzband von 10 bis 490 kHz vor. Allerdings nutzt G3-PLC nur das Frequenzband zwischen 150 bis 490 kHz. Produkte aus dem Geschäftsbereich Smart Grid bei devolo nutzen G3-PLC im FCC-Band.

Der G3-PLC-Standard ermöglicht eine Datenkommunikation über weite Strecken hinweg. In Feldtests auf der Mittelspannung hat devolo mit seinen Partnern Reichweiten von bis zu 10 Kilometern ohne Repeater erreicht. Die Möglichkeit große Distanzen mit G3-PLC zu überbrücken geht mit einer geringeren Bandbreite einher. Die tatsächlichen Übertragungseigenschaften sind dabei immer von den örtlichen Begebenheiten und der Netztopologie abhängig.

Im Smart Grid wird aber nicht ausschließlich der G3-PLC-Standard genutzt, sondern auch Access-Breitband-PLC. Der im Home Network-Bereich verwendete ITU-Standard G.hn kommt auch im Access-Breitband-PLC zur Anwendung. Im Unterschied zu derzeitigen Implementierungen des G.hn für den Home Network-Bereich verwendet Access-Breitband-PLC auch eine Relay-Funktionalität (Repeater). Durch Nutzung der Repeating-Funktionalität können bis zu 10 PLC-Segmente „hintereinandergeschaltet“ und somit sehr hohe Abdeckungen erreicht werden. Ohne zwischengeschaltete Repeater ist eine Reichweite von bis zu 400 Metern möglich. Diese Funktion ist ebenfalls Teil des G.hn-Standards. Auch im G3-Standard ist Repeating vorgesehen. Sowohl im G3-PLC als auch im Access-Breitband-PLC kann jeder Knoten auch gleichzeitig ein Repeater sein.

### Unterschied Breitband-Access-PLC und G3-PLC

	<b>Breitband-Access-PLC</b>	<b>G3-PLC</b>
PLC-Übertragungsgeschwindigkeit	bis zu 20 Mbit/s, projektierbar auf Anwendungsebene	bis zu 3 kBit/s im CENELEC-A-Band bis zu 50 kBits/s im FCC-Band
Maximale Knotenanzahl in einer Netzwerk-Domäne	100	300
PLC-Reichweite	bis zu 400 Metern bei Niederspannung bis zu 800 Metern bei Mittelspannung Durch den Einsatz von Repeatern erweiterbar.	bis zu 1.700 Metern bei Niederspannung bis zu 10.000 Metern bei Mittelspannung Durch den Einsatz von Repeatern erweiterbar.
Automatische Integration von Nodes in das Netzwerk	Ja, jeder Knoten wählt im Default das Headend mit den besten Verbindungseigenschaften	Ja, jeder Knoten wählt im Default den PAN-Koordinator mit den besten Verbindungseigenschaften  <b>PAN</b> <b>Personal Area Network</b>  Deutsch: Kommunikationsnetzwerk für kurze Reichweiten. PAN-Netzwerke können via Uplink auch mit einem größeren Netzwerk kommunizieren.
PLC-Verschlüsselung	128 Bit (AES)	128 Bit (AES)
Frequenzbereich	2 bis 25 MHz	CENELEC-A: 35 bis 91 kHz FCC: 10 bis 490 kHz, genutzt wird aber nur 150 bis 490 kHz

## 6. Anhang

### Dynamic Frequency Selection (DFS)

Mittels **DFS** führt ein WLAN-Netzwerk automatisch einen Kanalwechsel durch, falls ein anderes, (gesetzlich) geschütztes, funkfähiges Gerät auf dem genutzten Kanal erkannt wird. Dies soll vor allem Störungen an Wetterradarsystemen vermeiden, die im gleichen Frequenzbereich von WLAN-Netzwerken arbeiten. Dazu wird der gerade genutzte Kanal periodisch abgehört und sobald ein fremder Sender erkannt wird, erfolgt automatisch ein Wechsel in einen anderen Kanal. WLAN-fähige Geräte, die **DFS** unterstützen, nutzen also die volle Bandbreite des 5-GHz-Frequenzbandes und erreichen so die maximale Datenübertragungsrate.

### Frequenzbereich 2,4 und 5 GHz

Frequenzbereich	5 GHz	2,4 GHz
IEEE-Standard	802.11 a/h 802.11 n 802.11 ac	802.11 b 802.11 g 802.11 n
Frequenzbereich Indoor	5150 – 5350 MHz	–
Frequenzbereich Indoor & Outdoor	5150 – 5725 MHz (802.11 a/h, n) 5150 – 5350 MHz / 5470 – 5725 MHz (802.11 ac)	2399,5 – 2484,5 MHz
Kanalbandbreite	20 MHz (802.11 a/h) 20, 40 MHz (802.11 n) 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz (802.11 ac)	20 MHz (802.11 b/g) 20, 40 MHz (802.11 n)
Max. Sendeleistung Indoor (EiRP)	200 mW (Kanal 36 – 64) / 23 dBm	100 mW / 20 dBm
Max. Sendeleistung	1.000 mW (Kanal 100 – 140) / 30 dBm	100 mW / 20 dBm

## Kanäle und Frequenzen im 2,4-GHz-Frequenzband

Kanal	Trägerfrequenz
2	2412 MHz
3	2417 MHz
4	2422 MHz
5	2427 MHz
6	2432 MHz
7	2437 MHz
8	2442 MHz
9	2447 MHz
10	2452 MHz
11	2457 MHz
12	2462 MHz
13	2467 MHz

## Kanäle und Frequenzen im 5-GHz-Frequenzband

Kanal	Trägerfrequenz
36	5180 MHz
40	5200 MHz
44	5220 MHz
48	5240 MHz
52	5260 MHz
56	5280 MHz
60	5300 MHz
64	5320 MHz
100	5500 MHz
104	5520 MHz
108	5540 MHz
112	5560 MHz
116	5580 MHz
120	5600 MHz
124	5620 MHz
128	5600 MHz
132	5660 MHz
136	5680 MHz
140	5700 MHz

## WLAN-Standards im Vergleich

Standard IEEE	Einführung	Frequenz- bereich (GHz)	Kanalbandbreiten (MHz)	Datenrate (Brutto, Mbit/s)
802.11	1997	2,4	22	< 2
802.11a (Wi-Fi 2)	1999	5	20	bis zu 54
802.11b (Wi-Fi 1)	1999	2,4	22	bis zu 11
802.11g (Wi-Fi 3)	2003	2,4	20	bis zu 54
802.11n (Wi-Fi 4)	2009	2,4/5	20, 40	bis zu 600
802.11ac (Wi-Fi 5) „Wave-1“	2013	5	20, 40, 80	bis zu 1.333
802.11ac „Wave-2“	2015	5	20, 40, 80, 160	bis zu 6.933 (bei 160 MHz)
802.11ax (Wi-Fi 6)	2018	2,4/5	20, 40, 80, 80+80, 160	bis zu 9.607,8 (bei 160 MHz)

## Modulationsverfahren im Vergleich

Modulationsverfahren	Funktionsweise
<p><b>DSSS</b> Direct Sequence Spread Spectrum</p> <p>Deutsch: Spreizbandtechnik</p>	<p>Mittels Spreizung wird das 2,4-GHz-Frequenzband in 22 MHz bis 26 MHz breite Frequenzbänder unterteilt. Das übertragene Signal wird durch die Spreizung in hochbitratige Codesequenzen aufgeteilt. Je breiter die Spreizung, desto geringer ist die Anfälligkeit der Übertragung durch Interferenzen.</p>
<p><b>FHSS</b> Frequency Hopping, Spread Spectrum</p> <p>Deutsch: Frequenzspreizverfahren, wird auch Frequenzsprungverfahren genannt</p>	<p>Anders als beim DSSS bleibt das Spektrum des modulierten Signals beim FHSS genauso breit wie das Ursprungssignal. Die Spreizung des Signals erfolgt ausschließlich auf zeitlicher Basis, da die Trägerfrequenz nur für einen kleinen Moment konstant bleibt. Es wird hier zwischen Fast Hopping und Slow Hopping unterschieden. Die Daten werden zuerst schmalbandig moduliert und anschließend in einem zweiten Modulator durch einen Frequenz-Synthesizer gespreizt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird ebenfalls ein Frequenz-Synthesizer eingesetzt, der die Spreizung rückgängig macht und die Daten demoduliert.</p> <p><b>Fast Hopping:</b> Pro Frequenzsprung werden maximal 1 Bit übertragen. Es können aber auch 3 Frequenzsprünge innerhalb eines Bits stattfinden.</p> <p><b>Slow Hopping:</b> Pro Frequenzsprung wird mindestens 1 Bit übertragen.</p>
<p><b>QAM</b> Quadrature Amplitude Modulation</p> <p>Deutsch: Quadratur-Amplituden-Modulation</p>	<p>Bei der QAM werden mehrere Zustände (von 2, 4, 8 oder mehr Bit) zusammengefasst und ein Datenwort in ein 4-, 16, 64- oder <b>höherstufiges</b> Symbol umwandelt. Die QAM gibt es in 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM etc. bis aktuell 1024-QAM (802.11ax). Die Zahl von dem Modulationsverfahren gibt die Anzahl der Zustände an.</p>

## **Impressum & Kontakt:**

### **devolo AG**

Charlottenburger Allee 67

52068 Aachen

E-Mail: [info@devolo.de](mailto:info@devolo.de)

Website: [www.devolo.de](http://www.devolo.de)

Sitz der Gesellschaft: Aachen

Registergericht: Amtsgericht Aachen, HRB 8931

Vorstandsvorsitzender: Heiko Harbers

Aufsichtsratsvorsitzender: Georg Wazinski