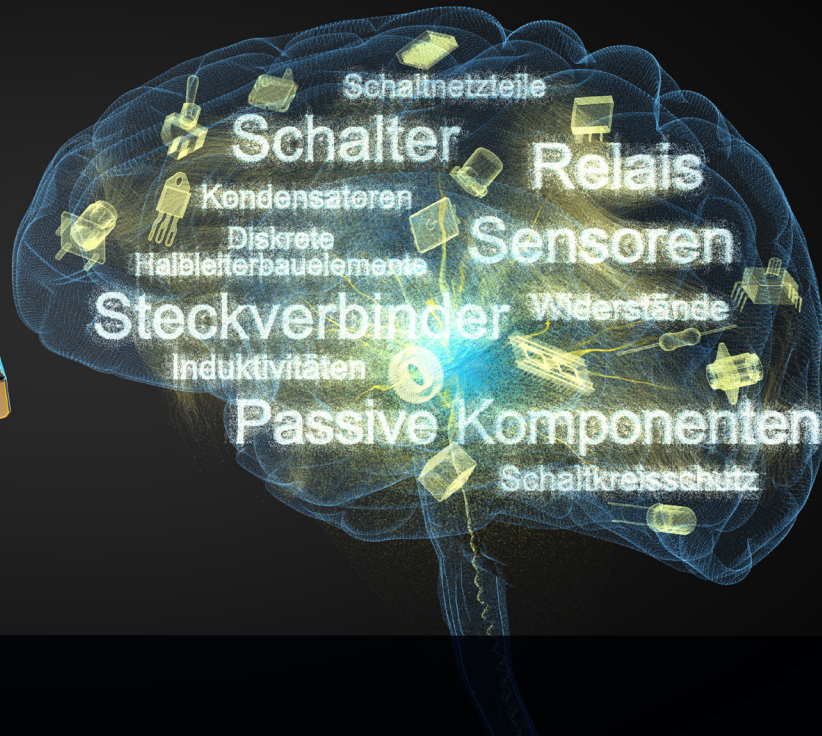
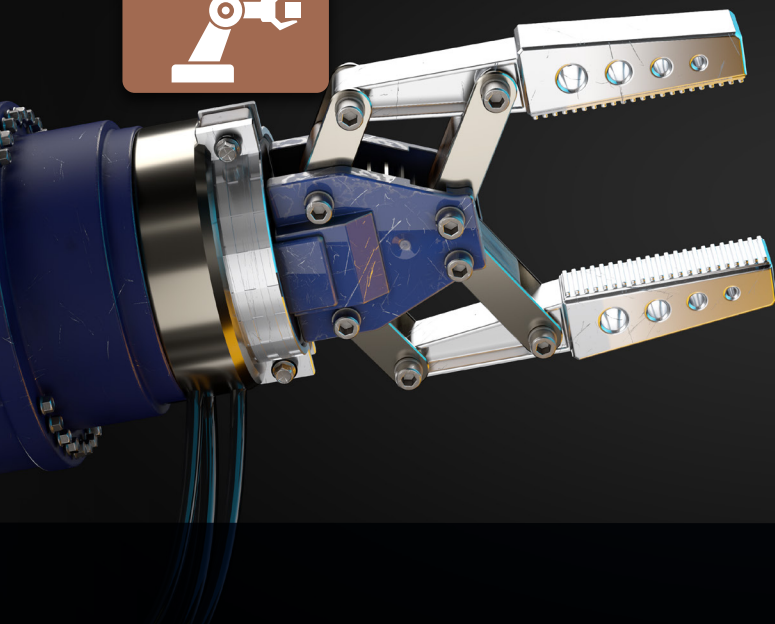




## Whitepaper

Industrial



# Wie geht's weiter mit der industriellen drahtlosen Kommunikation?

Autor: Felix Corbett, Director Supplier Marketing, TTI Europe

# Zusammenfassung

Die drahtlose Kommunikation ist ein wesentlicher Bestandteil moderner Industrie- und Handelsprodukte. Bekannt sind viele drahtlose Kommunikationstechnologien mit unterschiedlichen Eigenschaften. Im Zuge des Wachstums des IoT-Marktes wurden diese erweitert und neue Standards entwickelt, um die Anforderungen zum Beispiel in Bezug auf geringen Stromverbrauch zu unterstützen.

Dieses Papier versucht, eine gewisse Struktur in diesen eng gedrängten Markt zu bringen, indem es untersucht, welche Systeme am besten für persönliche, lokale und Weitbereichs-Netzwerke geeignet sind.



# Einleitung

Drahtlose Netzwerke lassen sich auf unterschiedliche Weise kategorisieren. Für das IoT sind die wichtigsten Eigenschaften Leistung, Reichweite und Datenrate. Weitere zu berücksichtigende Eigenschaften sind die Größe und Topologie des Netzwerks.

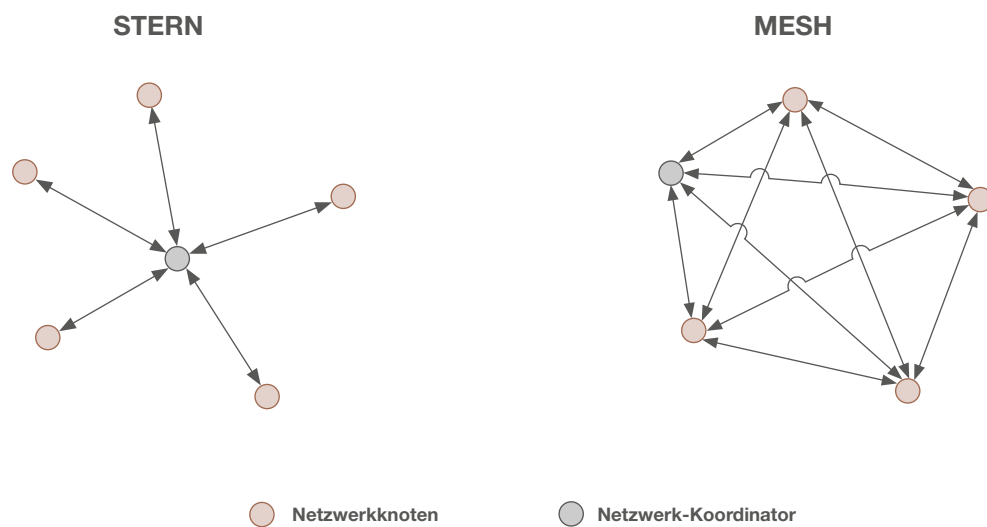
IoT-Anwendungen haben ein begrenztes Energiebudget. Der Stromverbrauch kann reduziert werden, wenn die Anwendung nur kleine Datenmengen übertragen muss, z.B. Sensoren, die regelmäßig Aktualisierungen ihrer Messwerte senden. In diesem Fall können sie zwischen den Nachrichten in einen stromsparenden Modus wechseln.

Die Reichweite und die Datenrate werden durch die Anforderungen der Anwendung bestimmt. Diese sind komplementär: Ein Niederfrequenzsignal kann weniger Daten übertragen, aber über größere Entfernungen empfangen werden.

Die mögliche Größe eines Netzwerks wird durch den Signalbereich, die maximale Anzahl der vom Protokoll unterstützten Knoten und die Topologie bestimmt.

Viele Netzwerke verwenden eine Sternkonfiguration, bei der alle Knoten mit einem zentralen Hub kommunizieren. Dies begrenzt die Größe des Netzwerks, es sei denn, zur Kommunikation zwischen mehreren Hubs wird eine weitere Infrastruktur verwendet. Andere Technologien verwenden ein Mesh (Maschennetz), in dem jeder Knoten mit seinen Nachbarn kommunizieren kann, und Nachrichten werden an ihr Endziel weitergeleitet.

**Abbildung 1. Netzwerk-Topologien**

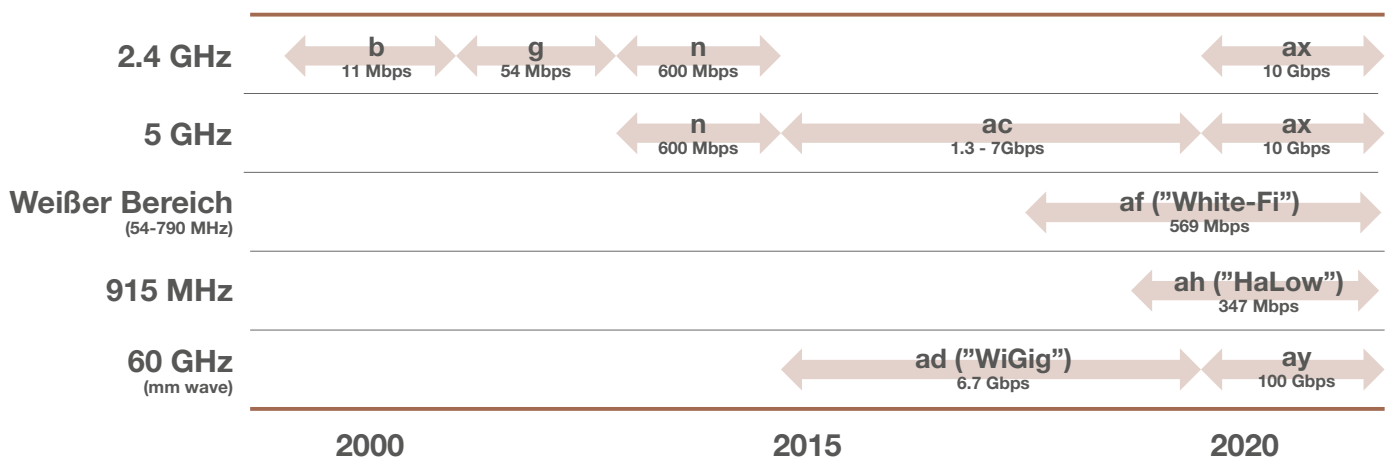


Ein weiterer Faktor, der zu berücksichtigen ist, ist die Wahl zwischen offenen Standards und proprietären Lösungen. Dieser kann sich darauf auswirken, wie viele Lieferanten das Protokoll unterstützen.

# Drahtlose Standards

Zwei Standards bilden die Grundlage für mehrere drahtlose Kommunikations-Protokolle. Der erste ist IEEE 802.11, besser bekannt als Wi-Fi. Dieser hat sich dadurch von seinem anfänglichen Ziel von 1 Mbit/s auf Gigabit-Geschwindigkeiten weiterentwickelt, dass Techniken wie mehrere Antennen (MIMO) und Richtungsübertragung (Beamforming) Verwendung finden. Manche der neuesten Änderungen sind besser auf das IoT abgestimmt, mit reduziertem Stromverbrauch und größerer Reichweite.

Abbildung 2. Wi-Fi-Zeitachse



Der andere Standard, IEEE 802.15.4, ist die Grundlage für Protokolle wie Zigbee und 6LoWPAN. Diese erweitern den Standard, indem sie besonders hochrangige Protokollschichten definieren. So definiert 6LoWPAN beispielsweise, wie IPv6 über 802.15.4 übertragen werden soll und ist wiederum die Grundlage für andere Protokolle wie Thread.

## Netzwerktypen

Die Kommunikationsreichweite kann verwendet werden, um Netzwerke in drei große Kategorien einzuteilen:

- Personal Area Network (PAN): bis zu 10 Meter
- Lokales Netzwerk (LAN): -zig bis Hunderte von Metern
- Wide Area Network (WAN): Hunderte von Meter bis zu Kilometern

Die meisten IoT-Anwendungen fallen entweder in die Kategorien PAN oder WAN. Bei PAN-Anwendungen befinden sich Sensoren und Geräte in unmittelbarer Nähe, zum Beispiel in Wearables und in der Industrie- oder Heimautomatisierung. Bei WAN-Anwendungen hingegen können die Geräte durch große Entfernungen voneinander getrennt sein, wie beispielsweise intelligente Stromzähler (Smart Meters) oder Sensoren in abgelegenen Gebieten.

Ein LAN kann verwendet werden, um kleinere Netzwerke miteinander zu verbinden oder ein Internet-Gateway bereitzustellen. Dieser Bereich wird von Wi-Fi und kabelgebundenen Netzwerken dominiert.

# Personal-Area-Netzwerk (PAN)

Dieser Abschnitt behandelt die drahtlosen Systeme, die für den Einsatz in einem PAN entwickelt wurden.

**Bluetooth** wird häufig als Kommunikationsprotokoll als Ersatz für Kabel verwendet, oft für tragbare und mobile Geräte. Mit der Spezifikation Bluetooth 4.2 wurden neue Funktionen für IoT-Anwendungen eingeführt, wobei die wichtigste davon Bluetooth Low Energy (BLE) ist. Diese führt zu einem geringeren Stromverbrauch und niedrigeren Kosten, und sie sollte den Betrieb mit Knopfzellenbatterien über Monate oder sogar Jahre ermöglichen.

BLE hat eine Datenrate von ca. 1 Mbit/s und eine Reichweite von 100 Metern. Bluetooth 5 erweitert die Möglichkeiten, die Datenrate der BLE zu verdoppeln oder die Reichweite bei gleichem Stromverbrauch um das bis zu Vierfache zu erweitern.

Die Reichweitenerhöhung wird mithilfe der Vorwärtsfehlerkorrektur erreicht. Dabei wird eine Anzahl von Bits im Datenpaket zur Fehlererkennung und -behebung verwendet. Dies reduziert die Anzahl der übertragenen Datenbits, ermöglicht aber eine korrekte Dekodierung der Daten bei größeren Entfernungen. Es gibt zwei verschiedene Fehlercodierverfahren: S2 führt ungefähr zu einer Verdopplung der Reichweite, halbiert jedoch die Datenrate, während S8 ungefähr die vierfache Reichweite, aber 1/8 der Datenrate liefert.

Ursprünglich war Bluetooth als Peer-to-Peer- oder Sternkonfiguration konzipiert. BLE unterstützt nun auch Mesh-Konfigurationen. Dabei findet ein Flooding-Netzwerk Verwendung, bei dem jedes von einem Knoten empfangene Paket an alle angeschlossenen Knoten gesendet wird (es kann bei batteriebetriebenen Knoten deaktiviert werden, um den Energieverbrauch zu reduzieren). Dies ermöglicht Netzwerke jeder Größe; dadurch wird BLE wettbewerbsfähiger als bestehende Mesh-basierte Systeme wie Zigbee.

BLE-Module sind bei Herstellern wie ALPS erhältlich. Typischerweise stehen solche Funkmodule mit oder ohne integrierte Antennen zur Verfügung. Eine breite Palette geeigneter Antennen für die Innen- oder Außenmontage ist bei einem Anbieter wie Ethertronics, einem Unternehmen der AVX-Gruppe, lieferbar. Das Angebot umfasst passive Keramik-"Chip"- und Pressmetall-Typen.

**Thread** ist eine proprietäre IPv6-basierte, stromsparende Mesh-Netzwerk-Technologie mit AES-Verschlüsselung für die Sicherheit. Sie hat eine Reichweite von rund 100 Metern und eine Datenrate von 250 kbps. Die Spezifikation wird von der Thread Group verwaltet, die sich aus Nest Labs, Samsung, Apple, NXP, ARM und anderen zusammensetzt.

**Zigbee** ist ein kostengünstiges drahtloses Mesh-Netzwerk, das für Anwendungen mit niedriger Datenrate entwickelt wurde, die eine lange Akkulaufzeit und eine sichere Vernetzung erfordern. Die Datenrate ist auf 250 kbps festgelegt. Um die Zigbee-Zertifizierung zu bestehen, müssen die Geräte eine Batterielebensdauer von mindestens zwei Jahren aufweisen.

Die geringe Leistung bedeutet, dass die Übertragungsstrecke auf weniger als 100 Meter Sichtweite begrenzt ist. Allerdings können Daten über größere Entfernungen durch das vermaschte Netzwerk von Zwischengeräten übertragen werden. Es eignet sich besonders gut für gelegentliche Datenübertragungen von einem Sensor oder einer Eingabevorrichtung.

So umfasst die Limitless-Familie von Honeywell beispielsweise industrielle Drucksensoren (Abbildung 4), Endschalter und Empfängermodule. Diese ermöglichen eine Überwachung und Steuerung, wenn eine Verkabelung oder Wartung physikalisch nicht möglich oder unwirtschaftlich ist.

**ANT** ist ein proprietäres Protokoll, das konzeptionell dem BLE ähnelt. Es wurde für batteriebetriebene Sensoren entwickelt, insbesondere für Gesundheits- und Fitnessanwendungen. Es bietet eine Datenrate von bis zu 20 kbit/s bei einer Reichweite von 30 Metern.

**Z-Wave** ist ein firmeneigenes Protokoll von Sigma Designs mit einer Datenrate von bis zu 100 kbit/s in einer Mesh-Topologie. Die maximale Entfernung zwischen den Knoten beträgt ungefähr 30 Meter, doch können Nachrichten über bis zu vier Zwischengeräte an ihr Ziel gesendet werden. Die Netzwerkgröße ist auf 232 Knoten begrenzt.

*Abbildung 3. Keramik-Wi-Fi-/Bluetooth-Antenne von Ethertronics*



*Abbildung 4. Drahtloser Drucksensor von Honeywell*



**WirelessHART** basiert auf 802.15.4 und dem Highway Addressable Remote Transducer-(HART)-Protokoll, das eine Reichweite von rund 100 Metern bei einer Datenrate von 250 kbps ermöglicht. Es verwendet eine zeitsynchronisierte, selbstorganisierende und selbstheilende Mesh-Architektur und wird für die Prozesssteuerung, einschließlich der Messung von Temperatur, Durchfluss und Druck, in verschiedenen Branchen eingesetzt.

Es gibt noch weitere Systeme, die nur begrenzt anwendbar sind oder sich noch nicht auf dem Markt etabliert haben. Dazu gehören:

- **MiWi** ist ein proprietäres Protokoll von Microchip Technology, das auf dem Standard 802.15.4 basiert. Es wurde entwickelt, um niedrige Datenraten (250 kbit/s) und kurze Entfernungen (100 m) in kostensensiblen Netzwerken zu ermöglichen. MiWi ist in einige Mikrocontroller von Microchip integriert.
- **DECT ULE** ist eine energiesparende Erweiterung des DECT-Protokolls, das in großem Maße in Schnurlostelefonen verbreitet ist. Es bietet Datenraten von bis zu 1 Mbit/s über eine Entfernung von 100 Metern.

## Local Area Network (LAN)

Wi-Fi ist das allgegenwärtige Wireless LAN. Es wird oft in Verbindung mit anderen Technologien eingesetzt, um Knotenpunkte zu verbinden oder den Zugang zum Internet für die Fernüberwachung und -steuerung zu ermöglichen.

**802.11ax** ist der Nachfolger des aktuellen Wi-Fi-Standards 802.11ac, verwendet die gleichen Frequenzen von 2,4 und 5 GHz und ist rückwärtskompatibel mit bestehender Wi-Fi-Hardware. Es wird wesentlich höhere Datenraten (bis zu 10 Gbit/s) und fortschrittliche Energiespartechiken bieten, um eine längere Batterielebensdauer für mobile Geräte zu erreichen.

## Wide Area Network (WAN)

Die Spezifikationen eines energiesparenden drahtlosen WAN sind im Allgemeinen:

- Niedrige Datenrate: 100 bit/s bis 1 Mbit/s
- Große Reichweite: bis zu 10 km
- Geringer Stromverbrauch: Batterielebensdauer von bis zu 10 Jahren

**802.11ah (HaLow)** ist ein Wi-Fi-Standard, der für Sensoren und Steuerungen mit niedriger Datenrate und großer Reichweite entwickelt wurde. Er verwendet die nicht lizenzierte 900-MHz-Frequenz, die Hindernisse besser durchdringt als hochfrequente Netzwerke und wird Mesh-Vernetzung unterstützen.

Dies ermöglicht es einem einzigen Access Point, eine viel größere Reichweite zu erreichen und eine große Anzahl von entfernten IoT-Knoten zu unterstützen, was die Bereitstellungskosten reduziert. Die maximale Datenrate liegt bei knapp 350 Mbit/s. Das Netzwerk kann zwischen den Kommunikationen abgeschaltet werden, was bei nur sporadischer Datenübertragung weitere Energieeinsparungen ermöglicht.

Es sind erst sehr wenige Produkte auf dem Markt. Nur ein einziges Unternehmen, das koreanische Startup Newracom, hat einen Mikrocontroller mit integriertem HaLow angekündigt.

**LoRa** (Long-Range) ist ein proprietäres LPWAN, das jetzt im Besitz von Semtech ist. Es verwendet unlizenzierte Sub-Gigahertz-Hochfrequenzbänder und ermöglicht eine sehr weitreichende Übertragung (über 10 km in ländlichen Gebieten) bei sehr geringem Stromverbrauch. Die Datenrate liegt bei etwa 50 kbit/s.

LoRa bezieht sich auf die physikalische Schicht und LoRaWAN auf die oberen Kommunikations- und Verwaltungsschichten. Das Protokoll ist für eine kostengünstige, weitreichende Konnektivität für IoT-Geräte an entfernten und Offshore-Standorten ausgelegt. Daten werden asynchron von Geräten übertragen und von einem oder mehreren Gateway-Knoten empfangen, die sie an einen zentralen Server weiterleiten.

**Symphony Link** ist ein proprietäres Protokoll, das auf der physikalischen LoRa-Schicht basiert. Es fügt Features wie Quality of Service-(QoS-) Garantien, variable Datenraten und Firmware-Upgrades über die Luftschnittstelle hinzu.

**Sigfox** verwendet eine proprietäre Ultra-Narrowband-(UNB-)Technologie auf einer Stern- oder Mobilfunktopologie. Es hat eine niedrige Datenrate von 100 Bit pro Sekunde, die in Kombination mit einem leichten Protokoll einen sehr geringen Stromverbrauch ermöglicht. Die Reichweite beträgt bis zu 10 km.

**Mobile IoT** bezieht sich auf zwei verwandte Standards, die auf dem 4G-Mobilfunknetz basieren. Dabei handelt es sich um die langfristige Entwicklung für Maschinen (LTE-M) und das Schmalband-Internet der Dinge (NB-IoT). Diese nutzen sichere, vom Betreiber verwaltete Netzwerke im lizenzierten Spektrum. Sie sind für IoT-Anwendungen konzipiert, die kostengünstig sind, niedrige Datenraten verwenden, lange Akkulaufzeiten erfordern und oft an entlegenen und schwer zugänglichen Orten arbeiten. Dies führt potenziell zu einer weltweiten Abdeckung: das ultimative Wide Area Network. Dadurch, dass sie das Mobilfunknetz nutzen, entstehen immer wieder neu anfallende Zugangskosten. Da sie jedoch relativ wenig Netzkapazität nutzen, können die Betreiber kostengünstigere Servicepläne anbieten.

Die **LTE-M**-Technologie ist eine Version von LTE (4G) für das IoT. Sie ist kompatibel mit dem bestehenden LTE-Netzwerk und ermöglicht so die direkte Verbindung von Geräten mit dem Mobilfunknetz ohne Gateway. Sie bietet Datenraten von ungefähr 1 Mbit/s und eignet sich für Anwendungen wie Smart Metering, bei denen nur geringe Datenmengen übertragen werden.

**NB-IoT** verwendet den einfacheren Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA), um Kosten und Komplexität zu reduzieren. Dies begrenzt die Datenrate auf ca. 200 kbps.

## Andere spezialisierte Anwendungen

Es gibt einige neue Wi-Fi-Varianten, die auf Anwendungen mit sehr hoher Bandbreite ausgerichtet sind.

**802.11ad (Wi-Gig)** ist ein Multi-Gigabit-Protokoll, das für die drahtlose Verbindung von Signalen mit hoher Bandbreite, wie beispielsweise hochauflösendem Video, entwickelt wurde. Es kann Datenraten bis zu 6 Gbit/s unterstützen, ist aber auf die Sichtverbindung über einige Meter beschränkt.

**802.11ay** wird höhere Geschwindigkeiten bis zu 40 Gbit/s und eine verbesserte Reichweite von bis zu 300 Metern bieten.

# Fazit

Für das IoT steht eine große Anzahl von drahtlosen Kommunikationslösungen zur Verfügung, je nach den Anforderungen der Anwendung. Alle bieten einen niedrigen Stromverbrauch; als Hauptentscheidungsfaktor verbleibt die Wahl zwischen der erforderlichen Reichweite und den Datenraten. Diese Merkmale sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

	Typische Datenrate	Ungefähre Reichweite	Netzwerktyp
ANT	20 kbps	30 m	
BLE	1 Mbps	100 – 600 m	
DECT-ULE	1 Mbps	100 m	
MiWi	250 kbps	100 m	
Thread	250 kbps	100 m	PAN
WirelessHART	250 kbps	100 m	
Z-wave	100 kbps	30 m	
Zigbee	250 kbps	100 m	
802.11ax	1 – 10 Gbps	300 m	LAN
802.11ah	350 kbps	1 km	
802.11af	560 Mbps	1 km	
LoRa	50 kbps	10 km	
LTE-M	1 Mbps	1 km	WAN
NB-IoT	200 kbps	1 km	
Sigfox	100 bps	10 km	
Symphony Link	50 kbps	10 km	
802.11ad	7 Gbps	10 m	
802.11ay	40 Gbps	300 m	Other

Tabelle 1. Drahtlose Kommunikations-Technologien



## Über TTI

TTI, Inc. ist der weltweit führende Spezialist für Passive und elektromechanische Bauelemente, Steckverbinder sowie Diskrete Halbleiter, Schaltnetzteile und Sensoren. Ausgewählte Lieferanten sowie unterschiedlichste Logistik-Lösungen unterstützen Kunden in den Marktsegmenten Industrie, Transportation, Luft-, Wehr-, und Raumfahrttechnik sowie in der Haushalts- und Unterhaltungselektronik.

Die Produktpalette von TTI umfasst Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Steckverbinder, Diskrete Halbleiter, Opto Elektronische Bauelemente, Elektromagnetische Bauelemente sowie Bauteile für den Schaltkreisschutz. Das Angebot umfasst außerdem Kabel und Drähte – diese auch konfektioniert; Netzteile, Entwicklungskits, Sensoren und Elektromechanische Bauelemente.

Übersichten und Informationen zur Marktentwicklung und Technologie sowie Updates etc. stellt TTI über das MarketEye Research Center zur Verfügung. Kunden können hier Fachbeiträge, technische Seminare, RoHS, allgemeine Seminare, Industrieforschungsberichte und vieles mehr abrufen.

Die TTI Produktpalette, kundenorientierter Service sowie die angebotenen Logistiklösungen machen TTI zum bevorzugten Distributor (CMP Publications). Weltweit beschäftigt TTI über 5600 Mitarbeiter an mehr als 100 Standorten in Europa, Amerika und Asien.

### **Europäischer Hauptsitz:**

TTI, Inc.  
Ganghoferstr. 34  
82216 Maisach-Gernlinden  
Deutschland  
Tel.: +49 (0)8142 6680 – 0  
Fax: +49 (0)8142 6680 – 490  
Email: [sales@de.ttiinc.com](mailto:sales@de.ttiinc.com)  
[www.ttieurope.com](http://www.ttieurope.com)

Copyright © TTI, Inc. All Rights Reserved.