

Was ist LoRa?

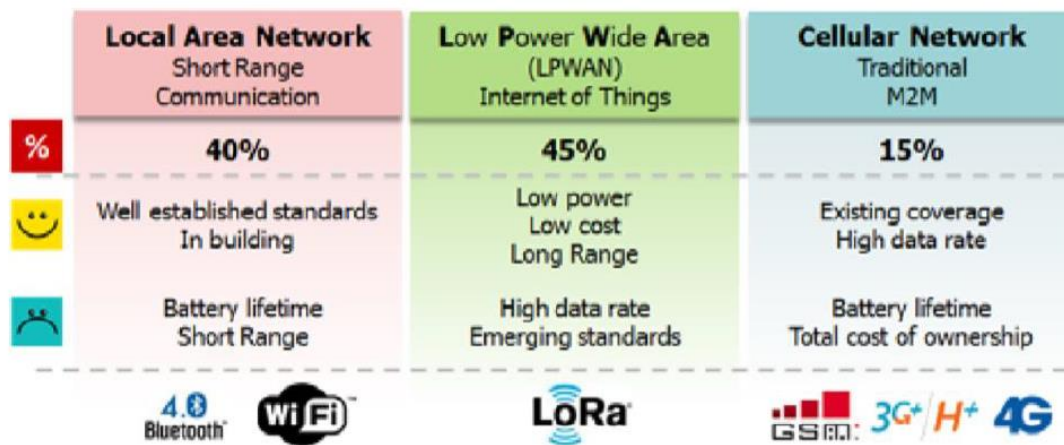
LoRa steht für Long Range (große Reichweite) und ist ein Kommunikationsstandard für Funkverbindungen mit großer Reichweite. Es ist die physikalische Schicht bzw. die drahtlose Modulation, die verwendet wird, um weitreichende Kommunikationsverbindungen zu schaffen. Viele ältere drahtlose Systeme verwenden Frequenzumtastung (oft auch FSK-Modulation genannt) als physikalische Schicht, da es eine sehr effiziente Modulation ist, um einen geringen Energiebedarf zu erreichen. LoRa basiert auf einer sog. Chirp Spread-Spectrum-Modulation, die die gleichen niedrigen Leistungscharakteristika wie FSK-Modulation besitzt, aber den Kommunikationsbereich deutlich erhöht. Chirp Spread Spectrum wird seit Jahrzehnten in der Militär- und Weltraumkommunikation aufgrund langer Kommunikationswege und der Robustheit gegenüber Störungen eingesetzt. LoRa ist die erste kostengünstige Implementierung für den kommerziellen Gebrauch.



Der Vorteil von LoRa (von Long Range) liegt in der hohen Reichweite der Technologie. Ein einzelnes Gateway oder eine Basisstation kann ganze Städte und Hunderte von Quadratkilometer abdecken. Die Reichweite hängt stark vom Umfeld und Hindernissen des jeweiligen Standortes ab. LoRa hat eine höhere Leistungsübertragungsbilanz als jede andere standardisierte Kommunikationstechnologie. Die Leistungsübertragungsbilanz der jeweiligen Umgebung, die typischerweise in Dezibel (dB) angegeben wird, ist der wichtigste Faktor für die Bestimmung der Reichweite. In der oberen Abbildung ist die Abdeckungskarte des Proximus-Netzwerks in Belgien zu sehen. Mit einer minimalen Infrastruktur können ganze Länder leicht abgedeckt werden.

Wofür kann LoRaWAN eingesetzt werden?

Eine Technologie allein kann nicht allen geplanten Anwendungen und Volumina für das Internet der Dinge gerecht werden. WiFi und Bluetooth Low Energy (BLE) sind weit verbreitete Standards und dienen den Anwendungen im Zusammenhang mit der Kommunikation von persönlichen Geräten durchaus gut. Mobilfunk eignet sich hervorragend für Anwendungen, die einen hohen Datendurchsatz benötigen und über eine Stromquelle verfügen. LPWAN bietet eine mehrjährige Batterielebensdauer und ist für Sensoren und Anwendungen entwickelt, die ein paar Mal pro Stunde kleine Datenmengen über weite Strecken von unterschiedlichen Umgebungen senden müssen.



Was ist LoRaWAN

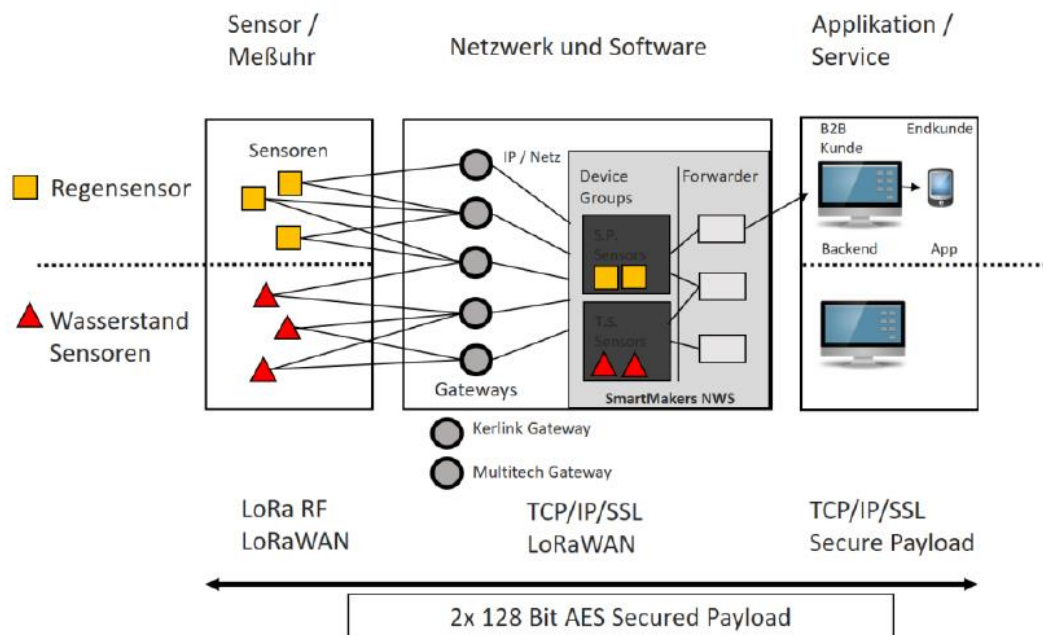
LoRaWAN definiert das Kommunikationsprotokoll und die Systemarchitektur für das Netzwerk, während die LoRa-Übertragungsschicht die Kommunikationsverbindung über Langstrecken ermöglicht. Das Protokoll und die Netzwerkarchitektur haben den größten Einfluss bei der Bestimmung der Batterielebensdauer eines Knotens, der Netzwerkkapazität, der Servicequalität, der Sicherheit und der Vielfalt der vom Netzwerk bedienten Anwendungen.

Application				
LoRaWAN				
MAC options				
Class A (Baseline)	Class B (Baseline)	Class C (Continuous)		
LoRaWAN Modulation				
Regional ISM band				
EU 868	EU 433	US 915	AS 430	—

LoRaWAN nutzt freie Frequenzbereiche aus den lizenzfreien ISM-Bändern. In Europa sind das unter anderem die Bänder im Bereich 868 und 433 MHz. Durch Verwendung von Frequenzspreizung ist die Technik nahezu immun gegen Störstrahlung. Momentan beschränken sich die Hersteller sich auf 868 MHz, weshalb wir unsere Netze auf 868 MHz ausrichten (siehe dazu auch Kapitel LoRaWAN für Europa).

Netzwerkarchitektur & Topologie

Viele bestehende Netzwerke nutzen eine Mesh-Netzwerk-Architektur. In einem Mesh-Netzwerk leiten die einzelnen Endknoten die Information anderer Knoten weiter, um den Kommunikationsbereich und die Zellengröße des Netzwerks zu erhöhen. Eine erhöhte Reichweite bedeutet gleichzeitig mehr Komplexität, verringerte Netzwerkkapazität sowie Batterielebensdauer, da die Knoten Informationen von anderen Knoten empfangen und weiterleiten, was wahrscheinlich irrelevant für diese ist. Ein Long Range Stern-Netzwerk macht am meisten Sinn für die Erhaltung der Batterielebensdauer, wenn weitreichende Konnektivität erreicht werden kann.



In einem LoRaWAN sind Netzwerkknoten nicht einem bestimmten Gateway zugeordnet. Stattdessen werden Daten, die von einem Knoten übertragen werden, typischerweise durch mehrere Gateways empfangen. Jedes Gateway wird das empfangene Paket aus dem Endknoten über ein Backhaul (entweder Mobilfunk, Ethernet, Satellit oder WiFi) an einen Application-Server weiterleiten.

Die Intelligenz und Komplexität wird auf den Netzwerkservers übertragen, der das Netzwerk verwaltet und u. a. redundante empfangene Pakete filtert, Sicherheitsüberprüfungen vornimmt, Rückmeldungen über das optimale Gateway plant und eine Adaption der Datenrate durchführt. Wenn ein Knoten mobil ist oder sich bewegt, erfolgt keine Übertragung von Gateway zu Gateway. Das ist ein kritisches Merkmal, um Asset-Tracking-Anwendungen zu ermöglichen - eine wichtige vertikale Zielanwendung für das Internet der Dinge.

Batterielebensdauer

Die Knoten in einem LoRaWAN-Netzwerk sind asynchron und kommunizieren, sobald Daten sendebereit sind. Dabei spielt eine ereignisgesteuerte oder geplante Sendung keine Rolle. Diese Protokollart wird typischerweise als Aloha-Verfahren bezeichnet. In einem Mesh-Netzwerk oder mit einem synchronen Netzwerk, etwa Mobilfunk, müssen die Knoten häufig „aufwachen“, um sich mit dem Netzwerk zu synchronisieren und nach Nachrichten zu suchen. Diese Synchronisation verbraucht erhebliche Energie und ist Hauptgrund für die verringerte Lebensdauer der Batterie. In einer aktuellen Vergleichsstudie von GSMA in Bezug auf die LPWAN-Reichweite verschiedener Technologien, zeigte LoRaWAN einen 3 bis 5 Mal höheren Vorteil im Vergleich zu allen anderen Technologieoptionen.

Netzwerkcapazität

Um ein Langstrecken-Sternnetz funktionsfähig zu machen, muss das Gateway eine sehr hohe Kapazität oder Fähigkeit zum Nachrichtenempfang zahlreicher Knoten aufweisen. Hohe Netzkapazität in einem LoRaWAN-Netzwerk wird durch die Verwendung einer adaptiven Datenrate erreicht und durch einen mehrkanaligen Multi-Modem-Transceiver im Gateway, so dass gleichzeitige Nachrichten auf mehreren Kanälen empfangen werden. Die Anzahl von gleichlaufenden Kanälen, die Datenrate (time on air), die Knoten der Nutzlast-Länge und die Häufigkeit der Übertragung sind die kritischen Faktoren, die die Kapazität beeinflussen.

Da LoRaWAN eine Spreizspektrum-Modulation ist, sind die Signale praktisch orthogonal zueinander, wenn unterschiedliche Spreizfaktoren verwendet werden. Da der Spreizfaktor sich ändert, ändert sich auch die effektive Datenrate.

Das Gateway nutzt den Vorteil dieser Eigenschaft, mehrere unterschiedliche Datenraten auf dem gleichen Kanal zur gleichen Zeit zu empfangen. Wenn ein Knoten eine gute Verbindung hat und in der Nähe eines Gateway ist, gibt es keinen Grund dafür, immer die niedrigste Datenrate zu verwenden, um das zur Verfügung stehende Spektrum länger als nötig aufzufüllen. Durch die Verschiebung einer höheren Datenrate wird die Zeit der Übertragung verkürzt, wodurch wieder mehr Platz für andere sendende Knoten geschaffen wird.

Adaptive Datenrate optimiert auch die Batterielebensdauer eines Knotens. Dafür ist eine symmetrische Aufwärts- und Abwärtsverbindung mit einer ausreichenden Abwärtsverbindungs Kapazität erforderlich. Mit diesen Funktionalitäten erzielt ein LoRaWAN-Netzwerk eine sehr hohe Kapazität und das Netzwerk wird skalierbar.

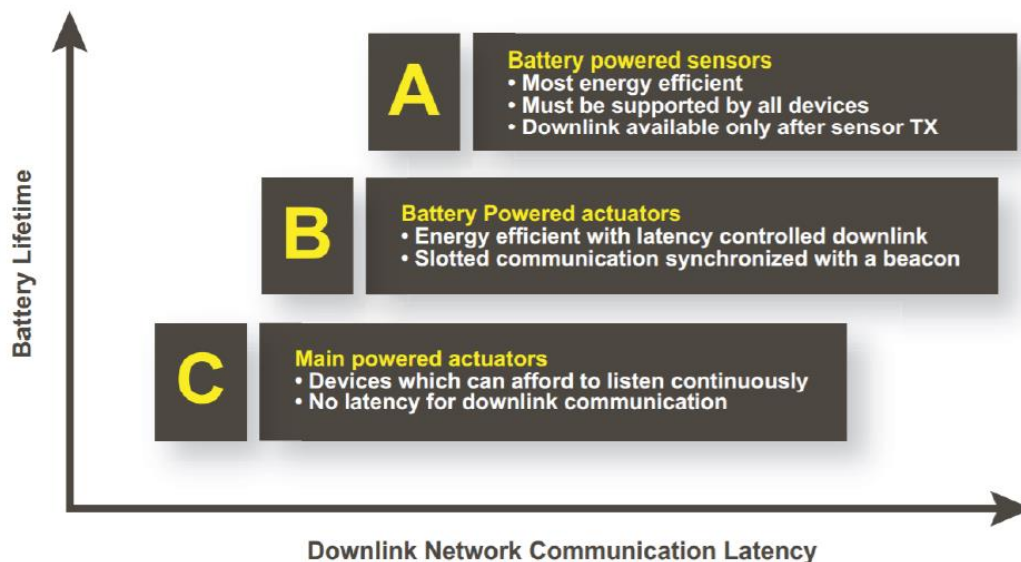
Ein Netzwerk kann mit einer minimalen Menge an Infrastruktur eingesetzt werden und sobald mehr Kapazität benötigt wird, können mehr Gateways hinzugefügt werden, wodurch die Datenraten verlagert, die Menge an Überschneidungen auf andere Gateways reduziert und die Kapazität um das 6- bis 8-fache skalierbar gemacht werden. Andere LPWAN-Alternativen verfügen nicht über die Skalierbarkeit von LoRaWAN aufgrund von Technologiekompromissen, die die Downlink-Kapazität begrenzen oder den Downlink-Bereich asymmetrisch zu dem Uplink-Bereich gestalten.

Reichweite

Die Reichweiten zwischen Sender und Empfänger betragen je nach Umgebung und Bebauung zwischen 2 und 15 km. Das System hat eine hohe Sensibilität von -137 dBm. Damit bietet die Technik eine höhere Durchdringung bis tief in Gebäude und in Kellerräume hinein, was die Verfügbarkeit des Netzes erhöht. Die genaue Reichweite von LoRa hängt je Anwendungsfall von vielen Parametern ab, eine spezifische Antwort wäre hier nicht sehr seriös. Aus der eigenen Erfahrung sowie aus dem Austausch mit anderen Anbietern und Herstellern können wir aber folgende Aussagen machen: Innerstädtisch erzielen wir für eine Basisabdeckung (EG und alles darüber) bis zu 4,5 km. Wenn es um eine Reichweite bis ins Untergeschoss geht, kann man mit bis zu 1,5 km rechnen. Auf dem Land können auch Abstände von bis zu 15 km und mehr erreicht werden. Relevante Parameter sind beispielsweise die Standorte der Gateways (speziell die Höhe), Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger oder Abhängigkeit von Reflektion und Refraktion, Anwendungsfall, Qualität der Hardware bei Sender und Empfänger, Jahreszeiten und saisonale Einflüsse, Wetter uvm.

Geräteklassen

Endgeräte dienen unterschiedlichen Anwendungen und haben unterschiedliche Anforderungen. Zur Optimierung zahlreicher End-Anwendungsprofile nutzt LoRaWAN verschiedene Geräteklassen. Die Geräteklassen wägen die Downlink-Kommunikationslatenz des Netzes mit der Batterielebensdauer ab. In einer Steuer- oder Stellgliedtyp-Anwendung ist die Downlink-Kommunikationslatenz ein wichtiger Faktor



▪ Bidirektionale Endgeräte (Klasse A)

Endgeräte der Klasse A erlauben bidirektionale Kommunikationen, wobei jeder Uplink-Übertragung der Endgeräte zwei kurze Downlink-Empfangsfenster folgen. Das von dem Endgerät geplante Übertragungszeitfenster basiert auf seinen eigenen Kommunikationsbedürfnissen mit einer kleinen Änderung, die auf einer Zufallszeitbasis beruhen (ALOHA-Protokolltyp). Diese Klasse-A-Variante ist das sparsamste Leistungsendgerät für Anwendungen, die nur eine

Downlink-Kommunikation vom Server benötigen, kurz nachdem das Endgerät eine Uplink-Übertragung gesendet hat. Downlink-Kommunikationen des Servers müssen jederzeit bis zum nächsten geplanten Uplink warten.

▪ Bidirektionale Endgeräte mit geplanten Empfangszeitfenstern (Klasse B)

Zusätzlich zu den zufälligen Empfangsfenstern der Klasse A öffnen Klasse-B-Geräte zu festgelegten Zeiten zusätzliche Empfangsfenster. Damit das Endgerät sein Empfangsfenster zum geplanten Zeitpunkt öffnet, empfängt es ein zeitlich synchronisiertes Beacon (also ein sehr kleines Datenpaket) vom Gateway. Dadurch weiß der Server, wann das Endgerät empfangsbereit ist.

▪ Bidirektionale Endgeräte mit maximalen Empfangszeitfenstern (Klasse C)

Endgeräte der Klasse C haben fast ununterbrochen ein geöffnetes Fenster. Diese werden nur bei Übertragung geschlossen. Diese Geräten haben meist eine feste, permanente Spannungsversorgung.

Sicherheit

Ein weiteres wichtiges Kriterium für den Erfolg und die Akzeptanz des Internet der Dinge ist die Sicherheit und Vertraulichkeit der transportierten Daten. LoRaWAN verwendet zwei Sicherheitsebenen: Eine für das Netzwerk und eine für die Anwendung. Die Netzwerksicherheit stellt die Authentizität des Knotens im Netzwerk sicher, während die Anwendungsschicht der Sicherheit dafür sorgt, dass der Netzbetreiber keinen Zugriff auf die Anwendungsdaten des Endbenutzers hat. Die AES-Verschlüsselung wird mit dem Schlüsselaustausch unter Verwendung einer IEEE-EUI64-Kennung verwendet.

Auch wenn es bei jeder gewählten Technologie Kompromisse zu machen gilt, bieten die LoRaWAN-Funktionen die breiteste Auswahl an Netzwerkarchitektur, Geräteklassen, Sicherheit, Skalierbarkeit für Kapazität und Optimierung der Mobilitätsadresse von potentiellen IoT-Anwendungen.

Die Sicherheitsschlüssel

Bei LoRaWAN werden die Daten in zwei Ebenen verschlüsselt: ein einheitlicher Netzschlüssel (NwkSKey - AES 128) für die Netzebene und ein weiterer Netzschlüssel (AppSKey - AES 128) für die Applikationsebene (höchstmögliche Verschlüsselung im Embedded Bereich). Der NwkSKey wird für die Interaktion zwischen dem Datenknoten (Gateway) und dem Netzwerk genutzt und überprüft die Gültigkeit einer Nachricht (MIC Check). Der AppSKey wird für die Kodierung und Dekodierung des Payloads (Teil der Nachricht ohne Metadaten) genutzt. Beide Schlüssel sind einmalig je Gerät und Session. Durch diese Architektur gehört LoRaWAN zu den sichersten Netztechnologien, die es momentan im Funkbereich gibt.

Zähler (Frame Counter)

Da bei LoRaWAN mit einem Funkprotokoll gearbeitet wird, bietet es jedem die Möglichkeit Nachrichten abzufangen und zu speichern. Da der Payload aber verschlüsselt ist, kann niemand ohne den AppSKey die Nachricht dekodieren. Auch mögliche Manipulation werden ausgeschlossen, da ohne NwkSKey der MIC Check fehlschlägt und die Nachrichten nicht akzeptiert werden. Was jedoch möglich ist sind sog. Replay-Attacks d.h. das Abfangen von Nachrichten und das wiederholte Senden der kopierten Nachricht. Diese Möglichkeit wird durch Frame Counters, d.h. interne Zähler, ausgeschlossen. Sobald ein Gerät registriert wird, werden die Frame Counters (FCntUp und FCntDown) auf Null gesetzt. Bei jeder Nachricht vom Gerät an den Server (Uplink) wird der FCntUP erhöht und bei jeder Nachricht vom Server zurück an das Gerät (Downlink) wird der FCntDown erhöht. Sobald entweder das Gerät oder der Server eine Nachricht erhält mit einem Frame Counter niedriger als die vorherige Nachricht wird diese ignoriert.

LoRaWAN für Europa

LoRaWAN definiert zehn Kanäle, von denen 8 eine Mehrfachdatenrate von 250 bps bis 5,5 kbps haben, ein einzelner LoRaWAN-Kanal mit hoher Datenrate bei 11 kbps und einen einzigen FSK-Kanal von 50 kbps. Die maximale Ausgangsleistung von ETSI in Europa beträgt +14 dBm, mit Ausnahme des G3-Bandes, das +27dBm erlaubt. Es gibt Beschränkungen im Arbeitszyklus nach ETSI, aber keine Beschränkungen bei der maximalen Übertragung oder der Verweilzeit des Kanals.

Die Nutzung der lizenzfreien ISM-Bänder, die bereits heute von zahlreichen Anwendungen verwendet werden, legen den Verdacht nahe, dass Anwendungen im ISM-Band störanfällig sein könnten. Um hier potenzielle Interferenzen mit anderen Anwendungen zu vermeiden, hat die LoRa-Spezifikation technische Eigenschaften implementiert, die es ermöglichen, ein robustes Netz zu bauen, das verstärkt immun gegen Störeinflüsse ist und dabei ein hohes Maß an Netzstabilität bietet. Um Interferenzen zu vermeiden, nutzt das LoRaWAN-Protokoll ein patentiertes Modulationsverfahren. Das sogenannte Chirp-Spread-Spektrum (CSS) ermöglicht durch die Nutzung von Spreizfaktoren (SF 7-12) eine zuverlässige Funkverbindung, auch in lizenzfreien Funkbändern. Die Fehlertoleranz als solches ist bei solchen Funknetzwerken nicht vorhanden. Es gilt: "Signal angekommen" oder "Signal nicht angekommen". Durch die "Acknowledgement" der Empfangseinheiten können fehlerhafte Sendungen minimiert werden.

Technologievergleich

Im IoT-Sektor gibt es zahlreiche Aktivitäten, die LPWAN-Optionen sowohl aus technischer als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht vergleichen. LPWAN-Netzwerke werden derzeit eingesetzt, da es einen starken Business Case gibt, um sofortige Bereitstellung zu unterstützen. Für die Kosten zur Bereitstellung des Netzwerks in nicht lizenzierten Bändern wird viel weniger Kapital als z.B. für ein 3G Software-Upgrade benötigt.

Folgende Faktoren sollten bei einem Vergleich von LPWAN-Technologien in Betracht gezogen werden:

- Flexibilität, um zahlreiche Anwendungen anzustreben
- Sicherheit des Kommunikationsprotokolls
- Technische Aspekte wie Bereich/Gebiet, Kapazität, Zwei-Wege-Kommunikation, Robustheit gegenüber Störungen etc.
- Kosten der Netzwerk-Implementierung, Kosten der Endknoten-Stückliste, Kosten der Batterie (größter BOM-Posten)
- Ökosystem von Lösungsanbietern für flexible Geschäftsmodelle
- Verfügbarkeit von End-Produkten, um ROI und die Netzwerk-Bereitstellung zu gewährleisten
- Stärke des Ökosystems, um Qualität und Langlebigkeit der Lösung zu gewährleisten

Feature	LoRaWAN	Narrow-Band	LTE Cat-1 2016 (Rel12)	LTE Cat-M 2018 (Rel13)	NB-LTE 2019(Rel13+)
Modulation	SS Chirp	UNB / GFSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Rx bandwidth	500 - 125 KHz	100 Hz	20 MHz	20 - 1.4 MHz	200 KHz
Data Rate	290bps - 50Kbps	100 bit/sec 12 / 8 bytes Max	10 Mbit/sec	200kbps – 1Mbps	~20K bit/sec
Max. # Msgs/day	Unlimited	UL: 140 msgs/day	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Max Output Power	20 dBm	20 dBm	23 - 46 dBm	23/30 dBm	20 dBm
Link Budget	154 dB	151 dB	130 dB+	146 dB	150 dB
Battery lifetime - 2000mAh	105 months	90 months		18 months	
Power Efficiency	Very High	Very High	Low	Medium	Med high
Interference immunity	Very high	Low	Medium	Medium	Low
Coexistence	Yes	No	Yes	Yes	No
Security	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Mobility / localization	Yes	Limited mobility, No loc	Mobility	Mobility	Limited Mobility No Loc

Vorteile (Beispiel)

LoRaWAN bringt erhebliche Kosteneinsparungen in Sachen Bereitstellung und erforderlicher Infrastruktur im Vergleich zu bestehenden Systemen mit sich. Beispielsweise ergab eine Analyse des Netzwerkspezialisten TalkPool, dass der Einsatz von LoRa im Vergleich zu Wireless M-Bus zu einer signifikanten Kostenreduktion führen kann. Betrachtet wurden ein Fall mit 80 Gebäuden mit insgesamt 2.000 Wohnungen. Pro Wohnung waren im Durchschnitt 5 Sensoren (unter anderem für Temperatur, Feuchtigkeit und Warmwasserverbrauch) installiert. Schon die initialen Kosten (CAPEX) waren fast um Faktor 10 niedriger¹.

¹ Quelle:

https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/TUEv_Rheinland_Overview_LoRa_and_LoRaWAN_tmp.pdf

Quelle: SmartMakers GmbH