

## LoRa, ein Erfahrungsbericht

Der Erfahrungsbericht wurde von unserem Hardware-Entwickler geschrieben und zurecht mit einigen Emotionen versehen. November 2020, ennovatis Schweiz AG, Philipp Grob

### Das 868 MHz ISM-Band als Carrier für Sub-Meter

ISM-Band	Frequenzbereich	Anwendung
9 kHz bis 135 kHz	LF	Flug-, Schiffsnavigation, RFID, Zeisender
6,765 MHz bis 6,795 MHz	HF	Wetter-, Flugfunk, Presseagenturen
13,553 MHz bis 13,567 MHz	HF	Presseagenturen, Telekommunikation, RFID
25,565 MHz bis 27,405 MHz	HF	CB-Funk, HF-Schweizer, RFID, Babyphone
40,660 MHz bis 40,700 MHz	VHF	Telemetrie-, Fernsteuersysteme
433,0 MHz bis 440,0 MHz	UHF	Amateurfunk, Babyphone, RFID
868,0 MHz bis 870,0 MHz	UHF	RFID SRD-Systeme, Alarmanlagen
888,0 MHz bis 889,0 MHz	UHF	RFID-Systeme
902,0 MHz bis 928,0 MHz	UHF	RFID-Systeme
2,400 GHz bis 2,4835 GHz	SHF	Amateur-, Ortungsfunk, RFID
5,725 GHz bis 5,875 GHz	SHF	Amateur-, Ortungsfunk, RFID
24,0 GHz bis 24,25 GHz	EHF	Bewegungsmelder, Richtfunk
61,0 GHz bis 61,5 GHz	EHF	Gigabit-WLAN, WHDMI, WirelessHD, 802.11ad

Das 868 MHz-ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band) ist europaweit für die Industrie, Wissenschaft, Medizin, in häuslichen und ähnlichen Bereichen lizenzfrei und kann genehmigungsfrei genutzt werden.

Im europäischen Raum wird dieses Frequenzband unter anderem für den im Sub-Meter-Bereich definierten wireless M-Bus verwendet.

Das 433 MHz Band lässt den Betrieb von Dauersendern zu, die letztendlich zu einem sehr hohen Hintergrundrauschen führen und so den Betrieb der in Sendeleistung stark beschränkten Sub-Meter unmöglich machen.

Die wichtige Einschränkung im 868 MHz ist der sog. Duty-Cycle von maximal 0,1 -1 % pro Sensor (abhängig vom Kanal), der verhindert, dass ein Dauersender einen der Funkkanäle komplett blockiert. Die maximale Sendeleistung ist im Allgemeinen auf 25 mW begrenzt.

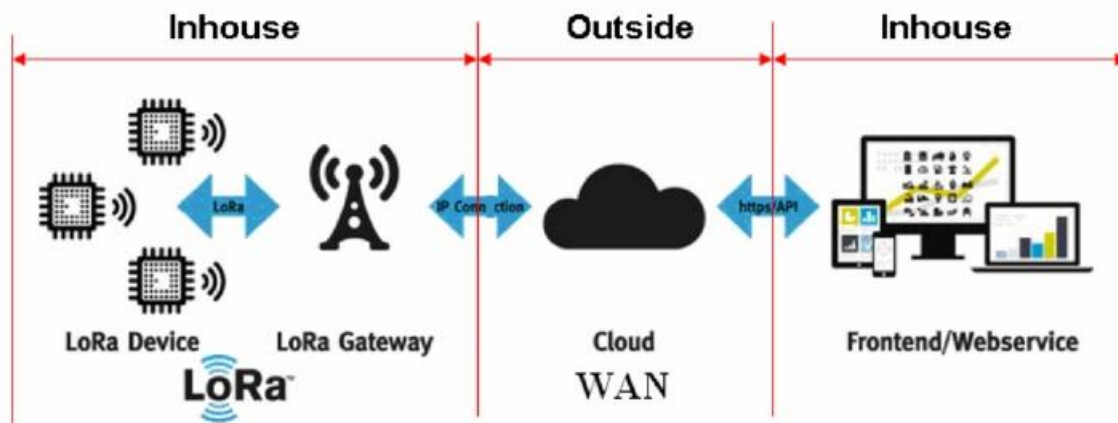
Die Anwendung von via Funk angebundene Verbrauchszählern im Sub-Meter-Bereich ergibt sich aus folgenden Überlegungen.

- Es muss kein Kabel vom Gateway zum Verbrauchszähler gezogen werden. Aufgrund dieser Überlegung werden die Zähler auch, vor allem in Mietwohnungen etc., zumeist mit einer Batterie ausgestattet.
- Der Zähler kann ohne Begehung automatisiert in kurzen Zeitabständen über ein Gateway ausgelesen werden, so dass zeitnah Rechnungen erstellt werden können oder Anlagen wie z.B. Heizungen optimiert werden können.

Bei Sub-Meter-Verbrauchszählern ist die maximale Sendeleistung auf 25 mW für z. B.

Fernwärmemengenzähler begrenzt, während direkt im Wohnbereich befindliche Verbrauchszähler wie z.B. Heizkostenverteiler eine maximale Sendeleistung von 10 mW aufweisen.

## Das handelsübliche LoRaWAN System

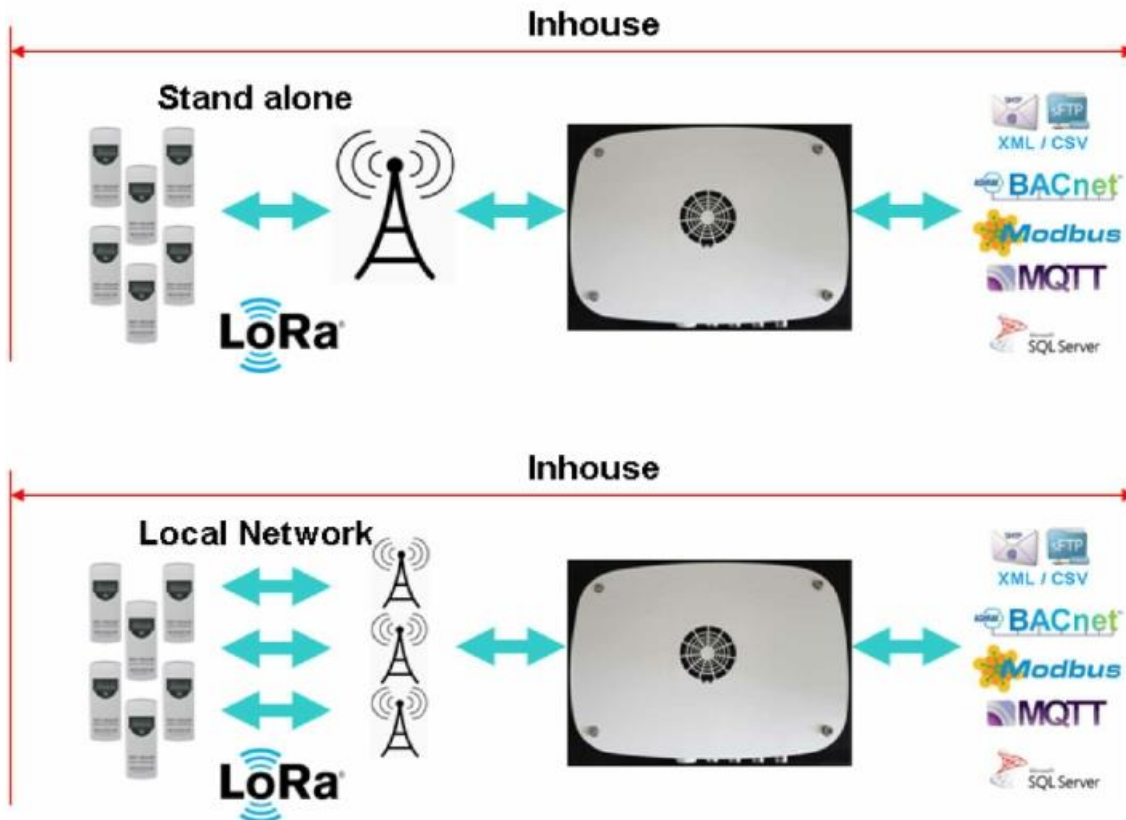


Ein handelsübliches LoRaWAN System besteht aus folgenden Teilen

- Sensorik
- Eine oder mehrere LoRaWAN Gateways, die letztendlich das Funksystem mit dem Internet verbinden
- Eine Cloud bestehend aus
  - Einem Networkserver, der zentral die Liste der Sensoren und die Keys verwaltet
  - Ein Applicationserver, der die Daten ggf. decodiert
- Eine wie auch immer geartete Schnittstelle (API), aus welcher der Kunde die Daten auslesen und weiterverarbeiten kann

Das Gesamtsystem ist also darauf ausgelegt, dass zum Betrieb eines LoRaWANs die Daten, zumeist kostenpflichtig, in einer externen Cloud aufbereitet werden müssen und erst dann wieder an den Kunden zurückgehen.

## Unser LoRaWAN System



In unserem System sind die zum Betrieb notwendigen Bestandteile eines LoRaWAN Systems in der Smartbox V4.0 LoRaWAN Basestation integriert.

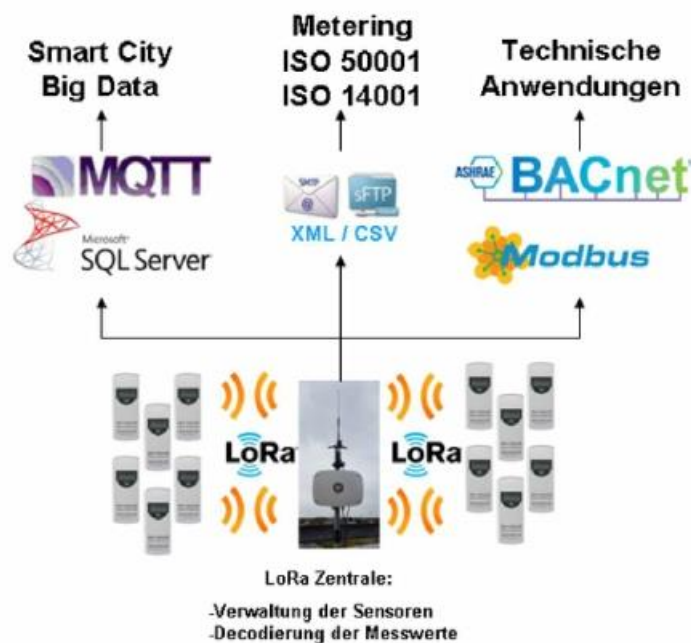
Die angebotenen Sensoren werden in der zentralen Smartbox V4.0 LoRaWAN Basestation verwaltet. Die Decodierung der Messwerte und Weitergabe an das übergeordnete System erfolgt direkt. Network- und Applicationserver und das API sind in der zentralen Smartbox V4.0 LoRaWAN Basestation integriert.

Durch den Verzicht auf eine Datenübertragung und Verarbeitung in einer Cloud ergeben sich folgende Vorteile:

- Im Sinne der DSGVO und der ISO 27001 bleiben alle Daten in Ihren IP-Netzen, d.h. die Integrität und Vertraulichkeit der Daten ist gewährleistet.
- Im Regelbetrieb fallen keinerlei Kosten für wie auch immer geartete Cloud-Dienste (z.B.: Kosten pro Zählpunkt etc.) an.
- Da die Decodierung der Daten (Payload) direkt nach Empfang einer Funkmeldung in der zentralen Basestation erfolgt, sind auch Mehrwertdienste wie z.B. die zeitnahe Alarmierung eines Anlagenausfalls oder die Erkennung des Bruches einer Wasserleitung möglich.
- Da die wichtigsten Schnittstellen für Metering, ISO 50001 und BIG-Data-Anwendungen direkt integriert sind, können die erfassten Messwerte von vielen übergeordneten Systemen direkt und zeitnah genutzt werden.

Das System ist in 2 Ausbaustufen lieferbar:

## 1. Stand Alone: LoRa Basestation mit integriertem LoRa Network- und Application Server



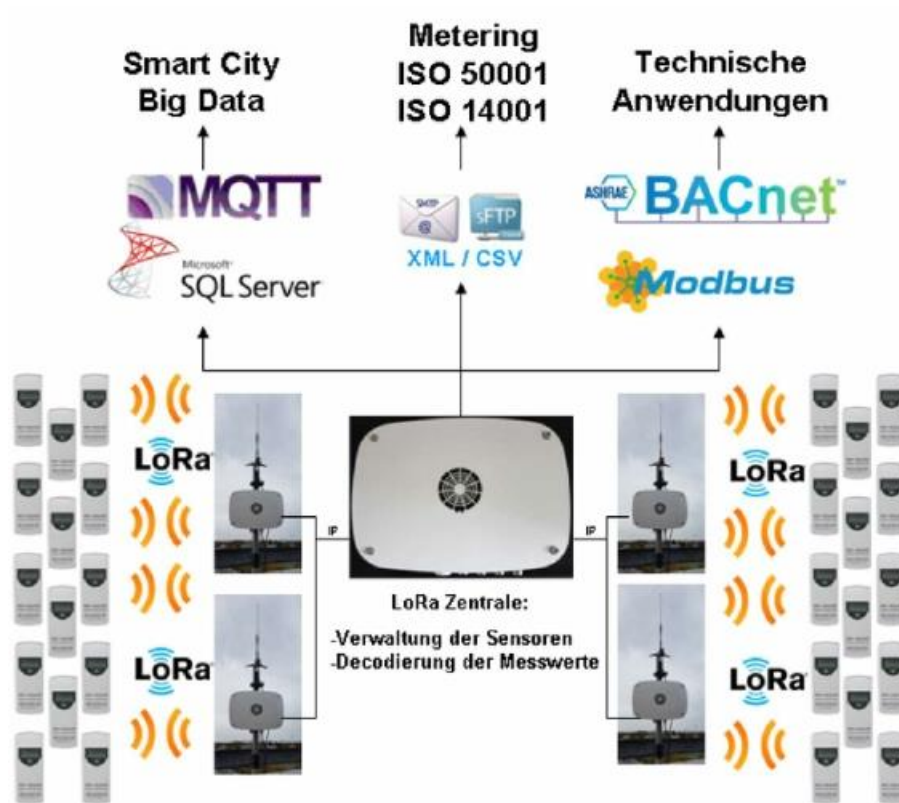
### Typische Einsatzmöglichkeiten

- Kleinere Industrie-Anlagen
- Hochhäuser und kleinere Wohn-Anlagen
- Kleine Einkaufszentren, Schulen

### Bisherige Anwendungsfälle

- Submeter in Reihenhaussiedlungen (Fläche ca. 300 \* 300 m)
- Submeter in der Industrie (Fläche ca. 500 \* 800 m)
- Summenalarme auf einem Universitätscampus (1000 \* 1000 m)
- Wärmemengenzähler in größeren Gebäuden
- Submeter in einem 17-stöckigen Hochhaus (inkl. 2 geschossigem Keller)

## 2. Local Network: Zentrale LoRa Basestation mit mehreren LoRa Basestationen für flächendeckende Anwendungen



Ziel des Systems ist es, eine möglichst lückenlose Flächendeckung durch Minimierung der Funkshadowen zu schaffen.

Das Gesamtsystem aus Basestationen und Sensorik sorgt dafür, dass die LoRa Sensoren jeweils über die beste mögliche Funkverbindung mit der LoRa Zentrale verbunden sind.

Das Funk-System optimiert sich dabei selbstständig und kompensiert z.B. den Ausfall einer Basestation oder organisiert sich selbstständig neu, wenn eine Basestation hinzugefügt wird.

Die Anzahl der in einem System befindlichen Sensoren und Basestationen ist nicht begrenzt.

### Typische Einsatzmöglichkeiten

- Grosse Einkaufszentren, Siedlungen und Industrieanlagen
- Flächendeckende Datenerfassung im Submeter und Smart City Bereich
- Gebiete mit vielen Funk-Verschattungen

### Anwendungsfälle

- Flächendeckende Datenaufnahme für Smart-City, Smart Meter-, Submeter-, ISO 50001- und ISO 14001-Anwendungen



## Grenzen von LoRa

Die im Internet publizierten Reichweiten sind mit Vorsicht zu genießen. Bei echten Sichtverbindungen haben wir im Extremfall bis zu 25 km gemessen. In städtischen Gebieten mit oberirdischer Sensorik sind Reichweiten von bis zu 3 km möglich.

Bei Sensoren „unterhalb der Grasnarbe“, also z.B. Wasserzähler etc. sinkt die Reichweite auf wenige 100m. Hier ist darauf zu achten, die Sensoren möglichst mit abgesetzten Antennen zu betreiben, die nahe am Kellerfenster oder Lüftungsschächten platziert werden.

In grösseren Wohngebieten mit undefinierten Kellerräumen ist es daher immer sinnvoll, ein lokales Netzwerk mit Basestations an unterschiedlichen Standorten zu platzieren.

## Vergleich LoRa mit wireless M-Bus

Beim wireless M-Bus handelt es sich um ein autistisches Funksystem, bei dem der Sensor in vorher definierten Zeitabständen ein Signal versendet. Da es sich um eine unidirektionale Anbindung handelt, d.h. im Sensor wird kein Empfänger betrieben, ist dem Sensor auch nicht bekannt ob, bzw. wer, das Signal empfängt.

Von den meisten Gateway- und Sensor-Herstellern wird eine max. Reichweite bei Sichtverbindungen, also z.B. auf einem freien Feld ohne Bebauung, von 300-400 m ausgegangen. In Gebäuden sinkt die Reichweite drastisch. Bei wM-Bus stehen 2 Funkkanäle zur Verfügung. Die meisten Gateways können aber immer nur mit einem Kanal gleichzeitig arbeiten, so dass die allermeisten wM-Bus Systeme letztendlich nur mit einem Funkkanal arbeiten.

*Um ein Bild zu zeichnen, hier ein Vergleich:*

In einem Kindergarten befinden sich in einem Raum viele Kinder, die ohne Rücksicht auf die Anderen, lautstark Nachrichten austauschen. Auf Seiten der Basestation, in diesem Beispiel vertreten durch die Kindergärtnerin, führt das dazu, dass aufgrund der vielen gleichzeitigen „Sendungen“ eine „Decodierung“ eines einzelnen „Datenpaketes“ nicht mehr möglich ist, da mehrere Kinder gleichzeitig sprechen (Kollision) und die anderen Kinder ebenfalls laut sind (SNR Signal to Noise Ratio). Sind zu viele Kinder in diesem Raum, bzw. ist die Anzahl der einzelnen Nachrichten zu hoch, bricht die Kommunikation zusammen.

Bei LoRa können alle 8 im 868 MHz ISM Band freigegebenen Kanäle von den Sensoren und von der Basestation sogar gleichzeitig genutzt werden.

In unserem Vergleich werden also die Kinder auf bis zu 8 Zimmer aufgeteilt. Kinder, die gleichzeitig in verschiedenen Räumen sprechen, stören sich also gegenseitig nicht (besserer Signal-Rauschabstand).

Die Basestation, die auf allen 8 Kanälen, also in allen 8 Zimmern präsent ist, kann Nachrichten von bis zu 8 Sensoren gleichzeitig empfangen.

Durch die Verteilung auf 8 Kanäle sinkt auch die Anzahl der Kollisionen, das SNR verbessert sich drastisch. Letztendlich können mit diesem System sehr viele Sensoren in einer Funkzelle betrieben werden.

LoRa erreicht seine gegenüber wM-Bus wesentlich höhere Reichweite dadurch, dass bei größerem Abstand zur Basestation „langsamer“ gesprochen wird (Erhöhung der BitTime). Umso langsamer gesprochen wird, umso grösser ist der sog. Spreizfaktor und umso länger dauert das Versenden eines Protokolls.

Das Ziel dabei ist, dass Funksignale, die durch Reflektion mehrfach auf verschiedenen langen Funkwegen die Basestation erreichen, trotzdem eindeutige Low-High Signale liefern. Da aber im Gegensatz zum wM-Bus nicht nur ein Kanal, sondern bis zu 8 Kanäle gleichzeitig genutzt werden, können auch eine grössere Anzahl von Sensoren mit relativ kurzen Messzyklen betrieben werden.



Bei LoRa handelt es sich um ein bidirektionales Funksystem, d.h. jeder Sensor ist prinzipiell auch in der Lage, „Befehle“ über die Basestation zu bekommen.

Im Submeter-Bereich, der vor allem batteriebetriebene Sensoren mit langen Laufzeiten erfordert, kann aufgrund des Stromverbrauchs, kein Empfänger kontinuierlich über mehrere Jahre betrieben werden. Hier hilft man sich mit einem zeitlich sehr stark begrenzten, zumeist Event- getriebenen Zeitfenster, in dem die Basestation Befehle an den Sensor sendet.

Bei der Verbindung eines Sensors mit einer Basestation, wird mittels eines „Join Request“ eine Verbindung zwischen Basestation und Sensor hergestellt.

Die Daten des Sensors inkl. der notwendigen Keys müssen vorher im LoRaWAN, also unserer zentralen Basestation bekannt sein.

Der Sensor sendet bei der Inbetriebnahme also ein „Hallo hier bin ich“ und wartet auf die Reaktion einer Basestation. Bekommt er keine Antwort, hat er die Möglichkeit auf andere Kanäle (insgesamt 3) zu wechseln und die Anfrage zu wiederholen und/oder seinen Spreizfaktor zu erhöhen.

Empfängt eine Basestation ein „Hallo hier bin ich“, wird in der zentralen Basestation nach dem Sensor gesucht. Wird der Sensor gefunden, meldet sich die Basestation mit einem „Willkommen“ und zurück und übergibt dabei auch die zur Verschlüsselung der Funkprotokolle notwendigen Keys.

Gleichzeitig kann der Sensor beispielsweise angewiesen werden, bestimmte Kanäle zur Kommunikation zu nutzen.

Wird das „Hallo hier bin ich“ in einem LoRa System von mehreren Basestations empfangen, so antwortet die Basestation die das „Hallo“ mit dem höheren Empfangspegel empfangen hat.

Jetzt ist der Sensor mit der Basestation bzw. dem ganzen System „verheiratet“ und überträgt regelmässig Daten. Die Daten werden ggf. auch von mehreren Basestations empfangen, so dass eine gewisse Redundanz gegeben ist.

Bei vielen LoRa Sensoren wird ein „Join“ in regelmässigen Abständen neu ausgeführt. Mit der damit erzwungen bidirektionalen Kommunikation optimiert sich das Funksystem im Betrieb selber, d.h. neu angebundene Basestations suchen sich ihre Sensoren, oder bekommen andere Kanäle zugewiesen.

Je nach LoRa Implementierung kann der Sensor beim Versenden eines Datenpaketes auch eine Quittierung durch die Basestation anfordern und falls diese nicht empfangen wird z.B. seinen Spreizfaktor oder seine Sendeleistung erhöhen oder nach der bestimmten Anzahl Fehlversuche erneut „Join Request“ durchführen.

### **Die Reichweite von LoRa gegenüber wM-Bus ist enorm**

Wir haben mit geeigneter Antennentechnik und bei einer echten Sichtverbindung einen Sensor aus 25 km Entfernung empfangen. In Stadtgebieten ist, bei Zählern in Gebäuden oberhalb der Grasnarbe eine Reichweite von 1-3 km durchaus realistisch.

In Industriebetrieben mit oberirdischer Sensorik in Gebäuden ist eine Reichweite von bis zu 750 m nachweisbar.

Bei Sensoren unterhalb der Grasnarbe, also im Keller, sinkt die Reichweite drastisch, kann aber bei normalem Siedlungsbau durchaus noch im Bereich von 1-2 km liegen. Bei städtischer Bebauung sinkt dieser Wert auf ein paar 100 m. Gerade hier ist es sinnvoll, mehrere Basestations mit zentraler Sensorverwaltung an unterschiedlichen Standorten zu betreiben, um das mehrfache reflektierte Signal zu empfangen.

**Antennen:**

Wichtig ist hier auch der Einsatz hochwertiger Antennen und kurzer Antennenkabel. Sowohl an der Basestation als auch am Sensor kann eine geeignete Antenne den Pegel um bis zu +5 dBm anheben.

Insbesondere bei Sensoren unterhalb der Grasnarbe, die hochgradig unbeweglich sind (z.B. Wasser- oder Wärmemengenzähler), empfehlen wir den Einsatz von externen Antennen, die dann z.B. in der Nähe eines Fensters oder Luftschafts installiert werden.

Bei der Basestation empfiehlt sich ein möglichst hoher Standort (das Ideal ist eine Sichtverbindung) gepaart mit einem möglichst kurzen Antennenkabel (Verlust etwa -0,3-0,5 dBm pro Meter Kabel).

Wir verfügen über Messequipment, mit dem man vor Ort am Standort eines Sensors direkt messen kann, ob ein „Join“ und die eigentliche Datenübertragung möglich ist. Wir reden über Hochfrequenztechnik und Reflektionen, d.h. eine kleine Veränderung der Antennenposition ist im Grenzfall entscheidend über „Geht“ bzw. „geht nicht“.

Für erste Tests haben wir auch eine batteriebetriebene Basestation in einem Messkoffer, mit welcher vor Ort die idealen Standorte der Basestation(s) ermittelt werden kann.

**LoRaWAN Netze im öffentlichen Bereich**

Es gibt gerade im städtischen Bereich mehrere Anbieter von angeblich flächendeckenden LoRa Netzen, die die Abdeckung auf Karten im Internet veröffentlichen. Diese können bei Outdoor-Anwendungen, also z.B. zur Ermittlung des Standortes eines Fahrzeuges im Stadtgebiet, sicherlich genutzt werden. Ist aber die Sensorik innerhalb eines Gebäudes, im Keller oder in einem grossen Industriegelände, wird man nicht um den Betrieb eines eigenen flächendeckenden LoRaWAN- Systems herumkommen.

Es gibt keinerlei Daten über Kellerräume, Lüftungsschächte, Wanddicken und Baumaterialien, aus der ein Betreiber eines öffentlichen LoRaWAN Netzes vorab ermitteln könnte ob z.B. ein Wasserzähler an einer bestimmten Stelle erreichbar ist.





## LoRa Mythen

Insbesondere die Hersteller von wM-Bus Systemen versuchen momentan LoRa zu diskreditieren und arbeiten mit Argumenten, zu denen wir wie folgt Stellung nehmen:

*LoRa eignet sich nur für kleine Datenmengen und geringe Übertragungshäufigkeiten. Häufig wird dabei von einem Messwert pro Tag und max. 3 Messwerten gesprochen.*

Kann nicht nachvollzogen werden:

Darüber hinaus dass 8 Kanäle und unterschiedliche Spreizfaktoren zur Verfügung stehen, können auch z. B. 5 Minuten Werte problemlos übertragen werden. Hier in unserem Büro „sieht“ unsere Basestation ca. 500 Fremdsensoren. In unserem Testbetrieb betreiben wir in dieser Umgebung auch 2 Sensoren über eine Entfernung mit 2 und 3 km, die im 5 Minuten Takt Daten senden.

Wir haben dabei einen Datenverlust, vermutlich durch Kollisionen, von kleiner 1 %.

Im Sinne der ISO 50001 (zyklische Datenerfassung zur Erlangung von Verbrauchskurven) sind 15 Minutenwerte für Stromzähler und Stundenwerte für Gaszähler auch in grösseren Systemen durchaus realistisch.

*Probleme bei hoher LoRa-Funkexposition aufgrund von Telegrammkollisionen. In diesen Fällen keine zuverlässige Datenübertragung möglich.*

Kann nicht nachvollzogen werden:

Wie oben beschrieben, verteilt sich LoRa Datenübertragung auf 8 statt wie bei wM-Bus auf einen Kanal. Wenn ein Sensor z.B. mit Quittierung arbeitet oder zumindest in gewissen Zeitabständen einen „Join“ durchführt, weiss er, ob die Basestation das Signal empfangen hat und kann entsprechend agieren.

*Sicherheitsniveau noch im Optimierungsprozess*

Kann nur teilweise nachvollzogen werden:

Unserem Erachten nach ist der LoRa Verschlüsselungs-Standard der OMS 4 Verschlüsselung überlegen. Es ist richtig, dass es in Deutschland seitens des BSIs momentan keine eindeutigen Aussagen gibt.

Uns ist bekannt, dass seitens der OMS, der Energieversorger und der Wasserwirtschaft momentan vollkommen unterschiedliche Systeme entwickelt werden, um das Sicherheitsniveau anzuheben. Die Energieversorger bauen gerade gegenüber dem BSI Druck auf.

*Der Vorteil von wM-Bus ist die geringere Reichweite*

Dieses Argument ist so blöd, dass wir uns jegliche Kommentierung sparen.

*Der wM-Bus hat ein sehr gutes Anti-Kollisionsverhalten, so dass Geräte mit hoher Gerätedichte (z.B. HKV) problemlos möglich sind. Daher für Anwendungen mit vielen Zählern pro Fläche (d.h. typisches Submetering der Wohnungswirtschaft)*

Wie soll ein autistisches Funksystem ein gutes Anti-Kollisionsverhalten bieten?

Der wM-Bus kollidiert auf einem Kanal während LoRa auf bis zu 8 Kanälen parallel arbeitet. Wir haben beispielsweise in einem 15-stöckigen Hochhaus mit einer Basestation alle Sensoren erreicht und haben im Heizungskeller noch ein Rx-Level von -77 dBm. Mit wireless M-bus hätten wir 3-5 wM-Bus Receiver verbauen müssen.

*Der wM-Bus basierend auf der europäischen Norm (EN13757) und den Spezifikationen der OMS-Gruppe*

Dieses Argument ist teilweise wahr aber von den wM-Bus Lobbyisten selbst verursacht. Während der wM-Bus Payload für Submeter durch die o.a. Norm normiert ist, herrscht bei LoRa noch ein gewisser Wildwuchs.



Dies ist aber auch der Tatsache geschuldet, dass der wM-Bus ausschließlich für Submeter geeignet ist während mit LoRa den ganzen Bereich Smart City, der unter anderem auch Submeter enthält, abdeckt.

## Fazit

Momentan hat der wM-Bus nur noch bei sog. walk by Systemen zur Ermittlung von Stichtagswerten zur Rechnungsstellung die Nase vorn.

Der Gesetzgeber fordert schon jetzt vermehrt die Erstellung zeitnaher Lastprofile. Die Zukunft gehört also der kontinuierlichen und flächendeckenden Erfassung von Messwerten für die unterschiedlichsten Anwendungen.

Dabei sollen aus Kostengründen mit möglichst wenig Infrastruktur möglichst viele Sensoren aus den unterschiedlichsten Bereichen (Smart-City) verbunden werden. Hier bietet LoRa ein flexibles System mit einer gegenüber wireless M-Bus wesentlich höheren Reichweite und spielt seine Vorteile auch durch die Bidirektionalität und die damit verbundene Einflussnahme auf Sensoren und Funksystem aus.