

IoT LPWAN

LoRa vs. NB-IoT

Autor: Ronny Roth
Datum: 16.07.2018

Summary

Inhalt

In folgendem Bericht werden zwei Technologien (LoRa und NB-IoT) einander gegenübergestellt und verglichen. Die Gegenüberstellung erfolgt technischer, finanzieller sowie anwendertechnischer Natur. Dafür wurden zuerst einige Grundlagen dafür erarbeitet und niedergeschrieben.

Was können die Technologien

Beide Technologien sind LPWA (Low Power Wide Area) Netzwerke die gegenüber gängiger Technologien wie Wifi oder Zellularen Technologien wie 3G/4G, eine riesige Reichweite bei geringem Energieverbrauch haben. Reichweite, Energiebedarf und Datenrate stehen sich dabei allerdings immer gegenüber.

Abb 1: Drahtlosnetzwerke im Vergleich



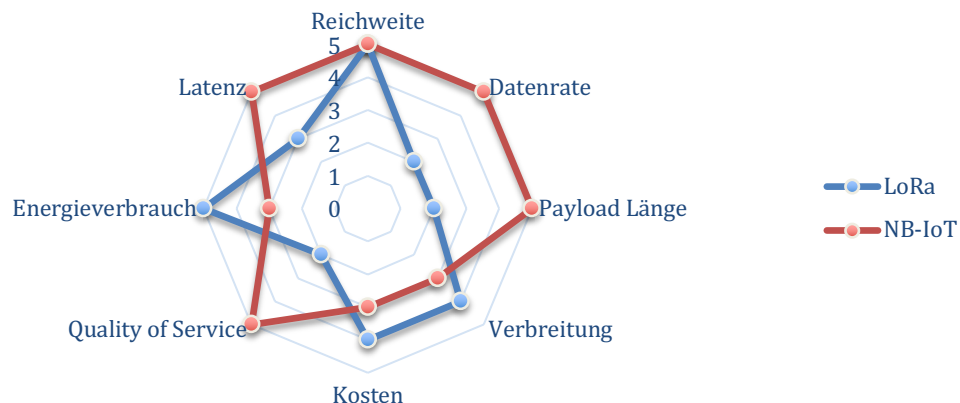
Quelle: Hochschule Luzern: HT12 38 – Low Power Wide Area – Oliver Steiniger Simon Prior

	LoRa	NB-IoT
Reichweite	11 – 16 km	11 – 20 km
Max Datenrate	50kbps	250kbps
Max Payload Länge	243 bytes	1600 bytes

Gegenüberstellung der Technologien

Faktoren wie Reichweite, Datenrate, Payload Länge, Verbreitung, Quality of Service, Energieverbrauch und Latenz wurden verglichen und ausgewertet (5 = Sehr gut / 1= schlecht). Beide Technologien bieten jeweils Vor-, wie auch Nachteile welche im nachfolgendem Bericht ersichtlich sind.

Abb 2: Gesamtauswertung



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe / Auftrag	5
2	Einleitung	5
3	LoRa / LoRaWAN	7
3.1	Entstehung	7
3.2	Architektur	8
3.3	Frequenzbereiche	9
3.4	Roaming	9
3.5	Klassifizierung LoRa Geräte	10
3.5.1	Klasse A	11
3.5.2	Klasse B	11
3.5.3	Klasse C	12
3.6	Signal-Modulation	12
3.7	Reichweite	13
3.8	Roll Out LoRa – Internationale Abdeckung	14
4	NB-IoT	15
4.1	Entstehung	15
4.2	Architektur / Infrastruktur	15
4.3	Frequenzbereich	15
4.4	Position im Frequenzband	17
4.5	Senden und Empfangen	17
4.6	Roaming	17
4.7	Roll-Out NB-IoT	18
4.8	Ausblick	21
5	Gegenüberstellung LoRa und NB-IoT	22
5.1	Technische Gegenüberstellung	22
5.1.1	Wertung	22
5.2	Finanzielle Gegenüberstellung	22
5.2.1	Kosten (Netzbetreiber)	22
5.2.2	Kosten (Entwickler - User)	22
5.2.3	Wertung	22
5.3	Quality of Service (QoS)	23
5.4	Energieverbrauch und Latenz	23
5.5	Gesamtauswertung	24
5.6	Vorteile / Nachteile	24
5.6.1	LoRa	24
5.6.2	NB-IoT	24
5.7	Optimaler Einsatz	24
	Abbildungsverzeichnis	26
6	Quellen	27
6.1	LoRa	27
6.2	NB-IoT	27

Revisionshistorie

Datum	Autor	Task	Review	Revision
16.07.2018	Ronny Roth	Neuerstellung	---	1.0
06.08.2018	Ronny Roth	Finalisierung		2.0
15.08.2018	Jan Diener	Review		2.1
20.09.2018	Jan Diener	Prüfen Abbildungen	✓	2.2
12.10.2018	Jan Diener	Anpassen Seitenzahlen	✓	2.3

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
NB	Narrow Band - Schmalband
IoT	Internet of Things – Internet der Dinge
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWA	Low Power Wide Area
LTE	Long Term Evolution
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
GSM	Global System for Mobile Communication
CSS	Chirp Spread Spectrum
QoS	Quality of Service
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
FDMA	Frequency-Division Multiple Access
ISM	Industrial, Scientific and Medical Band
AES	Advanced Encryption Standard

1 Aufgabe / Auftrag

Die Aufgabe besteht darin, einen Bericht zu erstellen, welche die Technologien LoRa und NB1 sowohl technisch, als auch vom Entwicklungspotential her, aufzeigt. Dafür werden Grundlagen der beiden Technologien niedergeschrieben und im nächsten Schritt auch miteinander verglichen. Die Inhalte werden folgend nochmals stichwortartig erläutert:

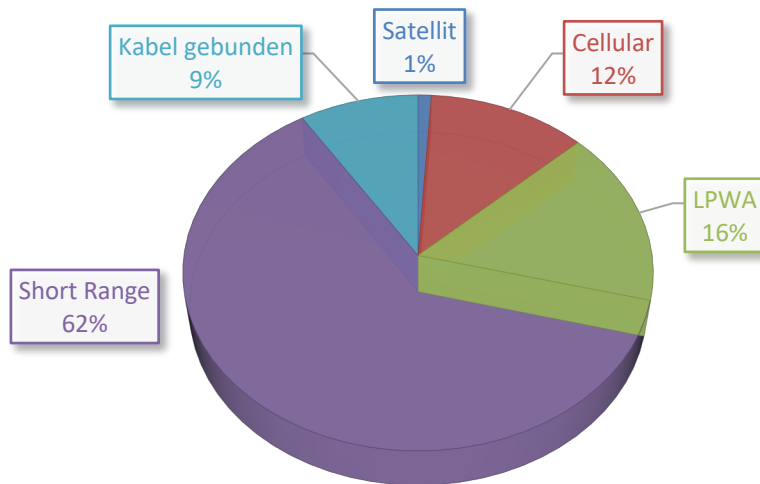
- LoRa und NB1 Grundlagen aufzeigen
- Vor-, und Nachteile der Technologien aufzeigen
- Technologien vergleichen
 - o Technik
 - o Kosten
 - o Usability
 - o Zukunftsorientierung

2 Einleitung

Das Internet der Dinge (IoT) ist eine zukunftsweisende Technologie, an der kein Weg vorbeiführt. Es ermöglicht die Kommunikation und Zusammenarbeit der Geräte und Kleinstgeräte und sollen so den Menschen in seinen Tätigkeiten unterstützen. Ebenfalls soll es möglich sein Mittels entsprechender Sensorik diverse Parameter zu Monitoren. Dabei können nicht nur Netzgebundene Geräte mittels Internet kommunizieren, sondern auch kleine, unabhängige aber auch tragbare und nicht Netzgebundene Geräte. IoT nutzt einige Technologien und Protokolle, welche jede für sich gewisse Vor und Nachteile bietet.

IoT Technologien und Protokolle			
Technologie	Beispiele	Vorteile	Nachteile
Satellit	-	+ Abdeckung (Reichweite) + Überall vorhanden	- Kosten
Zellular	- 2G - 3G - 4G	+ Abdeckung (Reichweite) + Infrastruktur bereits vorhanden + hohe Datenrate	- hoher Energieverbrauch
LPWA	- LoRa - SigFox - NB-IoT	+ Abdeckung (Reichweite) + geringer Energieverbrauch	- geringe Datenrate
Short Range	- WiFi - Bluetooth - Z-Wave	+ hohe Datenrate + Infrastruktur vorhanden	- geringe Reichweite - hoher Energiebedarf
Kabel gebunden	- KNX - Mbus	+ hohe Datenübertragung + Infrastruktur vorhanden	- setzt Kabel voraus

Abb 3: Aufteilung des heutigen Standes der IoT verwendeten Technologien

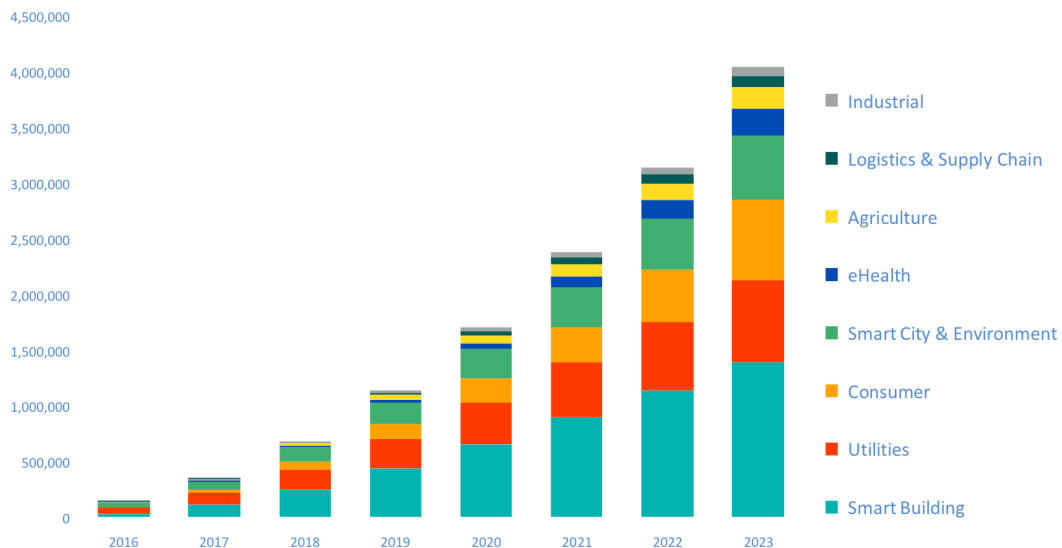


Quelle: Actility – Introduction to LoRaWAN

Der Anspruch dieser Geräte ist es unter anderem, dass diese wenig Energie verbrauchen und eine grosse Reichweite aufweisen. Genau dies erreicht man mit sogenannten LPWA Geräten. Dabei gibt es verschiedene Standards die sich aktuell im Markt etablieren

Die Prognose zeigt, dass im Jahr 2023 über 4 Milliarden solcher Geräte im Umlauf sind:

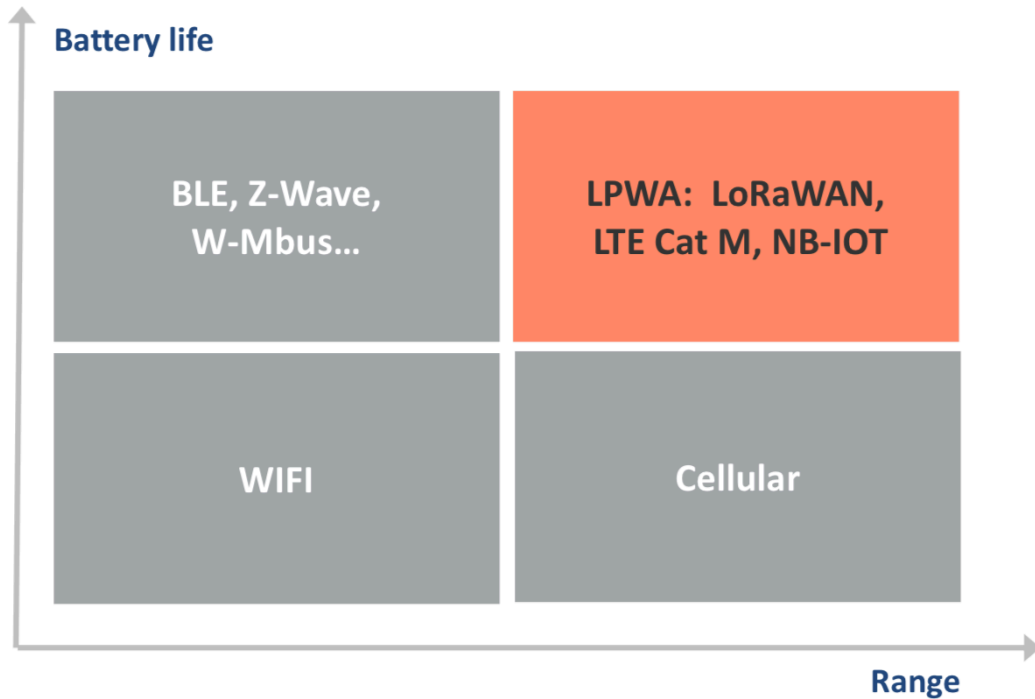
Abb 4: LPWA (Low Power Wide Area Geräte) x1000



Quelle: Machina Research 2016

Klares Ziel vom «Internet of Things» ist die Vernetzung: Es sollen automatisch relevante Informationen aus der realen Welt erfasst, miteinander verknüpft und ggf. auch verarbeitet werden. Das nutzbare Potential dieser Technologie ist natürlich riesig und kennt fast keine Grenzen. Allerdings nur fast: es gibt einige physikalisch Grenzen z.B. in der Reichweite der Geräte. An diesem Punkt knüpfen Technologien wie LoRa und NB-IoT an

Abb 5: Technologie-Vergleich in Bezug auf Batterie-Lebensdauer und Reichweite



Quelle: Actility – Introduction to LoRaWAN

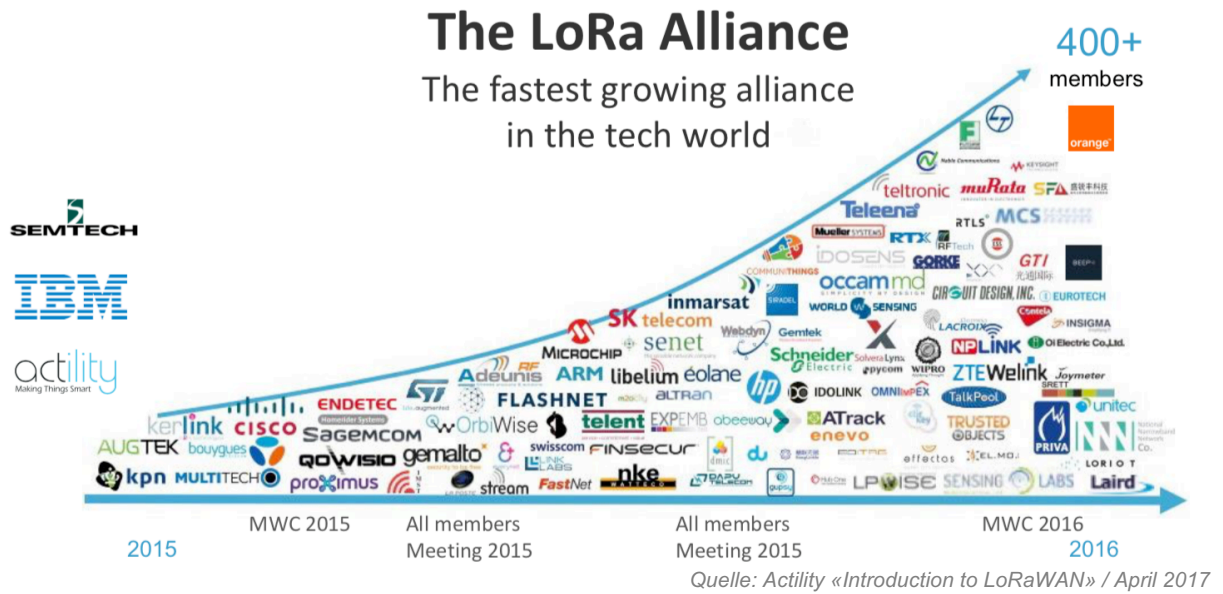
3 LoRa / LoRaWAN

3.1 Entstehung

Die LoRa Technologie wurde von Semtech initiiert und entwickelt. Diese nutzt die sogenannte Chirp Spread Spectrum Modulationstechnik welche im Kapitel 3.6 «Signal-Modulation» noch genauer erläutert wird. Die LoRaWAN Spezifikation wurde dann von der LoRa Alliance erarbeitet und festgelegt und ist ein offener Standard. Die LoRa Alliance ist ein Non-Profit Zusammenschluss einiger namhaften grossen Industrie-Führungsfirmen. Ihr Ziel ist es, einen internationalen Standard für Low Power Wide Area Network Protokoll zu schaffen.

Was im März 2015 mit einigen wenigen Firmen begonnen hat, wuchs nun auf über 500 Mitglieder an (Stand Juni 2018)

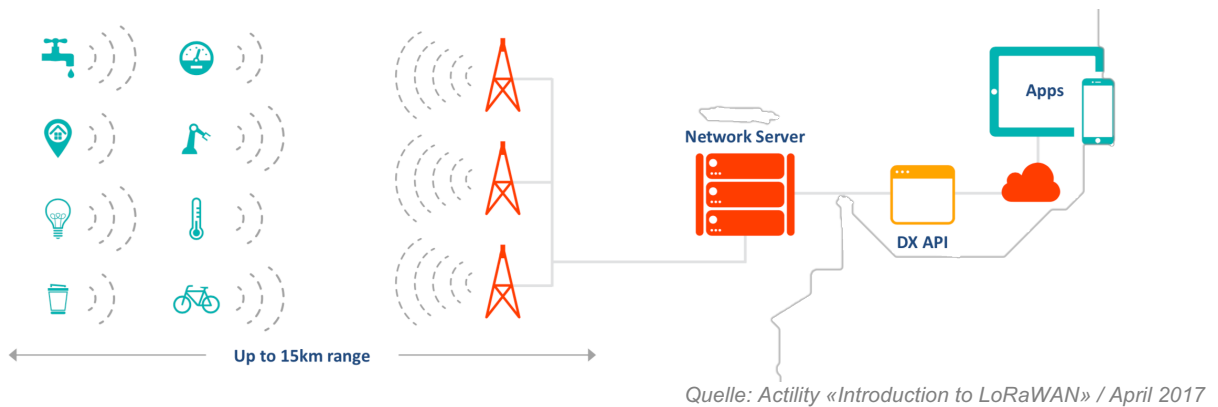
Abb 6: Mitglieder der LoRa Alliance (Stand Dez. 2016)



3.2 Architektur

Die Netz-Architektur ist sternförmig. Endgeräte kommunizieren mit Gateways, welche die Datenpakete an einen Netzwerkeserver senden. Der Netzwerkeserver verfügt über Schnittstellen, um an IoT Plattformen und Applikationen angebunden zu werden.¹

Abb 7: Netzwerk-Architektur LoRa



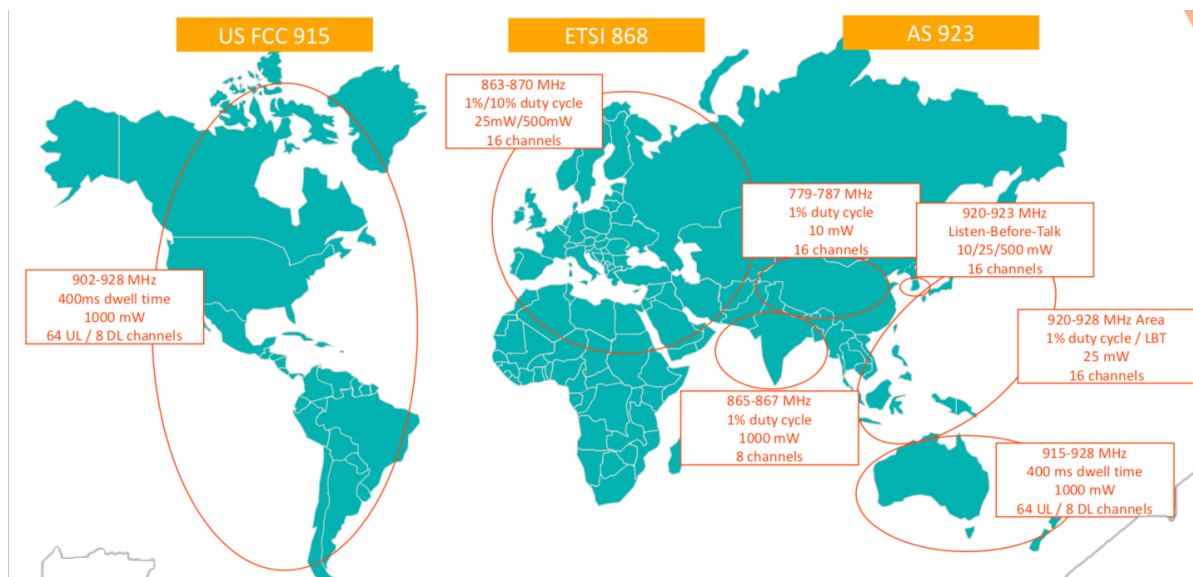
¹ Quelle: Wikipedia – Long Range Wide Area Network

3.3 Frequenzbereiche

LoRaWAN nutzt regional unterschiedliche Frequenzbereiche im ISM-Band und SRD-Band. Unter anderem ist das in Europa verwendete Frequenzband 863 bis 870 MHz (SRD-Band Europa). In Nordamerika ist hingegen das Frequenzband von 902 bis 928 MHz (ISM-Band Region 2) für die Datenübermittlung freigegeben.² Darüber hinaus sind im Asiatischen Raum weitere Frequenzbereiche möglich, welche aus folgender Grafik entnommen werden können.

Neben den Frequenzbereichen unterscheidet sich auch die jeweilige Sendeleistung der einzelnen Regionen der Welt. Auch diese können der nachstehenden Abbildung entnommen werden.

Abb 8: Frequenzbereiche der unterschiedlichen Regionen der Welt



Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

3.4 Roaming

Seit der neuen Spezifikation LoRaWAN 1.1 ist der Roaming Betrieb für LoRa möglich. Orange, KPN und Actility haben dies im Frühjahr 2018 erfolgreich getestet. Basierend auf den neuen Spezifikationen konnten Orange und KPN eine sichere Roaming Schnittstelle zwischen deren Actility Netzwerkplattformen generieren. Die Nutzung von Orange Geräten im KPN Netzwerk sowie die Nutzung von KPN Geräten im Orange Netzwerk funktionierte einwandfrei.

² Quelle: Wikipedia – Long Range Wide Area Network

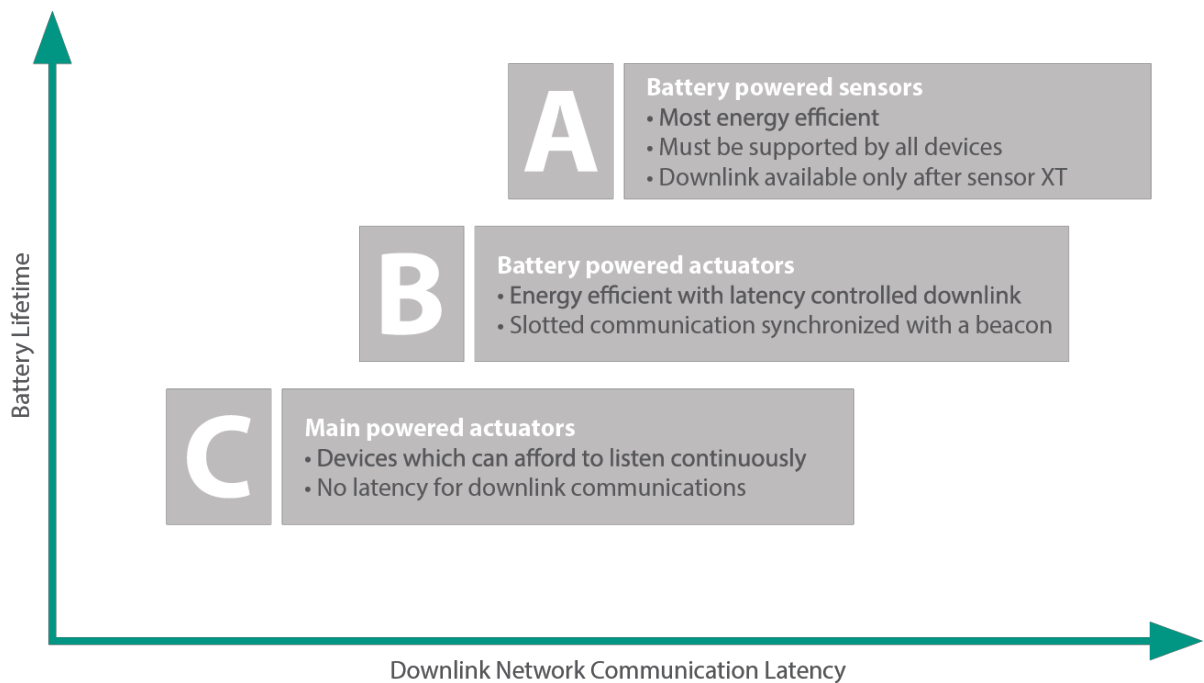
3.5 Klassifizierung LoRa Geräte

LoRa Geräte sind in verschiedene Klassen eingeteilt. Diese Klassifizierung gibt Auskunft über das Senden und Empfangen der jeweiligen Geräte.

Dabei wird wie folgt eingeteilt:

Klassifizierung LoRa Geräte	
Klassen Name	Einsatz
A («all»)	Batterie gespeisene Sensoren / Aktuatoren: <ul style="list-style-type: none"> • Latenz nicht wichtig • Effizienteste Kommunikations-Klasse • Diese Klasse wird von jedem LoRa Gerät unterstützt
B («beacon»)	Batterie gespeisene Aktuatoren: <ul style="list-style-type: none"> • Energieeffiziente Kommunikation mit Latenzgesteuertem Downlink • Zeitgesteuerte Kommunikation
C («continuous»)	Netzgespeisene Aktuatoren: <ul style="list-style-type: none"> • «hören» kontinuierlich • Keine Latenz für Downlink Kommunikation

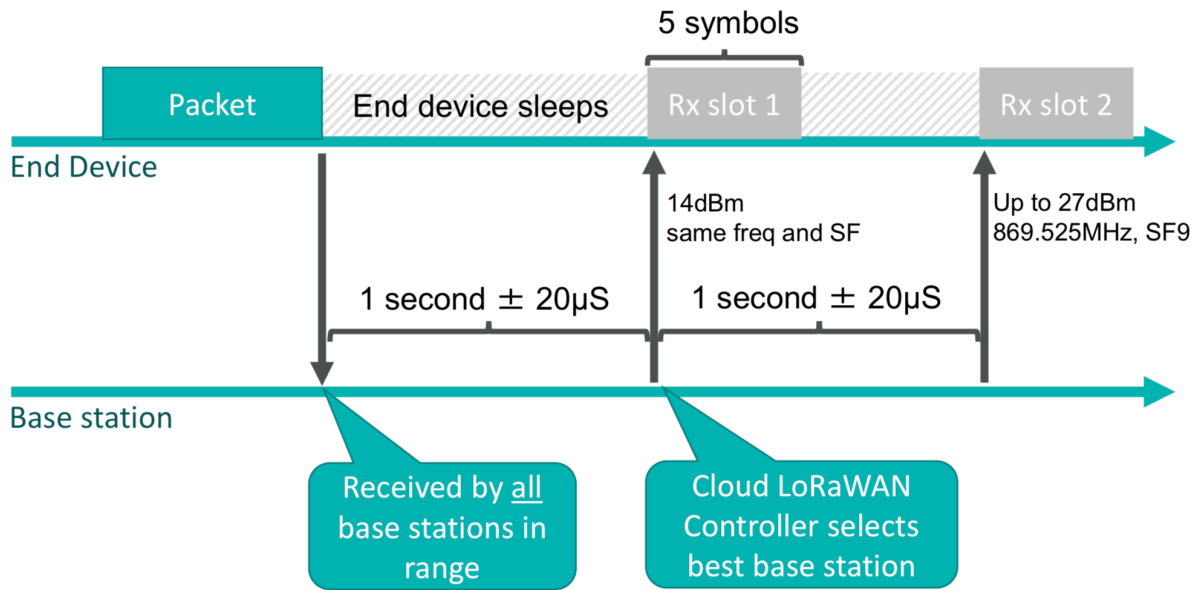
Abb 9: Klassen in Abhängigkeit der Batterielebensdauer



Quelle: Servario-Networks LoRa Grundlagen

3.5.1 Klasse A

Abb 10: Kommunikation Klasse A



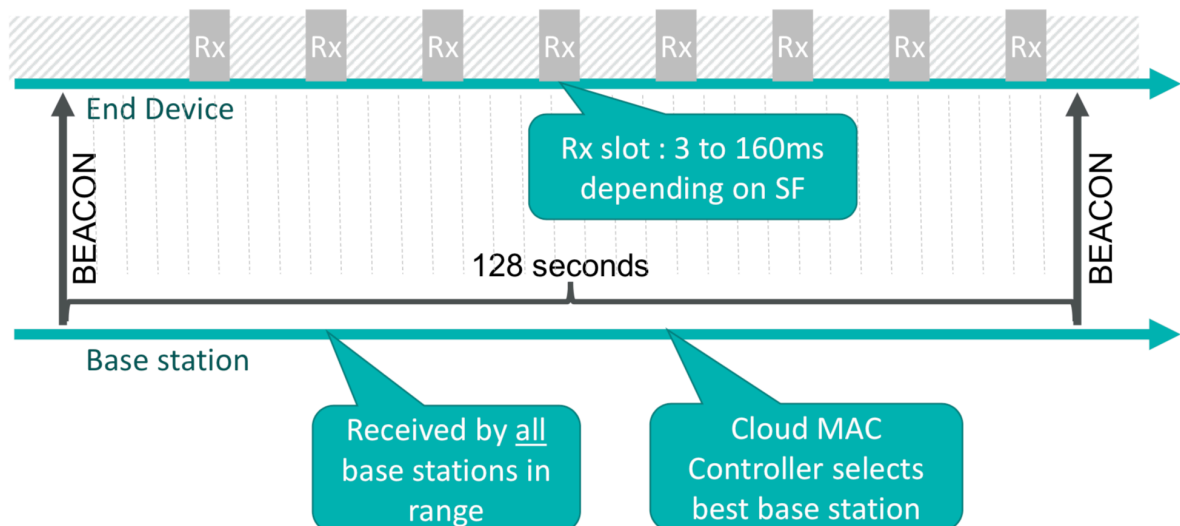
Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

Beschreibung

„Die Kommunikation funktioniert nach dem ALOHA-Zugriffsverfahren. Dabei sendet das Gerät seine erzeugten Datenpakete an das Gateway, gefolgt von zwei Download Receive-Fenstern, die für einen Datenempfang genutzt werden können. Ein erneuter Datentransfer kann nur durch das Endgerät bei einem erneuten Upload initiiert werden.“ Diese Art von Kommunikation ist die sparsamste Art.

3.5.2 Klasse B

Abb 11: Kommunikation Klasse B



Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

Beschreibung

Klasse-B-Endgeräte öffnen Download Receive Fenster zu festgelegten Zeiten. Dazu empfängt das Endgerät ein zeitgesteuertes Beacon-Signal vom Gateway. So weiss der Netzwerk-Server, wann das Endgerät bereit ist, um Daten zu empfangen.

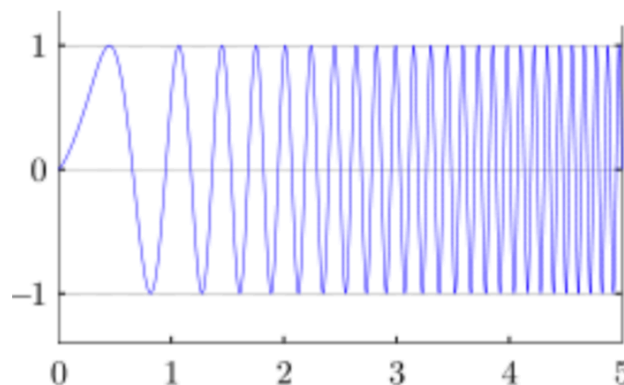
3.5.3 Klasse C

Bei Endgeräten der Klasse C besteht ein permanent geöffnetes Download-Receive-Fenster. Somit sind Endgeräte der Klasse C nahezu permanent aktiv. Diese Geräte haben meist eine fest angeschlossene Spannungsversorgung

3.6 Signal-Modulation

Lora verwendet die sogenannte Chirp Spread Spectrum Modulation. Ein Bit mit dem Wert «1» stellt dabei eine linear inkrementierende Frequenz dar, und ein Bit mit dem Wert «0» eine dekrementierende Frequenz.

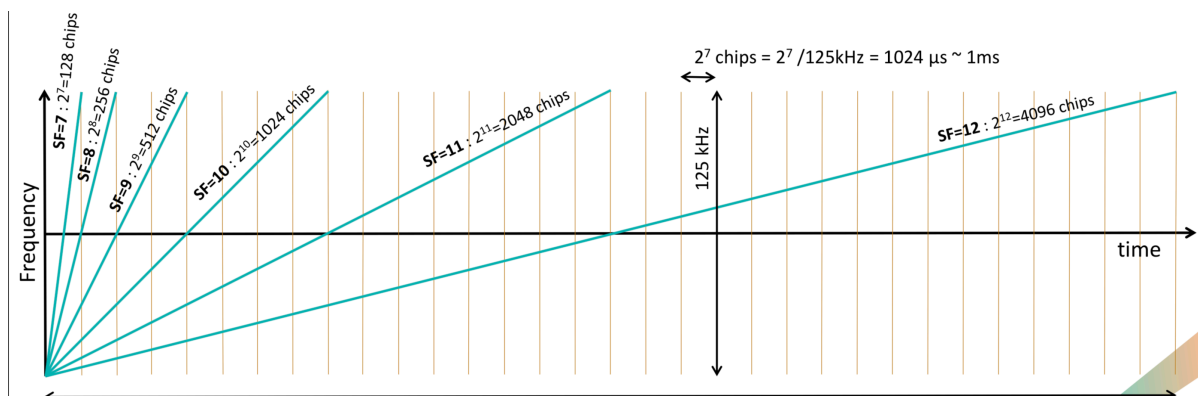
Abb 12: Chirp Spread Spectrum Modulation



Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

Die Datenrate hängt dabei stark von der Spreizung (Spread) ab. Je höher der Spreizfaktor (Spread-Factor) desto geringer die Datenrate aber desto höher auch die Immunität gegen Interferenzen. Lora erlaubt eine Spreizung von 7 zu 12. Dabei ist eine Datenrate von 50kbit/s bis 300bit/s möglich.

Abb 13: Spreizfaktor - Datenrate



Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

3.7 Reichweite

Die Reichweite ist abhängig von einigen Parametern. Eine der wichtigsten Parameter bei LoRa ist der Spreizfaktor. Allerdings kommen weitere Faktoren dazu wie:

- Was für eine Antenne wird verwendet
- Wo ist die Antenne positioniert
- Wo befindet sich das End-Gerät (Indoor / Outdoor)
- Auf welcher Frequenz wurde gesendet
- Usw.

Folgende Werte wurden berechnet unter einigen Annahmen:

Gebiets-Typ	Outdoor (m)	Light indoor	Deep Indoor
Tief urbanes Gebiet	2'000	600	500
Urbanes Gebiet	2'500	1'000	700
Vorstadt	4'000	2'000	1'300
Rural	10'000	4'600	3'300

(SF12 / 125KHz / Antennenhöhe 30m / Gain; 3dBi/ Höhe Endgerät 1,5m / Frequenz: EU 868MHz) - Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

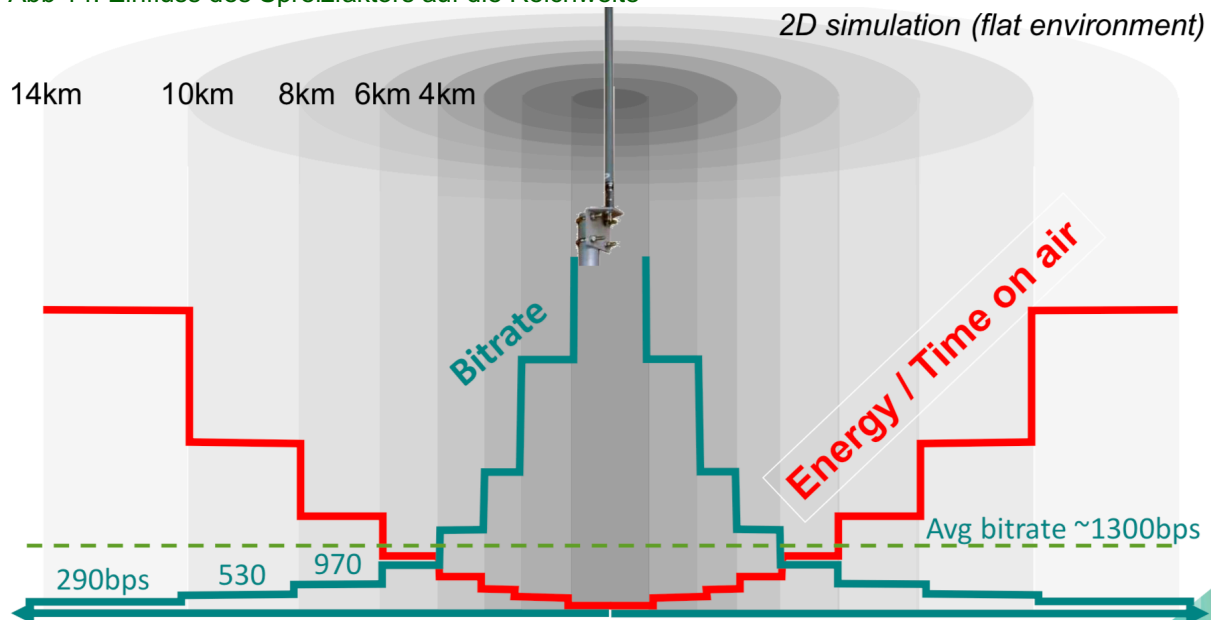
LoRa bietet eine riesige Reichweite im Gegensatz zu anderen Technologien. Swisscom hat Versuche in Bezug auf die Reichweite durchgeführt und dabei folgende Zahlen veröffentlicht:

Gebiets-Typ	Outdoor (m)	Light indoor	Deep Indoor
Urbanes Gebiet	3'000	1'000	---
Vorstadt	6'000	2'000	---
Rural	13'000	4'000	---

(SF und Bandbreite unbekannt, Antennenhöhe / Gain unbekannt) – Quelle: «Netzwoche.ch» - Wo Swisscoms erster Empfänger für das Lora-Netz steht

Folgende Grafik zeigt die Abhängigkeit von der Reichweite in Bezug auf den Spreizfaktor «SF»

Abb 14: Einfluss des Spreizfaktors auf die Reichweite



Quelle: Actility «Introduction to LoRaWAN» / April 2017

3.8 Roll Out LoRa – Internationale Abdeckung

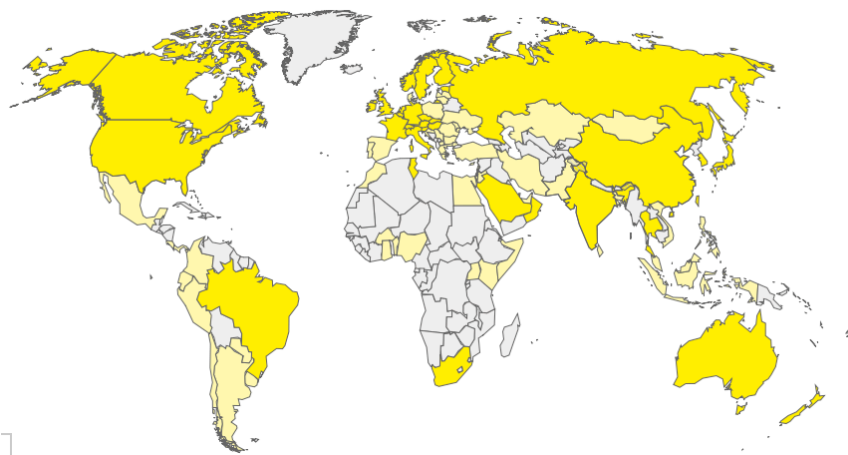
In verschiedenen Ländern ist LoRa bereits ein landesweit verfügbares Funknetz.

Zu diesen Ländern gehören:

- Schweiz
- Niederlande
- Südkorea

In anderen Ländern wiederum sind nur bereits einige Teile des Landes abgedeckt. Folgend eine Karte, welche die Abdeckung weltweit anzeigt.

Abb 15: Abdeckung weltweit



Dunkelgelb

In den dunkelgelb eingefärbten Ländern befinden sich LoRa Alliance Mitglieder / Betreiber

Hellgelb

In den hellgelb eingefärbten Ländern finden ebenfalls schon Aktivitäten auf LoRaWAN statt. Diese sind allerdings (noch) nicht Mitglieder der LoRa Alliance

Quelle: LoRa-Alliance.org – Coverage & Operator Map

4 NB-IoT

4.1 Entstehung

NarrowBand-IoT ist eine Spezifikation der 3GPP und wird auch unter dem Namen LTE-Cat-NB1 geführt. Die LTE-Netzbetreiber können mit NarrowBand-IoT ihre Mobilfunknetze für die typischen Anwendungen im Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) nutzbar machen. NB-IoT ist ein Standard, der von 3GPP im Jahr 2015 eingeführt wurde mit dem Release 13. Die definitive Fertigstellung dieses Release war allerdings 2016. 3GPP arbeitet allerdings bereits an einem neuen Release, welches vor Allem Verbesserung in der Datenübertragung bringen soll.

4.2 Architektur / Infrastruktur

Die Netzwerk-Architektur ist ähnlich wie die zu LoRa. Generell ist die Architektur im Bereich IoT immer in etwa dieselbe. Der grosse Unterschied hier ist allerdings, dass die Gateways schon vorhanden sind. NB-IoT ist ein Abfallprodukt von LTE. Das heisst, es kann via Software Update innerhalb des bestehenden LTE Netzes aktiviert werden. Es ist somit nicht nötig, ein neues Netz auf zu bauen.

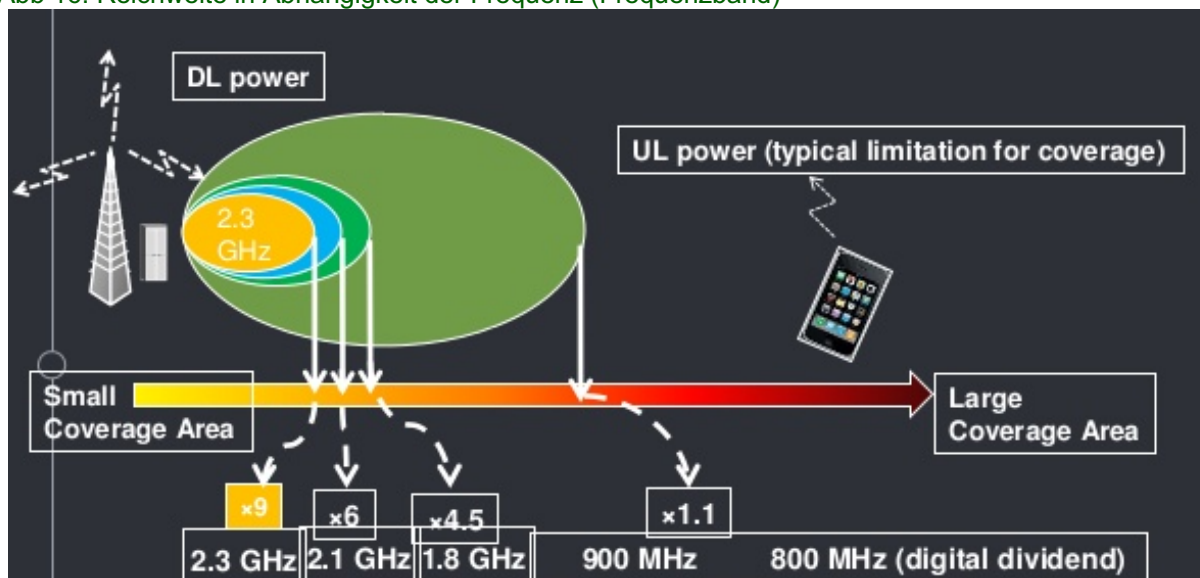
4.3 Frequenzbereich

NB-IoT ist ein 3GPP-Standard, der auf der LTE-Technologie basiert. Infolgedessen kann NB-IoT auf fast allen LTE- Basisstationen über ein einfaches Software-Upgrade des Funkzugangsnetzes (Radio Access Network, RAN) neben LTE-Datenverkehr bereitgestellt werden.

Da NB-IoT allerdings auf eine grosse Reichweite, respektive eine hohe Abdeckung abzielt, macht es Sinn, diese auf den «niederfrequenten» Frequenzbänder von LTE, GSM und UMTS zu betreiben. Auch hier gilt, je niedriger die Frequenz, desto höher die Abdeckung bei gleichbleibender Sendeleistung. Dafür kann bei höherer Frequenz eine grössere Datenmenge übertragen werden.

Für den Netzbetreiber macht es also am meisten Sinn, NB-IoT auf eine Frequenz <1GHz zu legen. Wie aber oben schon erwähnt, ist es grundsätzlich auch auf anderen Frequenzbändern möglich.

Abb 16: Reichweite in Abhängigkeit der Frequenz (Frequenzband)



Quelle: SlideShare.net - LTE- Technical and Economic Implications of Band 40

3GPP definierte in ihrem 13. Release 14 verschiedene Frequenzbänder, wobei 10 davon unter einem 1GHz sind. Allerdings sind bereits neue Frequenzbänder dazu gekommen in der Release-Definition 14 (Frequenzbänder 11, 25, 31 und 70)

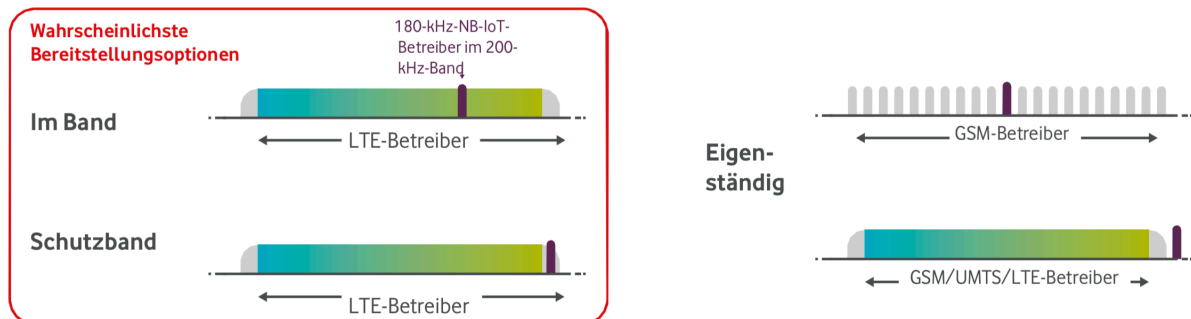
Blau markiert sind die Bänder, die in der Schweiz für die Mobilfunknutzung zur Verfügung stehen, Orange markiertes Band ist aktuell noch für DVB-T reserviert, wird allerdings im Jahr 2020 auch für die Mobilfunknutzung zur Verfügung gestellt. (gemäss Angaben Wikipedia – Mobilfrequenzen in der Schweiz)

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	FUL_low – FUL_high	FDL_low – FDL_high	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9MHz	1475.9MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz – 1462.9 MHz	1495.9MHz – 1510.9 MHz	FDD
25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
31	452.5 MHz – 457.5 MHz	462.5 MHz – 467.5 MHz	FDD
66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD

4.4 Position im Frequenzband

NB-IoT ist ein 3GPP-Standard, der auf der LTE-Technologie basiert. Infolgedessen kann NB-IoT auf fast allen LTE- Basisstationen über ein einfaches Software-Upgrade des Funkzugangsnetzes (Radio Access Network, RAN) neben LTE-Datenverkehr bereitgestellt werden. Netzbetreiber können unter drei Bereitstellungsoptionen passend zu unterschiedlichen Netzumgebungen wählen. Das macht NB-IoT zu einer sehr flexiblen LPWA-Technologie. Es ist für eine Systembandbreite von 180 kHz ausgelegt. Deshalb passt es genau in einen oder mehrere standardmässige LTE-PRBs (Physical Resource Blocks). Wo es nicht Kapazität von LTE abziehen soll, kann NB-IoT auch im Schutzband am Rand einer LTE-Zuteilung (Lücken zwischen den Frequenzbändern, die Störungen verhindern sollen) bereitgestellt werden. Diese Flexibilität der Bereitstellung und die Möglichkeit, vorhandene Netzanlagen zu verwenden, ist ein grosser Vorteil gegenüber anderen Funktechnologien. Dort muss eine neue Netzinfrastruktur, z.B. Gateways, Masten und Repeater separat bereitgestellt und verwaltet werden. Entweder von einem Netzbetreiber oder direkt von einem Unternehmen oder Unternehmenskonsortium.

Abb 17: Position im Frequenzband



Quelle: Vodafone: Whitepaper narrowband iot.pdf

4.5 Senden und Empfangen

NB-IoT arbeitet mit dem FDD (Frequency Division Duplex) Halb Duplex Verfahren. Das heisst, dass Sende-, (TX) und Empfangsfrequenz (RX) auf verschiedenen Frequenzen sind. Der Offset zwischen TX und RX Frequenz heisst «Duplex-Distance»

NB-IoT hat sehr viele Ähnlichkeiten zu LTE. Orthogonaler Frequenzteilungs-Vielfachzugriff (OFDMA) wird für einen Downlink- (UE RX) und Einzelträgerfrequenzmultiplexzugriff (SC-FDMA) für eine Aufwärtsverbindung (UE TX) verwendet. Beispielsweise werden Ratenanpassung, Kanalcodierung und Interleaving von LTE übernommen.

Im Downlink verwendet NB-IoT 12-mal 15KHz Sub-Träger (Subcarriers) was dann ein Total an 180KHz Bandbreite ergibt. Dies ist Äquivalent zum LTE-PRB (LTE Physical Layer Block). Im Uplink gibt es zwei verschiedene Varianten mit 15KHz (wie bei LTE) und 3.75KHz.

4.6 Roaming

Die Deutsche Telekom und Vodafone Group hat internationale Roaming-Tests in Europa mit lizenzierter NarrowBand IoT (NB-IoT) - Technologie erfolgreich abgeschlossen (Stand: 04.06.2018). Der Dienst wird eine nahtlose Abdeckung und Servicekontinuität für Millionen von Verbindungen über Low Power Wide Area (LPWA)-Netze gewährleisten. Der Test wurde mit globalen SIMs der Deutschen Telekom auf dem Netz von Vodafone Spanien und globalen Vodafone SIMs auf dem Netz von T-Mobile Austria und kommerziellen NB-IoT-Modulen durchgeführt.³

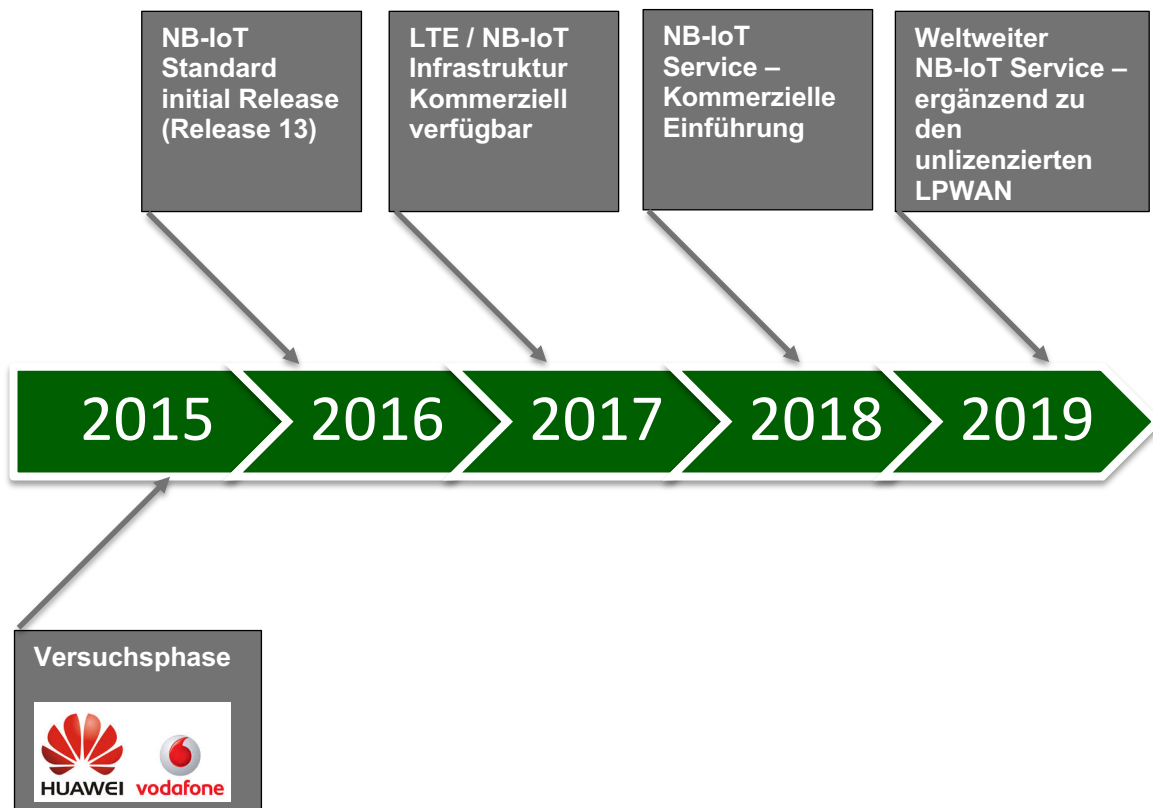
³ Deutsche Telekom – Nadja Kirchner

4.7 Roll-Out NB-IoT

Der Roll-Out hat in vielen Europäischen Ländern sowie auch in Nordamerika bereits begonnen. Der Vorteil ist, dass die Infrastruktur bereits vorhanden ist. Der landesweite Rollout in den Niederlanden ist seit Mai 2017 abgeschlossen. In Österreich hat die Telekom-Tochter T-Mobile als erster Betreiber NB-IoT kommerziell eingeführt. In Polen, der Slowakei, der Tschechischen Republik, Ungarn und Griechenland sind die NB-IoT-Netze bereits in vielen Städten aktiv, wobei die landesweite Abdeckung in vielen Ländern ebenfalls bis Ende 2018 erwartet wird.

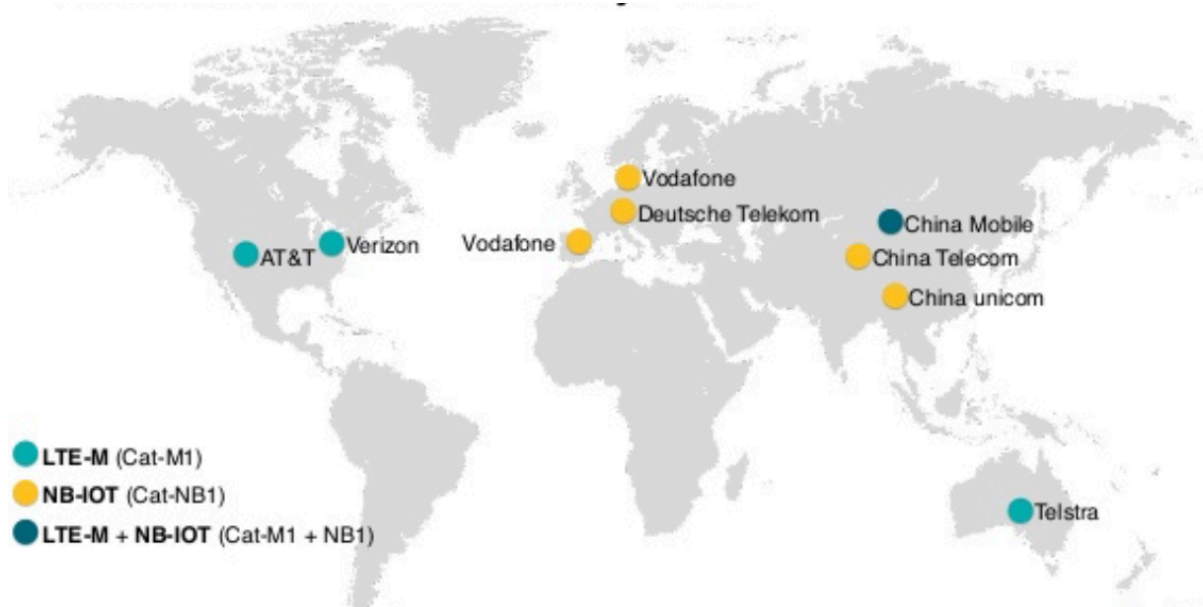
Auch in der Schweiz hat der Roll Out durch den Telekommunikations-Anbieter Swisscom bereits begonnen. Sie erweitern ihr Portfolio für das Internet der Dinge um zwei Zugangstechnologien auf Basis der Mobilkommunikation - Narrow Band-IoT (NB-IoT) und LTE Cat-M1. Beide Technologien erfüllen IoT-spezifische Anforderungen wie hohe Netzunabhängigkeit, hohe Verfügbarkeit und Sicherheit. Die Technologien basieren auf dem 3GPP-Standard. NB-IoT soll zukünftig auch mit dem aufkommendem 5G Standard kompatibel sein.

Abb 18: Road Map NB-IoT



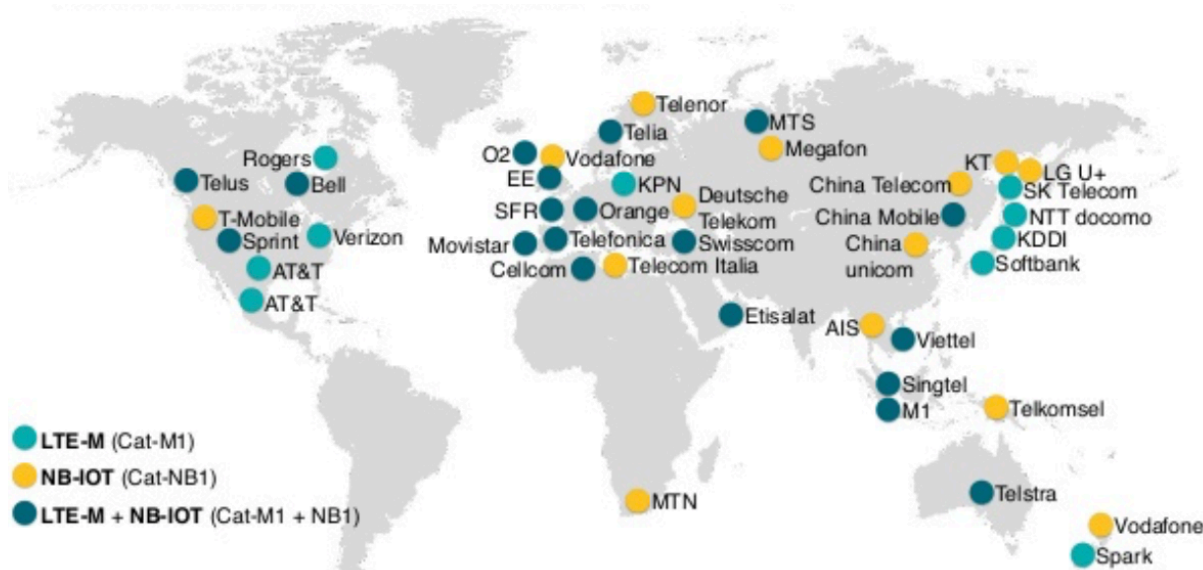
Quelle: SlideShare.net - LPWAN Paris NOV 2015 – AVNET / SILICA

Abb 19: Globaler Rollout – Stand Juli 2017



Quelle: SlideShare.net - Low-Power Wide Area - Overview

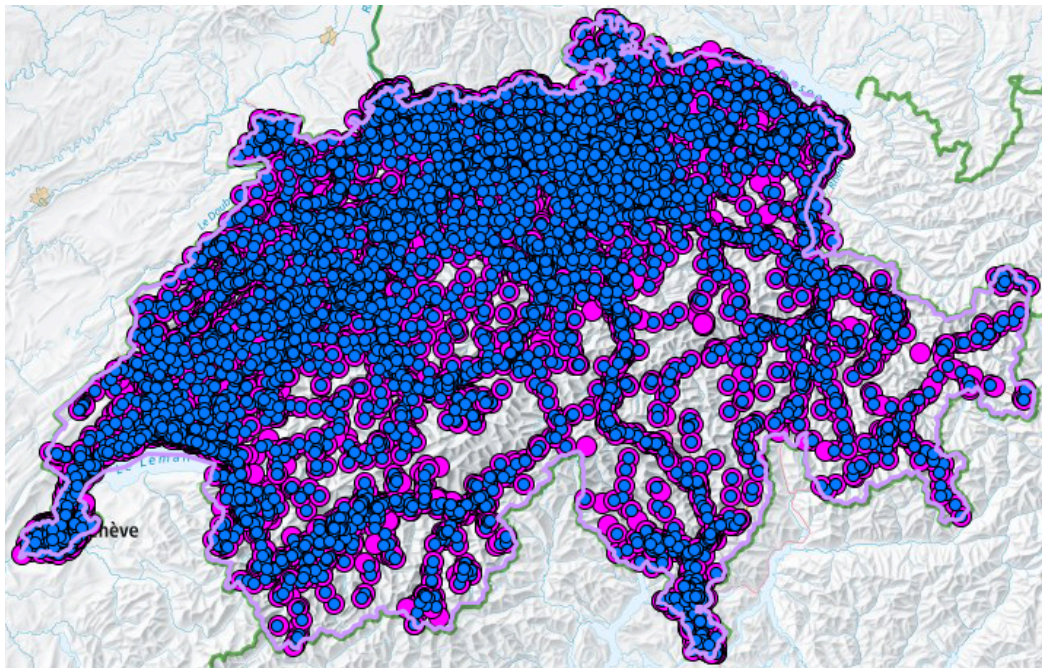
Abb 20: Globaler Rollout – Stand Juli 2018



Quelle: SlideShare.net - Low-Power Wide Area - Overview

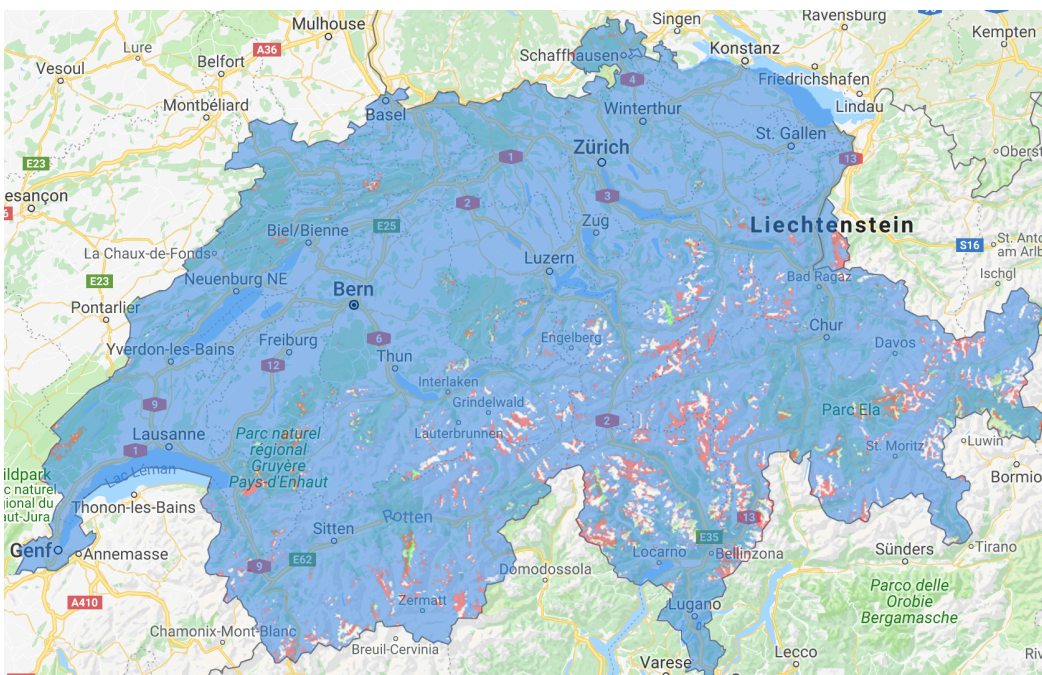
Folgend wird die 3G und 4G Netzabdeckung dargestellt. Dies ist auch das äquivalente Potential, welches die Abdeckung für NB-IoT aufzeigt. 3GPP wird in den kommenden Jahren weitere Frequenzbänder freigeben (Achtung: Grafik enthält auch 2.1GHz und 2.6GHz Sende-Einrichtungen). Man beachte, dass eine Konnektivität von 100'000 bis 200'000 NB-IoT Geräten pro 200KHz einer Funkzelle ausgelegt sind.

Abb 21: Sendeanlagen Schweiz / Liechtenstein LTE (4G) / UMTS (3G)



Quelle: bakom.admin.ch: Standorte von Sendeanlagen (4G = Blau / 3G = Pink)

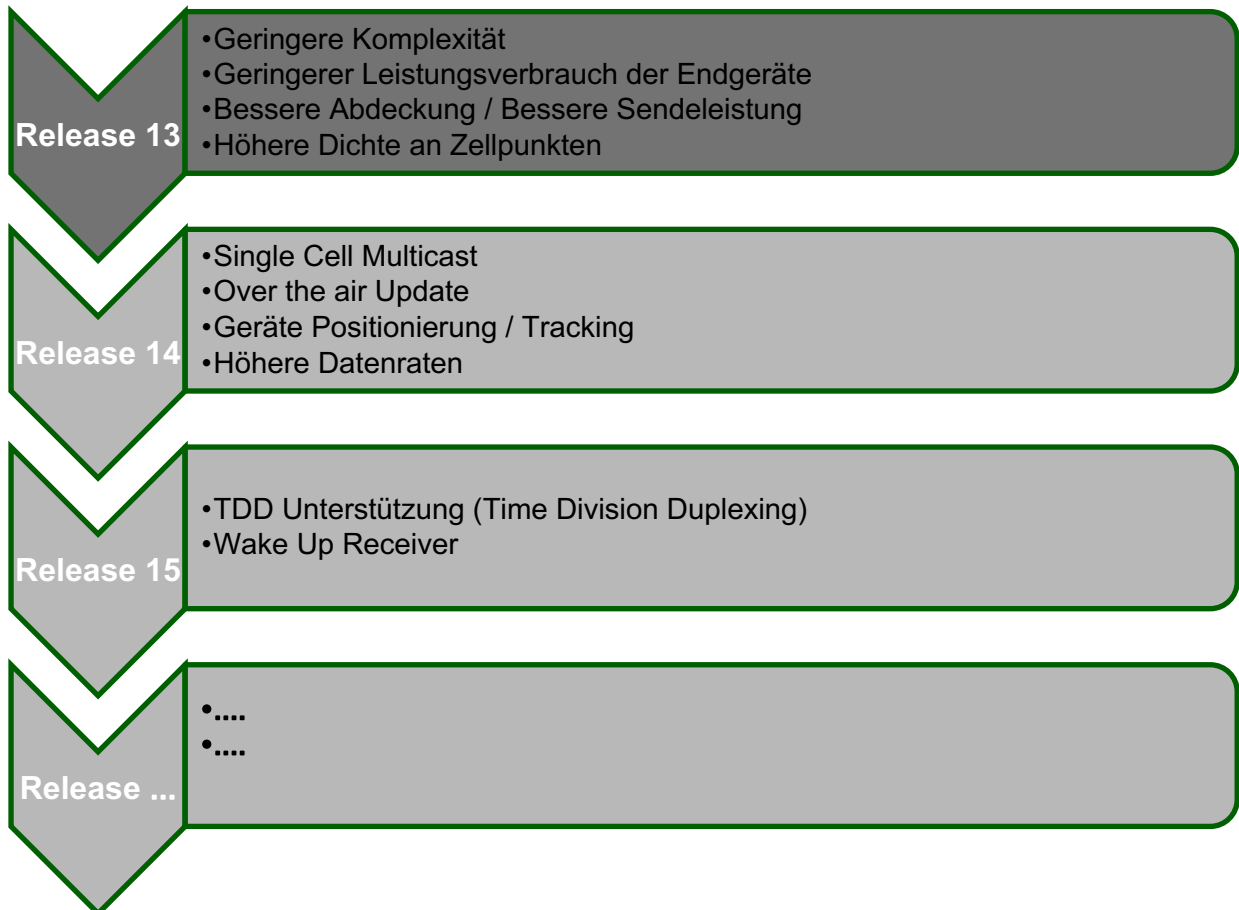
Abb 22: Netzabdeckung Schweiz / Liechtenstein LTE (4G) / UMTS (3G)



Quelle: <https://scmplc.begasoft.ch/plcapp/pages/gis/netzabdeckung.isf?lang=de> (Blau = LTE / Rot = 3G (auch unter Blau))

4.8 Ausblick

3GPP arbeitet bereits am Release 14. Folgende Darstellung soll einen Ausblick zu kommenden Features vermitteln.



5 Gegenüberstellung LoRa und NB-IoT

5.1 Technische Gegenüberstellung

	LoRa (Daten in Bezug auf Europa)	NB-IoT
Reichweite	11 – 16 km	11 – 20 km
Modulation	SSC (Chirp Spread Spectrum)	OFDM/FDMA
Max Datenrate	50kbps	250kbps
Bidirektional	Ja – Halb Duplex	Ja – Halb Duplex
Bandbreite	125 KHz und 250 KHz	180 KHz
Max Payload Länge	243 Bytes	1600 Bytes
Max Nachrichten / Tag	Unlimitiert	Unlimitiert
Link Budget	160 dB	164 dB
Location tracking	Ja	Nein (kommt mit Release 14)
Kommerzielle Verfügbarkeit	Ja	Ja
Privates Netzwerk möglich	Ja	Nein
Frequenzband (Lizenz)	Nicht lizenziert (ISM)	Lizenziert (GSM / LTE)
Einschränkung Sendeleistung	Ja (14dBm=25mW)	Nein (23dBm = 200 mW)
Sicherheit / Authentifizierung	Ja (AES 128b)	Ja (LTE Encryption)
Anzahl Geräte Pro Zelle	< 50K	>100K
Roaming möglich	Ja	Ja

Quelle(n):

- sciencedirect.com / comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment
- vodafone.de / Narrowband-IoT: Internet of Things
- bluesignal.com / NB-IoT vs. LoRa: It's an Ecosystem, Not a Race

5.1.1 Wertung

Wertung	LoRa	NB-IoT
Reichweite	+++++	+++++
Datenrate	++	+++++
Payload Länge	++	+++++
Verbreitung	++++	+++

Wertung 1-5, respektive + bis +++++

5.2 Finanzielle Gegenüberstellung

5.2.1 Kosten (Netzbetreiber)

	LoRa	NB-IoT
Base-Station	>1000 €/Base Station >100€ Gateway	>15'000€/Base Station (schon vorhanden)
Spektrum-Kosten (für Frequenz)	Keine	>500M€/MHz

Quelle(n):

- sciencedirect.com / comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment

5.2.2 Kosten (Entwickler - User)

	LoRa	NB-IoT
Modulkosten	< 10\$ (2016)	6\$ (2017) bis <2\$(2020)
Monatliche Kosten	XX	XXX

Quelle(n):

- sciencedirect.com / comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment
- vodafone.de / Narrowband-IoT: Internet of Things

5.2.3 Wertung

Wertung	LoRa	NB-IoT
Kosten	++++	+++

Wertung 1-5, respektive + bis +++++

5.3 Quality of Service (QoS)

LoRa verwendet auf der ganzen Welt unlizenzierte Frequenzbänder. Auf diesen Frequenzbändern sind sie aber nicht alleine; Andere Geräte wie Garagentoröffner, Alarmanlagen und Hausnotrufsysteme sind benutzen ebenfalls die von LoRa verwendete Frequenz. NB-IoT wiederum verwendet lizenzierte Bänder die aber für den Mobilfunkanbieter extrem teuer sind. Diese Frequenzbänder werden unter den jeweiligen Mobilfunkanbieter versteigert für über 500 Millionen € pro Frequenz. Deshalb sollte auch klar sein, dass der «Quality of Service (QoS) nicht vergleichbar ist. Dieser QoS ist nach Standard IEEE 802.1p geregelt. Unter anderem finden sich da drin Punkte wie:

- Ein Anwender möchte zuverlässig mit dem gewünschten Ziel verbunden werden und nach Ende der Kommunikation zuverlässig getrennt werden.
- Der Verbindungsaufbau soll rasch erfolgen.
- Probleme beim Verbindungsaufbau (z. B. Ziel-Teilnehmer nicht erreichbar) sollen dem Anwender schnellstmöglich mitgeteilt werden.
- Eine Kommunikationsverbindung soll stabil bestehen bleiben.
- Die Kommunikationsteilnehmer wollen sich verstehen können.
- Die Informationen sollen vollständig und ohne Fehler übertragen werden.
- Es sollen keine Informationen anderer Kommunikationsteilnehmer und keine Störungen übertragen werden.

Wertung	LoRa	NB-IoT
Quality of Service	++	+++++

Wertung 1-5, respektive + bis +++++

5.4 Energieverbrauch und Latenz

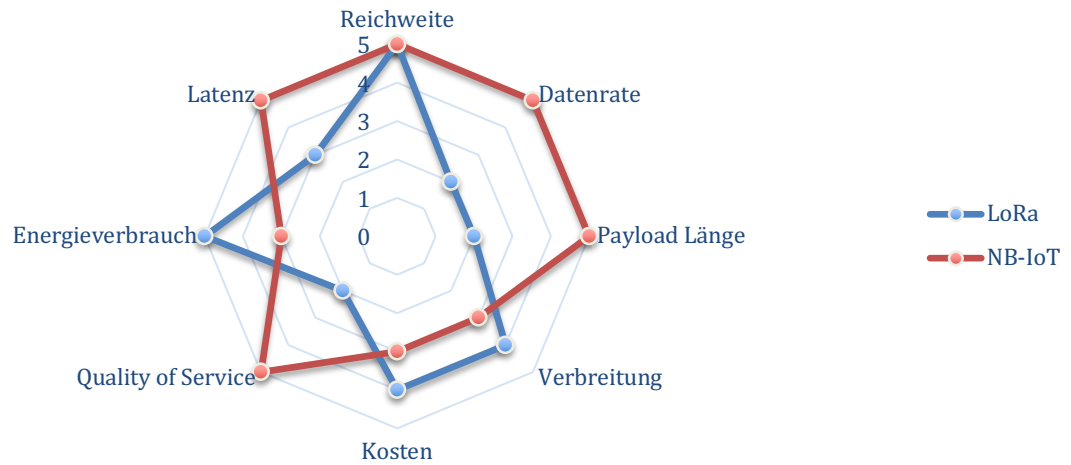
Die meiste Zeit sind LoRa und NB-IoT Geräte im Sleep Modus. In diesem Modus verbrauchen sie auch am wenigsten Energie. Allerdings müssen sich NB-IoT Geräte immer wieder mit dem Netz synchronisieren für das QoS Handling. Diese Synchronisierung braucht Energie was auf Kosten der Batterie geht. Dafür verfügt NB-IoT über eine geringere Latenz. Auch LoRa verfügt über einen Modus der eine geringere Latenz verfügt (Klasse C) was aber auch auf die Kosten des Energieverbrauchs geht.

Wertung	LoRa	NB-IoT
Energieverbrauch	+++++	+++
Latenz	+++	+++++

Wertung 1-5, respektive + bis +++++

5.5 Gesamtauswertung

Abb 23: Gesamtauswertung



5.6 Vorteile / Nachteile

5.6.1 LoRa






Vorteile LoRa		Nachteile LoRa	
+	Module sind aktuell noch günstiger	-	Andere Geräte auf derselben Frequenz
+	Eigene Netzwerke möglich	-	Infrastruktur ist aktuell noch lückenhaft
+	Keine SIM-Karte erforderlich	-	Hohe Latenzzeiten
+	Time to Market kurz	-	International auf verschiedenen Frequenzen
+	Bereits im Markt «etabliert»		
+	Tracking möglich		
+	Aktuell am verbreitetste LOWA Technologie		

5.6.2 NB-IoT

Vorteile NB-IoT		Nachteile NB-IoT	
+	Bestehende Infrastruktur	-	Monatliche / jährliche SIM-Karten Kosten
+	Riesiges Potential in Bezug auf Abdeckung	-	Befindet sich in der Anlauf-Phase
+	hohe Datenraten (für LPWA)	-	Höherer Stromverbrauch
+	Service-Dienst gewährleistet	-	Aktuell noch kein Tracking möglich

5.7 Optimaler Einsatz

Jede Technologie bietet seine Vor- und Nachteile, dem entsprechend muss man sie dafür einsetzen. Folgende Tabelle zeigt, welche Technologie wo eingesetzt werden kann.

	Einsatzgebiet	Beschreibung	Vorzug
	Smart Metering	Die meisten Smart-Metering Anwendungen sind reduziert auf wenige Daten am Tag – Latenz ist dabei nicht sehr wichtig, dafür aber Batterielaufzeit und Kosten.	LoRa
	Industrie	Zuverlässigkeit und zum Teil hohe Daten mehrmals am Tag sind hier wichtig. Ebenfalls ein garantierter QoS. Ebenfalls ist die Netzabdeckung in urbanen Gebieten zwingend notwendig	NB-IoT
	Supply-Chain	Tracken von Fahrzeugen, günstige Gateways oder sogar Private Netzwerke. Ebenfalls sind hier keine grossen Datenmengen nötig	LoRa
	Smart City	Private Netzwerke aber zum Teil auch hohe Datenraten sind hier von Vorteil. Die Batterielaufzeit ist hier weniger relevant, da Endgeräte auch vom Netz gespiesen werden können.	LoRa und NB-IoT
	Agrikultur	Geringe Datenmengen wenige male am Tag plus eine gute Netzabdeckung im ruralen Gebiet sind hier erforderlich	LoRa

Abbildungsverzeichnis

Abb 1: Drahtlosnetzwerke im Vergleich	2
Abb 2: Gesamtauswertung	2
Abb 3: Aufteilung des heutigen Standes der IoT verwendeten Technologien	6
Abb 4: LPWA (Low Power Wide Area Geräte) x1000.....	6
Abb 5: Technologie-Vergleich in Bezug auf Batterie-Lebensdauer und Reichweite.....	7
Abb 6: Mitglieder der LoRa Alliance (Stand Dez. 2016)	8
Abb 7: Netzwerk-Architektur LoRa.....	8
Abb 8: Frequenzbereiche der unterschiedlichen Regionen der Welt.....	9
Abb 9: Klassen in Abhängigkeit der Batterielebensdauer.....	10
Abb 10: Kommunikation Klasse A.....	11
Abb 11: Kommunikation Klasse B.....	11
Abb 12: Chirp Spread Spectrum Modulation	12
Abb 13: Spreizfaktor - Datenrate	12
Abb 14: Einfluss des Spreizfaktors auf die Reichweite.....	13
Abb 15: Abdeckung weltweit.....	14
Abb 16: Reichweite in Abhängigkeit der Frequenz (Frequenzband)	15
Abb 17: Position im Frequenzband.....	17
Abb 18: Road Map NB-IoT.....	18
Abb 19: Globaler Rollout – Stand Juli 2017	19
Abb 20: Globaler Rollout – Stand Juli 2018	19
Abb 21: Sendeanlagen Schweiz / Liechtenstein LTE (4G) / UMTS (3G).....	20
Abb 22: Netzabdeckung Schweiz / Liechtenstein LTE (4G) / UMTS (3G).....	20
Abb 23: Gesamtauswertung	24

6 Quellen

6.1 LoRa

- Web – DigiKey:
<https://www.digikey.ch/de/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>
- Web - Elektronik Kompendium
<https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/2203171.htm>
- Web - Wikipedia
https://de.wikipedia.org/wiki/Long_Range_Wide_Area_Network
- Web - Bluesignal.com
<http://www.bluesignal.com/2017/07/13/nb-iot-vs-lora-its-an-ecosystem-not-a-race/>
- Lokal - Foliensatz
/Cloud/DIENER group GmbH/ZRH - Dokumente/03_Projekte/2018-013_INT_IOT/02_Wissenssammlung-Parametrics/Swisscom LoRa Bootcamp/Allgemein/LoRaWAN Introduction.pdf
- Actility
<https://www.actility.com/news/kpn-orange-lorawan-roaming/>

6.2 NB-IoT

- Web - Elektronik Kompendium
<https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/2203161.htm>
- Web - Vodafone
<https://www.vodafone.de/media/downloads/pdf/vodafone-whitepaper-narrowband-iot.pdf>
- Web - Telekom
<https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/neues-iot-netz-512406>
- Web - Bundesamt für Kommunikation BAKOM
https://map.geo.admin.ch/?topic=funksender&lang=de&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.bakom.radio-fernsehsender,ch.bakom.mobil-antennenstandorte-gsm,ch.bakom.mobil-antennenstandorte-umts,ch.bakom.mobil-antennenstandorte-lte,ch.swisstopo.swissboundaries3d-land-flaeche.fill&catalogNodes=411,408,403&layers_visibility=false,false,true,true,true&E=2630225.49&N=1175425.35&zoom=1.1733333333333338
- Web – RF VERIFICATION FOR THE NARROWBAND IOT CHIPSET – Kuusisto Esa
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147508/Kuusisto_Esa.pdf?sequence=1
- Web - ScienceDirect
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/9D19F97F27D111E79B07420E27EB5C693A7C9FE2C22D953769E6B06B9A6033E98F095241739DA7374EF5216A60FB6D07>
- Web - Elektronik Net
<https://www.elektroniknet.de/elektronik/kommunikation/nb-iot-nb-lte-oder-lte-cat-nb1-134629-Seite-3.html>
- Web - Telekom
<https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/erfolgreicher-nb-iot-roaming-test-in-europa-526398>