

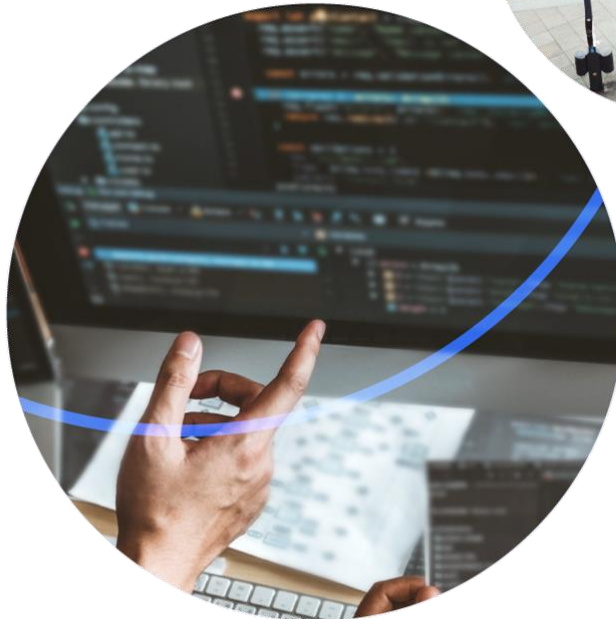


Telefónica

Wissenswertes über LTE-M, NB-IoT und LPWA für Entwickler und Entscheider



INTERNET DER DINGE



Autoren: Harald Naumann | Markus Hetzer | Karsten Heynhold

Sales & Competence Center IoT | Telefónica Germany GmbH & Co. OHG
Georg-Brauchle-Ring 50, 80992 München

Inhaltsverzeichnis

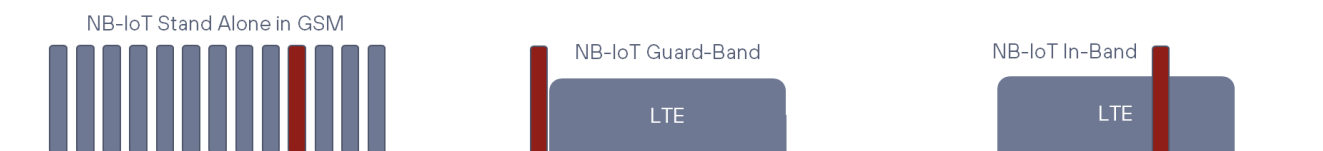
NB-IoT - Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft	3
Die Anfänge von NB-IoT	3
NB-IoT in 2016.....	3
LTE-M – Der große Bruder von NB-IoT	4
NB-IoT und LTE-M - seit 2020 ein Teil der 5G-Familie.....	5
Anwendungen von NB-IoT und LTE-M innerhalb 5G	6
Unterschied NB-IoT NB1/ NB2 und LTE-M M1 / M2.....	7
Linkbudget	9
Vorteile des hohen Linkbudgets.....	12
Antennengewinn, Übertragungsgeschwindigkeit und Laufzeit der Batterie	12
Power-Save-Mode (PSM) und Release Assistance Indication (RAI)	14
Power-Save-Mode (PSM)	15
Release Assistance Indication (RAI).....	15
Autoren	17

NB-IoT - Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft

Seit 2016 spricht man in der drahtlosen IoT-Welt offen über eine neue Funktechnik mit dem Namen Narrowband-IoT (NB-IoT). Wo kommt diese Technik ursprünglich her, wo steht NB-IoT heute und wie wurde NB-IoT am Ende ein Teil von 5G?

Die Anfänge von NB-IoT

Die Firma Neul in UK hatte bereits 2014 das Ziel, eine skalierbare, sichere, widerstandsfähige und wirtschaftliche Technik für das Internet der Dinge für Netzbetreiber zu ermöglichen. Dazu wurde das bestehende Funkprotokoll Weightless¹ im lizenzfreien Frequenzband geändert. Die bestehende Funktechnik wurde auf die lizenzpflichtigen Bänder des Mobilfunks angepasst. Die Idee waren Netz-dienste für kleine Geräte mit geringem Stromverbrauch und Anbindung an die Cloud. Diese neue Technik hatte im Vergleich zu GPRS eine 20 dB höhere Leistungsträgerbilanz (engl. Linkbudget) und damit eine bessere Netzabdeckung. Die Funktechnik konnte in jedem Frequenzband unterhalb 1 GHz betrieben werden. Ein solches Weightless-Netzwerk benötigte als Netz im Netz ein Frequenzspektrum von nur 180 kHz. Ein GSM-Subcarrier oder 200 kHz innerhalb des LTE-Spektrums reichten aus. Wem die heutige Spezifikation von NB-IoT bekannt ist, der erkennt in dem obigen Text die Eigenschaften von NB-IoT. NB-IoT nutzt für 12 Kanäle (engl. tones) nur 180 kHz in einem freien Spektrum innerhalb des LTE-Frequenzbandes. Die 20 dB mehr Linkbudget als GPRS finden wir ebenfalls bei NB-IoT.



NB-IoT Stand Alone, Guard-Band und In-Band

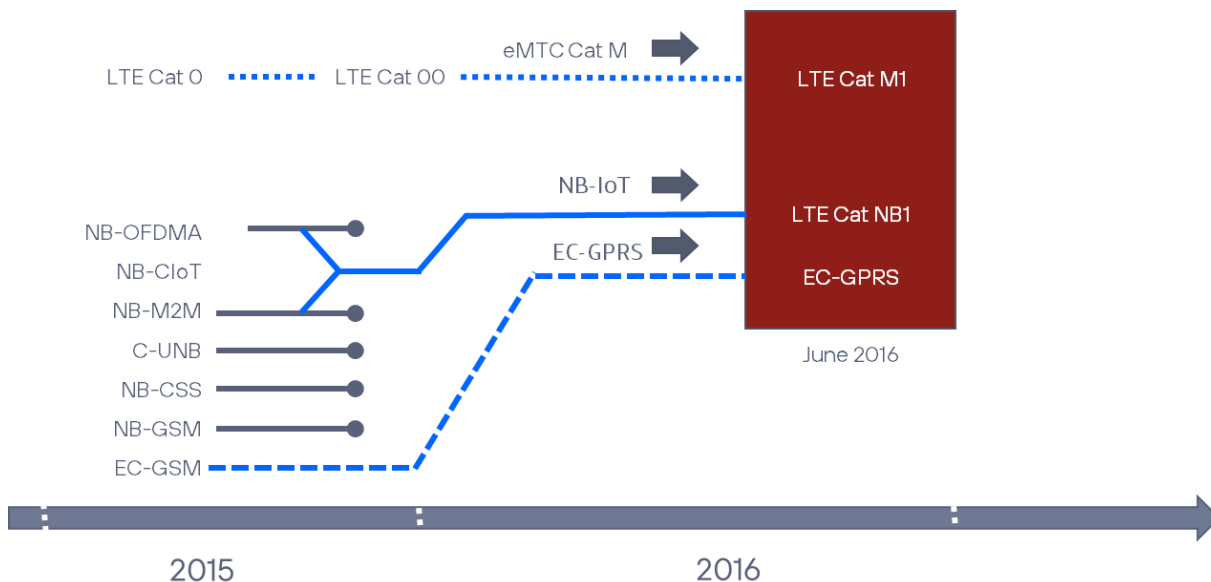
Die Vorzüge der Idee hatte Huawei erkannt und Neul erworben. Das weltweit erste NB-IoT-Chipset wurde von der Huawei-Tochter Hisilicon auf den Markt gebracht. China ist inzwischen mit Abstand der größte Absatzmarkt für NB-IoT-Anwendungen, hier wird kein LTE-M ausgerollt und alles auf NB-IoT gesetzt². Das Ergebnis ist, dass viele NB-IoT-Chipsätze chinesischen Ursprung haben. Der harte Wettbewerb führt dazu, dass der Preis für NB-IoT-Module konstant fällt, der Energieverbrauch sinkt und der Umfang der Funktionen stetig zunimmt.

NB-IoT in 2016

Bei NB-IoT ging es zügig voran. Diverse Firmen waren für die Vernetzung von Geräten mit niedrigem Energieverbrauch mit einem zellularen Low Power Wide Area Network (LPWAN) beschäftigt. Nokia Networks und Ericsson hatten ihre eigenen Ideen und darüber hinaus ähnliche Begriffe. Die Grafik zeigt die Konsolidierung auf die heutigen Begriffe des LPWA.

¹ Vgl. Webb, William/Steven Wenham/Peter Smith: Weightless-P System specification, in: amazonaws.com, 26.10.2015, https://pro-bee-user-content-eu-west-1.s3.amazonaws.com/public/users/Integrators/929cb090-e779-401a-b06c-c629ff6b0fea/ap-cambridgestartuplimi/Weightless-P_v1.03.pdf (abgerufen am 12.12.2021).

² Vgl. <https://www.gsma.com/iot/deployment-map/>



Begriffe 2015 und die Begriffe der 3GPP im June 2016. Quelle: Harald Naumann

NB-IoT (LTE Cat NB1) wurde neben LTE-M (LTE Cat M1) in 2016 von der 3GPP³ in Release 13 erstmals als LPWA-Technologie benannt. Um die Lesbarkeit zu erhöhen, bleiben wir bei dem Begriff NB-IoT, obwohl LTE Cat NB1/NB2 der technisch richtige Name ist.

Das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) besteht aus einer Gruppe von Verbänden in der Telekommunikation mit dem ursprünglichen Ziel, weltweite Spezifikationen für Systeme des Mobilfunks der dritten Generation (3G) zu entwickeln. Für 4G und 5G ist weiterhin die 3GPP zuständig. In einer sogenannten Release werden die Interessen und Ideen von vielen Mitgliedern festgeschrieben. Danach können die Hersteller die Neuerungen in den Chipsets und Basisstationen umsetzen. In der Release 13 wurden nicht nur NB-IoT, LTE-M und extended coverage GSM (EC-GPRS) fixiert, sondern auch diverse Neuerungen für das klassische LTE hinzugefügt.

Der Zielmarkt von NB-IoT sind Geräte mit geringer Komplexität mit seltenen, kleinen Datenübertragungen. Weitere Ziele sind eine breitere und tiefere Netzabdeckung, eine lange Akkulaufzeit und minimale Kosten. In 2017 brachte die Release 14 mit LTE Cat NB2 für NB-IoT eine Reihe von Verbesserungen. Der Stromverbrauch wurde erneut gesenkt, die Konnektivität und Datenrate verbessert und eine begrenzte Mobilität eingeführt. NB-IoT-Geräte können länger als 10 Jahre ohne Batteriewechsel arbeiten. Im März 2018 hatten 13 Firmen einen NB-IoT-Chipsatz in der Planung oder fertiggestellt. In den Releases 15 bis 17 kamen weitere erstaunliche Funktionen hinzu.

LTE-M – Der große Bruder von NB-IoT

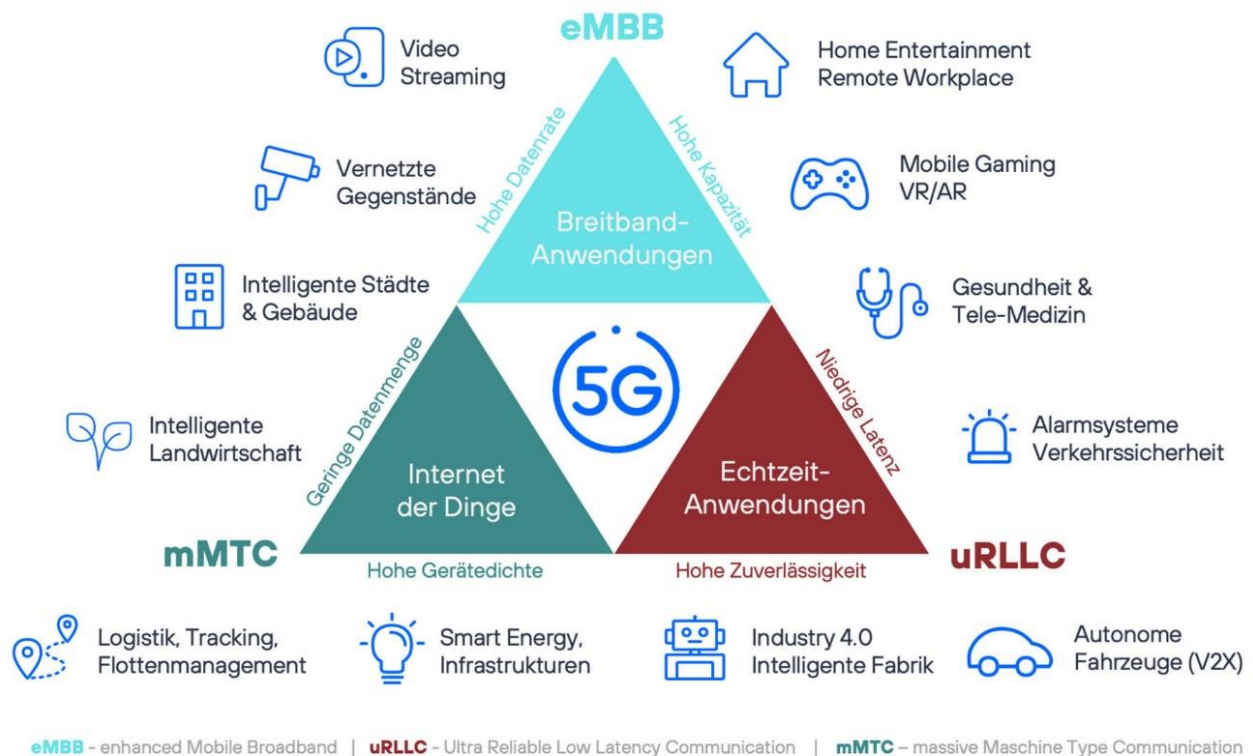
LTE-M („M“ steht für „Machine Type Communication“) wurde in 3GPP Release 13 mit dem Fokus spezifiziert, höhere Datenraten mit vergleichbarer Abdeckung für IoT Geräte bereitzustellen, als dies NB-IoT kann. Gleichzeitig sollten die Geräte auch eine geringere Komplexität als normale LTE Geräte aufweisen, um die Kosten zu reduzieren. Die höhere Datenrate wird zum Großteil durch eine höhere Bandbreite erreicht.

Das LTE Spektrum ist in mehrere Frequenzressourcenblöcke (PRB, Physical Resource Block) von je 180kHz unterteilt. NB-IoT benötigt davon wie bereits erwähnt einen 180kHz Block (1 PRB), während ein LTE-M1 Gerät bis zu 6 davon bekommen kann. Jeweils 6 PRBs bilden ein sogenanntes Narrowband, eine Art Subband innerhalb des LTE Spektrums. Die kleinste Ressourceneinheit für ein einzelnes LTE-M Gerät beträgt 1 PRB (180kHz). Technisch ist es möglich, mehrere Narrowbands für LTE-M zu verwenden, um die Kapazität der Funkzelle zu erhöhen. Da die für LTE-M benötigten Ressourcen zu Lasten des normalen LTE Netz gehen, wird in der Regel nur 1 Narrowband verwendet. Ein LTE-M1 Gerät kann keine Narrowbands bündeln. In 3GPP Release 14 wurde die Bandbreite mit der Einführung der neuen Kategorie LTE-M2 auf 5MHz erhöht. Details dazu weiter unten im Text.

³ Vgl. Flynn, Kevin: Standardization of NB-IOT completed, in: 3GPP, 22.06.2016, https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb_1ot_complete (abgerufen am 12.12.2021).

NB-IoT und LTE-M - seit 2020 ein Teil der 5G-Familie

5G ist die Kurzform von 5G-NR bzw. 5G-New-Radio. 5G wird die global dominierte Technologie für Mobilfunk. Die 5G-Anforderungen⁴ wurden von ITU-R und 3GPP definiert. ITU-R ist die Abkürzung International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector und kümmert sich um internationale Angelegenheiten innerhalb der Funkkommunikation.



Quelle Telefónica Deutschland

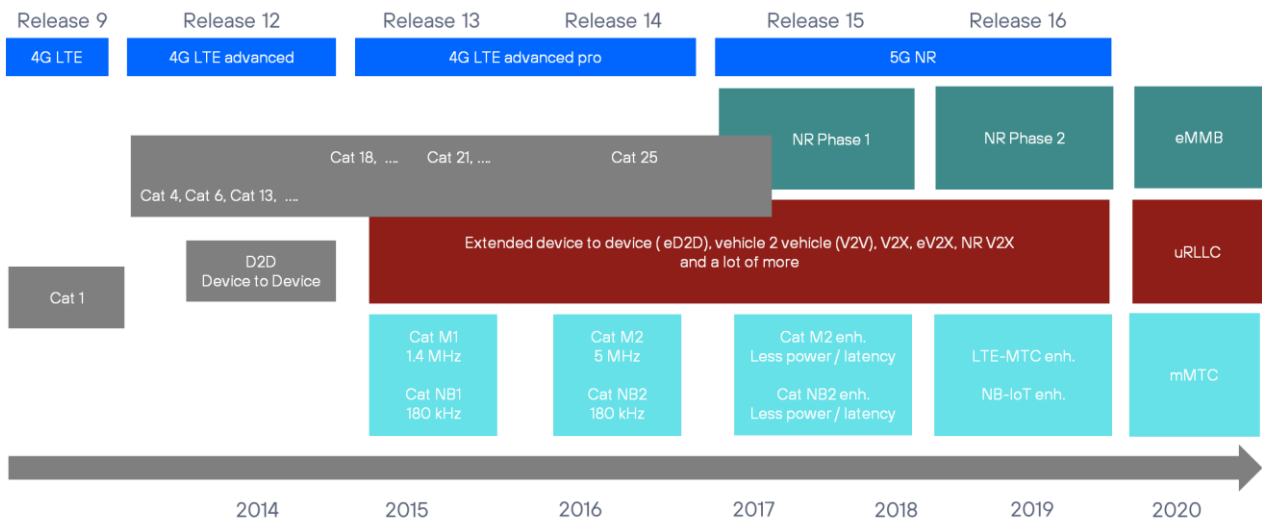
5G hat drei Bestandteile:

- eMBB: Enhanced Mobile Broadband
- uRLLC: Ultra-Reliable Low Latency Communications, Mission-Critical Communications
- mMTC: Massive Machine Type Communications, Mobiles IoT/Massives IoT/LPWAN

Die Grafik zeigt die drei Teile von 5G. Mit eMBB wird zum Beispiel der Download eines Videos in wenigen Sekunden möglich. uRLLC ermöglicht den Echtzeitbetrieb für u. a. autonomes Fahren und Robotersteuerungen in der Fabrik. mMTC plant eine Million Teilnehmer pro Basisstation mit kleinen, batteriebetriebenen Geräten. 5G ist nicht eine Technik für Mobilfunk, sondern der Schirm für unterschiedliche Techniken und Anforderungen. Bei 5G wurde der lange Betrieb von der Batterie und vieles mehr von Anfang an spezifiziert. Wenn man genau hinschaut, dann sind die digitalen Anwendungen innerhalb 5G um ein Vielfaches größer als die Funktionen für die Sprachkommunikation. Im Juli 2019 hat 3GPP mit der Release 16 bestätigt, dass NB-IoT und LTE-M die Anforderungen für Massive Machine Type Communication (mMTC)⁵ von 5G erfüllt. NB-IoT und LTE-M wurden in 5G NR integriert.

⁴ Vgl. Flynn, Kevin: 3GPP meets IMT-2020, in: 3GPP, 28.11.2020, <https://www.3gpp.org/news-events/2143-3gpp-meets-imt-2020> (abgerufen am 12.12.2021).

⁵ Vgl. Blackman, James: What is mMTC in 5G NR, and how does it impact NB-IoT and LTE-M, in: Enterprise IoT Insights, 16.10.2019, <https://enterpriseiotinsights.com/20191016/channels/fundamentals/what-is-mmtc-in-5g-nr-and-how-does-it-impact-nb-iot-and-lte-m> (abgerufen am 12.12.2021).



Release 9 bis 16 mit den 3 Bestandteilen von 5G New Radio

NB IoT und LTE-M wird sich im mMTC als Teil der 5G-Spezifikationen weiterentwickeln. Es wird im selben Netz wie die anderen Komponenten von 5G NR koexistieren. Das ist im Vergleich zum Vorgänger von NB-IoT nicht neu. Neu ist, dass ein Rechner in einer Basisstation für alle Dienste zuständig ist, und dass man das Spektrum im laufenden Betrieb anders aufteilen kann. Bei NB-IoT ist die Aufteilung der Frequenzbereiche für LTE (4G) statisch. Langfristig schützt die Integration von NB-IoT und LTE-M in 5G die Rentabilität der Systemintegratoren. Der längere Lebenszyklus der Technologie ist durch die 3GPP garantiert. Integratoren können NB-IoT und LTE-M innerhalb 5G für den künftigen Betrieb strategisch einplanen. Mit Release 16 in 2021 wird die ursprüngliche Release 13 aus dem Juni 2016 weiterhin unterstützt.

Anwendungen von NB-IoT und LTE-M innerhalb 5G

Im geschäftlichen, industriellen als auch privaten Umfeld ist LTE-M und NB-IoT immer stärker vertreten. Die Anwendungen sind vielfältig. Intelligente und vernetzte Sensoren sind mittlerweile in einer Vielzahl in Geräten verbaut und begleiten uns im täglichen Leben. Der Einsatz von solchen drahtlosen Netztechnologien ermöglicht es Unternehmen zum Beispiel Fertigungs- und Produktionsprozesse zu optimieren. Arbeitsabläufe können vereinfacht und transparenter gemacht werden, laufende Betriebskosten lassen sich reduzieren und der Einsatz von Personal kann effizienter geplant werden. Ähnliches sieht man in der Logistik, Gebäudetechnik sowie in der Lebensmittel- und Landwirtschaft. Lebensnotwendige Ressourcen wie bspw. die Nutzung von Wasser lassen sich besser verwalten, steuern und überwachen.

NB-IoT-Module sind im Vergleich zu 4G- oder 5G-NR-Modulen mit eMBB und uRLLC erheblich kleiner. In einem 5G-NR-Modul befinden sich oft mehrere Sender und Empfänger, welche parallel in Betrieb sind. Irgendwo muss für den Download eines Videos in wenigen Sekunden die Geschwindigkeit herkommen. Inzwischen ist die Datenübertragung auf dem Funkweg mit 5G-NR deutlich schneller als mit USB 2.0. Selbst USB 3.0 kommt an seine Grenzen. Viele Daten in kurzer Zeit benötigen eine Menge Energie. Das führt dazu, dass die Akkus in den 5G-Smartphones inzwischen viel größer sind. Damit die Energie zügig in den Akku kommt, wurde bei 5G-Telefonen das Schnellladen in 30 Minuten eingeführt.

Bei NB-IoT ist es gemächlicher. Es gibt nur einen Sender und einen Empfänger. Obendrein sind beide im Wechsel im Betrieb (Halbduplex). Das reduziert die Kosten für den Mikrocontroller und den Speicher. Ein NB-IoT-Modul kostet bei mittlerer Stückzahl weniger als 5 USD und arbeitet von einer Batterie bis zu 10 Jahre. Ein 5G-NR-Modul kostet in 2021 ca. 250 USD. Laut Ericssons Mobilitätsbericht 2020 werden die zellularen IoT-Verbindungen voraussichtlich 6,9 Milliarden erreichen (jährliche Wachstumsrate 23 %). NB-IoT- und LTE-M sollen bis zu 45 % der Verbindungen ausmachen.

Unterschied NB-IoT NB1/ NB2 und LTE-M M1 / M2

Die 3GPP Release 13 umfasste ca. 170 Funktionen und Studien. Ein Teil der Version hatte den Schwerpunkt auf der Definition einer neuen Kategorie Nutzergeräte (User Equipment, UE) mit geringer Komplexität. Ein Nutzergerät ist per Begriffsbestimmung jedes Gerät, das von einem Endnutzer direkt zur Kommunikation verwendet werden kann. Das kann zum Beispiel ein Mobiltelefon, ein Laptop oder ein beliebiges anderes Gerät sein. NB-IoT NB1 und LTE-M1 wurden mit Release 13 aus der Taufe gehoben. Die Beschreibung der Arbeitspunkte ist in RP-141865⁶ zu finden.

3GPP barrier	NB-IoT NB1	NB-IoT NB2	LTE-M1 (LTE-Cat-M1) full	LTE-M1 (LTE-Cat-M1) half	LTE-M2 (LTE-Cat-M2)
3GPP release	Release 13	Release 14	Release 13	Release 13	Release 14
Sprache	Nein	Push to talk	Vollduplex	TBS	Vollduplex
SMS	Üblicherweise nicht	Üblicherweise nicht	Ja	Ja	Ja
Bandbreite Empfangsgerät	180 kHz	180 kHz	1,4 MHz	1,4 MHz	5 MHz
Bandbreite pro Sub-Kanal	UL: 15 / 3,75 kHz DL: 15 kHz	UL: 15 / 3,75 kHz DL: 15 kHz	1.4 MHz	1.4 MHz	5 MHz
Anzahl der Sub-Kanäle	12 / 48	12 / 48	1	1	1
Übertragungsverfahren	Halbduplex	Halbduplex	Vollduplex	Halbduplex	Vollduplex
Leistungsträgerbilanz	164 dB	164 dB	156 dB	156 dB	156 dB
Latenz	Sekunden	Sekunden	Millisekunden	Millisekunden	Millisekunden
Mobilität	Bis zu 100 km/h, Nomadic mobility (reconnection)	Bis zu 100 km/h, Better mobility	Bis zu 300 km/h, hand over	Bis zu 300 km/h, hand over	TBS
Max uplink Datenrate	65 kbps	105 oder 159 kbps	890 kbps	375 kbps	7 Mbps
Max uplink TBS	1000 bits	2536 bits	1000 oder 2984 bits	1000 oder 2984 bits	6968 bits
Max downlink Datenrate	27 kbps	80 oder 127 kbps	1 Mbps	300 kbps	4 Mbps
Max downlink TBS	680 bits	2536 bits	1000 oder 2984 bits	1000 oder 2984 bits	4008 bits
Leistungsklasse	20, 23 dBm	14, 20, 23 dBm	20, 23 dBm	20, 23 dbm	20, 23 dbm
Positionierung	Cell-ID	OTDOA, E-CID	OTDOA, E-CID	OTDOA, E-CID	OTDOA, E-CID

Quelle für Datenrate und Transportblockgröße (TBS) ETSI TS 136 306 V14.5.0⁷

⁶ Vgl. Flore, Dino: Evolution of LTE in Release 13, in: 3GPP, 18.02.2015, <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1628-rel13> (abgerufen am 12.12.2021).

⁷ Vgl. European Telecommunications Standards Institute: ETSI TS 136 306 V15.8.0 (2020-04), in: ETSI, 04.2020, https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/15.08.00_60/ts_136306v150800p.pdf (abgerufen am 12.12.2021).

Geschwindigkeit der Datenübertragung:

Im Halbduplex-Verfahren werden Daten entweder nur im Uplink oder nur im Downlink gesendet, während im Vollduplex-Verfahren Daten im Uplink und Downlink gleichzeitig gesendet werden können. Somit ist im Vollduplex-Verfahren eine höhere Datenrate möglich. NB-IoT nutzt nur das Halbduplex-Verfahren, während bei LTE-M beide Verfahren zum Einsatz kommen.

NB-IoT NB1 und NB2 unterscheiden sich unter anderem in der Geschwindigkeit im Uplink und Downlink. Das Tempo im Uplink wurde durch zwei Maßnahmen erhöht. Die Größe der Transportblöcke (transport block sizes, TBS) wurde von 1000 Bit (125 Byte) auf 2536 Bit (317 Byte) erhöht. Das bedeutet, dass Nachrichten, welche größer als 125 Byte und kleiner 317 Byte sind, nicht mehr über mehrere Transportblöcke verteilt werden müssen. Das spart theoretisch ein paar uWs. Praktisch benötigen typische NB-IoT-Applikationen weniger als 125 Byte. Viel mehr uWs spart man ein, wenn man in eine gute Antenne mit optimalem Antennenabgleich investiert. Die 65 kbps bzw. 159 kbps erreicht man nur, wenn man statt Single-Tone den sogenannten Multi-Tone benutzt. Multi-Tone bedeutet, dass mehrere der 12 15kHz Kanäle gleichzeitig genutzt werden. LTE-M1 ist im Vergleich zu NB-IoT NB1/NB2 deutlich schneller. LTE-M2 ist bereits so schnell, dass Videoübertragung möglich wird. In Q1 2022 gibt es noch kein Chipset, welches M2 unterstützt und in den meisten Mobilfunknetzen ist für NB-IoT und LTE-M Release 13 aktiv.

Handover und bewegte Objekte:

NB-IoT kennt im Gegensatz zu LTE-M kein Handover, d.h. ein Wechsel zwischen Zellen bei laufender Verbindung. Eine Verbindung zu einer NB-IoT-Basisstation wird solange aufrechterhalten, bis diese abreißt. Ein Handover ist bei den meisten IoT Anwendungen nicht unbedingt notwendig, da diese sehr oft stationär verbaut sind. Selbst bei mobilen Geräten wie ein Tracking Gerät ist dies nicht notwendig. Wenn die Verbindung in der einen Zelle abgebrochen ist, meldet sich das NB-IoT Gerät in der neuen Zelle an und sendet die Daten weiter. Die Ortung von bewegten Objekten ist somit mit NB-IoT möglich.

Damit LTE-M größere Datenmengen übertragen werden können und auch Sprache möglich ist, ist hier ein Handover sinnvoll. Sprache würde sonst abreißen oder Daten müssten komplett neu gesendet werden, wenn die Übertragung in der ursprünglichen Zelle nicht abgeschlossen werden konnte.

Sprachverbindungen:

NB-IoT NB1 kennt keine Sprachverbindung und NB2 kennt Sprache per Halbduplex. Es ist somit eine Sprechverbindung mit Wechselsprechen möglich. Das wiederum setzt voraus, dass die Basisstation diese Funktion unterstützt und der Netzbetreiber diesen Dienst mit Release 14 einführt. LTE-M unterstützt prinzipiell Sprache, aber in vielen Netzen ist dies nicht aktiviert.

SMS, Positioning:

SMS und Positioning (Positionsbestimmung) ist mit NB-IoT und LTE-M möglich. Praktisch muss beides von den Netzbetreibern technisch unterstützt werden.

Latenz, Leistungsklasse:

Die Latenzzeit wird immer mit Sekunden bei NB-IoT und Millisekunden bei LTE-M genannt. Wenn man aber die Leistungsträgerbilanz (Linkbudget, LB) auf 154 dB für NB-IoT und LTE-M erhöht, dann wird man feststellen, dass bei beiden Funktechniken die Latenzzeit auf ähnliche Werte ansteigt. Dadurch, dass man NB-IoT theoretisch mit 164 dB Leistungsträgerbilanz betreiben kann, kommt man am Ende auf die immer wieder zitierten 10 Sekunden. Praktisch erreicht man die 164 dB im Feld nicht, weil der RSRP (bewertetes RSSI) laut der Studie „LPWAN Comparison - Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox“⁷ mindestens um +/- 5 dB springt. In der Release 13 ist die Leistungsklasse für NB-IoT und LTE-M 20 dBm und 23 dBm. In der Release 14 wurde für NB-IoT eine neue Leistungsklasse mit 14 dBm Sendeleistung eingeführt, welche es erlaubt Geräte mit kleineren Abmessungen und kleineren Batterien herzustellen. Hier ist es in 2022 so, dass es kein NB-IoT-Modul gibt, welches 14 dBm unterstützt.

Timer und Anmeldung mit langer Gültigkeit:

Bei NB-IoT und LTE-M wurden Timer eingeführt, die dafür sorgen, dass der Energieverbrauch sinkt. Beide Funktechniken müssen sich bei einer Basisstation nur einmal anmelden und die Anmeldung bleibt bis zu 2 Wochen gültig. Eine erneute Anmeldung benötigt deutlich weniger Energie als die erste initiale Anmeldung. So etwas gibt es bei GPRS und LTE nicht.

Wer in europäischen oder weltweiten Produkten denkt sollte sich bewusst sein, dass nicht immer alle der oben beschriebenen Funktionen in den Netzen der weltweiten Provider aktiv sind. Hier sollte man die Anwendung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner reduzieren.

Beide Funktechniken müssen eine Verbindung zum Kommunizieren aufbauen. Der Verbindungsaufbau benötigt laut der Studie „Low Energy Consumption“⁸ mehr Energie und Zeit als die Übertragung von 12 bis 512 Byte Nutzdaten.

Nur mit NB-IoT lässt sich bei 5G NR die Forderung der ITU (international Telecommunication Union) von 1.000.000 Teilnehmern pro Basisstation in einem Frequenzblock umsetzen. Diese große Menge Funkteilnehmer verteilt sich mit nur 15 kHz Bandbreite pro Kanal über das ganze Band. Hinzu kommt, dass nie alle Geräte gleichzeitig aktiv sind und die Basisstation sich die Teilnehmer ohne erneute Anmeldung merkt. Sollen größere Datenmengen übertragen werden, dann ist LTE-M besser, weil nach dem einmaligen Aufwand für den Verbindungsaufbau die Daten schneller übertragen werden können. Bei LTE-M1 sind für 1.000.000 Teilnehmer pro Basisstation deutlich mehr Ressourcen notwendig.

Ein NB-IoT-Modul kostet 2022, wie bereits erwähnt, bei mittleren Stückzahlen ca. fünf USD, ein NB-IoT/LTE-M Modul ca. zehn USD. Fünf US-Dollar Preisunterschied sind bei einem einfachen Sensor mit einem Zielpreis von zehn Dollar für alle Bauteile des Sensors ein großer Unterschied. Die gleiche Platine kostet mit einem Kombimodul (NB-IoT, LTE-M) fünf Dollar mehr. Oft ist in den Kombimodulen für NB-IoT und LTE-M das GNSS-Modul enthalten. Ein separates GNSS-Modul kostet bei mittleren Stückzahlen ca. 3 bis 4 Dollar. Wenn man den Preis des günstigen NB-IoT-Moduls mit dem des GNSS-Moduls addiert und damit 9 Dollar erreicht, dann sieht ein kombiniertes Modul gar nicht mehr so teuer aus. Ein weiterer Grund für ein Kombimodul kann die Einsparung von Bauraum auf der Platine sein.

Um die 1.000.000 Teilnehmer je Basisstation bei 5G zu ermöglichen, ist NB-IoT unumgänglich. Wenn ein extrem niedriger Preis für einen Sensor angestrebt wird, ist dies mit NB-IoT möglich. Nicht alle spezifizierten Merkmale bei NB-IoT und LTE-M werden in den Funknetzen umgesetzt. In Ländern in denen kein LTE-M vorhanden ist, ist Sprache per Wechselsprechen eventuell eine interessante Funktion. In Funknetzen mit LTE-M und parallelen NB-IoT ist das Wechselsprechen überflüssig. Die wichtigsten Funktionen zur Einsparung von Energie wie PSM (Power Safe Mode) und RAI (Release Assistant Indication) werden bereits in vielen NB-IoT-Netzen unterstützt. Mehr dazu im Abschnitt PSM und RAI.

Linkbudget

Das Linkbudget (dt. Leistungsträgerbilanz) ist die Summe aller Gewinne und Verluste bei der Übertragung einer Funkwelle. Eine Funkwelle wird durch die Antenne verstärkt oder gedämpft. Bei der Übertragung eines Signals zwischen Sender und Empfänger können Daten verloren gehen. Um die Zuverlässigkeit und Effizienz einer Funkverbindung zu berechnen, ist die Untersuchung von Verlusten und Gewinnen wichtig. Damit empfangen werden kann, muss das Delta der Ausgangsleistung abzüglich der Summe aller Verluste größer sein als die Empfindlichkeit des Empfängers. Bei bidirektionalen Funkverbindungen gelten die Verluste zwischen Sender und Empfänger in beide Richtungen. Sind Sendeleistung und Empfindlichkeit bekannt, müssen nur die Pfadverluste vom Delta abgezogen werden, um festzustellen, ob ein Empfang möglich ist. Einige der Verluste sind unter der Kontrolle des Entwicklers / der Entwicklerin der Hardware: Die Antenne und die Massefläche der Leiterplatte beeinflussen die von der Antenne abgestrahlte Leistung. Mehr als -0 dBd (Halbwellen-Dipol) oder die entsprechenden 2,15 dBi (isotrope Antenne) sind bei einer Monopolantenne oft nicht zu erwarten. Ein Teil der abgestrahlten Energie verschwindet als Pfadverlust im Gehäuse des Gerätes, der nächste in der Batterie oder im Display in der Nähe der Antenne. Oft gibt es ein Anpassungsnetzwerk zwischen dem Funkmodul und der Antenne. In der Zuleitung zur Antenne und im Anpassungsnetzwerk geht ebenfalls Energie verloren. Hinzu kommt der Verlust von Energie in der Antenne selbst.

⁸ Naumann, Harald/Wilhelm Oelers: Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox, in: akorIoT, 24.02.2021, <https://www.akoriot.com/white-papers/> (abgerufen am 12.12.2021).

Um alle Verluste zu erkennen, sollte das Antennenstrahlungsdiagramm in mindestens drei Achsen gemessen werden.

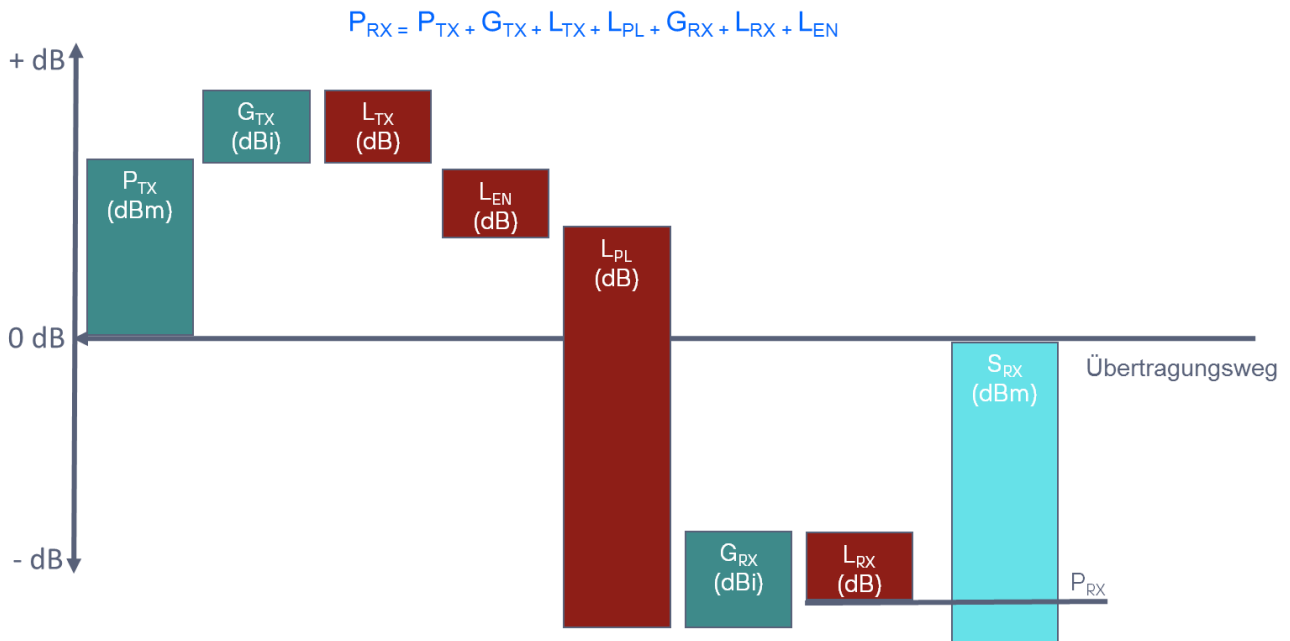
Zum besseren Verständnis der folgenden Grafik ein kleiner Exkurs zum Leistungspegel:

dB (Dezibel) ist die Einheit des Leistungspegels L_P , der das Verhältnis einer Leistung P_1 im Vergleich zu einer anderen Leistung P_2 beschreibt.⁹

$$L_P (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Negative Werte des L_P (z.B. -20 dB) bedeutet eine Abschwächung, ein L_P von 0 dB bedeutet eine 1:1 Übertragung und ein positiver Wert bedeutet eine Verstärkung.

- P_{RX} = Received power , empfangene Leistung
- P_{TX} = Transmitted power of the radio module, Gesendete Leistung des Moduls
- G_{TX} = Gain of the antenna of the IoT device, Antennengewinn des IoT Gerätes
- L_{TX} = Losses at coax connectors, cables / Verluste im koaxialen Stecker und Kabel
- L_{EN} = Losses at the environment, plastic enclosure / Verluste in der Umgebung , Plastikgehäuse
- L_{PL} = Path losses related to e.g. Hata propagation / Pfadverlust nach Hata-Propagation
- G_{RX} = Gain of the antenna at gateway / base station / Gewinn der Antenne des Gateways , Basistation
- L_{RX} = Losses in cables and connectors / Verluste im koaxialen Stecker und Kabel
- S_{RX} = Sensitivity of the radion module / Empfangsempfindlichkeit des Funkmoduls



Kalkulation des Linkbudgets, Quelle Harald Naumann, LPWAN Cookbook¹⁰

Der Strich, der die Empfangene Leistung P_{RX} markiert, liegt oberhalb vom unteren Rand der Empfangsempfindlichkeit S_{RX} . Somit liegt die empfangene Leistung innerhalb der Empfangsempfindlichkeit und ein Empfang ist möglich.

Die Energie, die in den freien Raum gelangt, wird über die Entfernung gedämpft. Die Freiraumdämpfung ist allerdings nur die halbe Wahrheit, denn die Beschaffenheit des Geländes dämpft ebenfalls

⁹ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungspegel>

¹⁰ Vgl. Naumann, Harald: LPWAN Cookbook, in: akorIoT, 01.2017, https://www.akoriot.com/iot_books/ (abgerufen am 12.12.2021).

die Funkwelle. Eine ebene Wasseroberfläche hat eine geringere Dämpfung als Ackerland. Wenn Büsche, Bäume und Gebäude hinzukommen, wird es schlechter. Die Topografie beeinflusst gleichermaßen den Pfadverlust. Am Ende der langen Reise trifft das Funksignal auf eine Gebäudewand. Eine Zementmauer dämpft eine Funkwelle bei 900 MHz um etwa 20 dB, eine weitere Wand im Gebäude schnell um zusätzliche 8 dB. Einbußen durch Schwund (eng. Fading) treten nur im Bereich nahe der Antenne auf und werden mit 8 dB kalkuliert. Es sollte somit mit einem Verlust von 28 dB plus Freiraumdämpfung gerechnet werden.

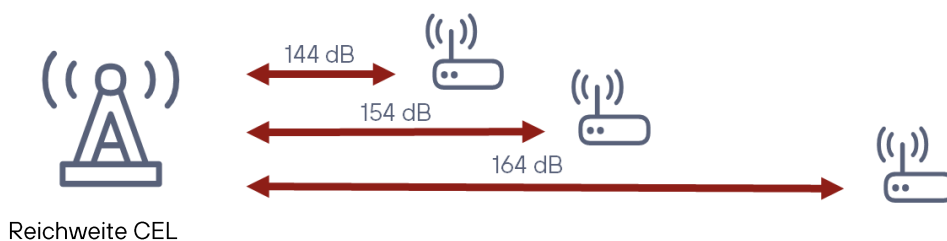
1968 untersuchte Dr. Yoshihisa Okumura¹¹ intensiv die Dämpfung von Funkwellen in Städten und entwickelte ein theoretisches Modell. Dieses Modell nach Okumura-Hata¹² läuft oft im Hintergrund von Simulationssoftware für Wellenausbreitung. Die Software passt die Dämpfung an die Topographie und die Beschaffenheit der Erdoberfläche an. In einfacher, kostenfreier Software werden alle Wälder mit einer einheitlichen Baumhöhe in die Berechnung einbezogen. Wenn eine genauere Annäherung gewünscht wird, kann man die Höhe der Bäume ändern. Gebäude und ihre Dämpfung werden ebenfalls mit allgemeinen Werten eingesetzt. Dasselbe gilt für Wasserflächen, bewirtschaftete Felder und Wiesen. Bei Bedarf kann sogar die Brechung der Funkwelle an der Spitze eines Berges oder Hügels einbezogen werden. Die Brechnungen an Dächern oder die Reflexionen an Wänden können mit einfacher Simulationssoftware nicht berechnet werden. Dazu nutzen Netzbetreiber komplexe Programme mit 3D-Modellen der Gebäude.

Beim klassischen LTE und GPRS war das maximale Linkbudget auf 144 dB beschränkt. LTE-M erreicht bereits 156 dB und NB-IoT 164 dB Linkbudget. Beide Technologien sind somit 12 bis 20 dB besser als LTE bzw. GPRS.

	Brutto Linkbudget (dB)	Netto Linkbudget = Brutto - (20 dB für die erste Wand und 8 dB Fading).	Hata-Propagation: Kalkulation mit Masthöhe 60 m, mobiles Gerät Höhe 1 m. Reichweite (m)
NB-IoT CELO	144 dB	116 dB	600 m
NB-IoT CEL1	154 dB	126 dB	1200 m
NB-IoT CEL2	164 dB	136 dB	2400 m

Tabelle: Berechnung Reichweite¹³

Die obige Tabelle wurde mit einem Tool auf Basis der Funkausbreitung nach Hata berechnet. Bei NB-IoT entspricht eine Veränderung von 10 dB der Änderung des Coverage Enhancement Level (CE Level, CEL) von CELO auf CEL1 bzw. von CEL1 auf CEL2. 10 dB mehr Linkbudget entspricht einer Verdopplung der möglichen Reichweite. CELO bei NB-IoT wurde mit 144 dB spezifiziert und entspricht dem maximalen Linkbudget von GPRS. CEL1 und CEL2 entsprechen 10 bzw. 20 dB mehr Linkbudget als 144 dB.



Diese bis zu 20 dB mehr werden durch ein wiederholtes (bis zu 2048fachem) Aussenden der gleichen Daten und Kombination der empfangenen Wiederholungen im Gerät erreicht. Die 15 kHz Bandbreite kann im Uplink auf 3,75 kHz umgeschaltet und damit die Empfindlichkeit an der Basisstation verbessert werden. Das NB-IoT Modul teilt der Basisstation mit, in welchem Coverage Level es sich befindet. Dadurch kann die Basisstation die Anzahl der Wiederholungen und somit die Robustheit des Signals an die Entfernung des Geräts anpassen. Auch bei LTE-M gibt es verschiedene Coverage

11 Vgl. Okumura, Yoshihisa: Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service, S. 825-873. 1968
 12 Vgl. Wikipedia contributors: Hata model, in: Wikipedia, 23.07.2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Hata_model (abgerufen am 12.12.2021).
 13 Vgl. Gütter, Dietbert: CANDY - Tools - Outdoor wave propagation models, in: <http://www.guetter-web.de/>, [online] <http://www.guetter-web.de/mini-tools/candy-prop-outdoor.htm> [03.02.2021].

Enhancement Level. Als Entwickler stellt man fest, dass die Latenz zunimmt und der Energieverbrauch steigt.

Vorteile des hohen Linkbudgets

Eine Außenwand eines Gebäudes wird bei 900 MHz mit 20 dB und eine Innenwand mit 8 dB Dämpfung kalkuliert. Das bedeutet, dass man mit LTE auf 800 MHz oder GPRS die äußere Wand durchdringt und im ersten Raum im Gebäude Empfang hat, aber in weiteren Räumen getrennt durch Innenwände eventuell nicht. Genau an dieser Stelle greift dann das höhere Linkbudget von NB-IoT und LTE-M. Gleiches gilt zum Beispiel für ein Ortungsgerät auf der Ladefläche eines Kleintransporters. Die Außenwand des Fahrzeugs dämpft die Funkwelle. Hinzu kommen Dämpfungen durch die gestapelten Kisten oder Pakete. Durch das bessere Linkbudget kann der Temperatursensor im Innenraum des Transporters mit NB-IoT und LTE-M mit höherer Wahrscheinlichkeit in die Cloud senden als mit den bekannten Funktechniken LTE und GPRS.

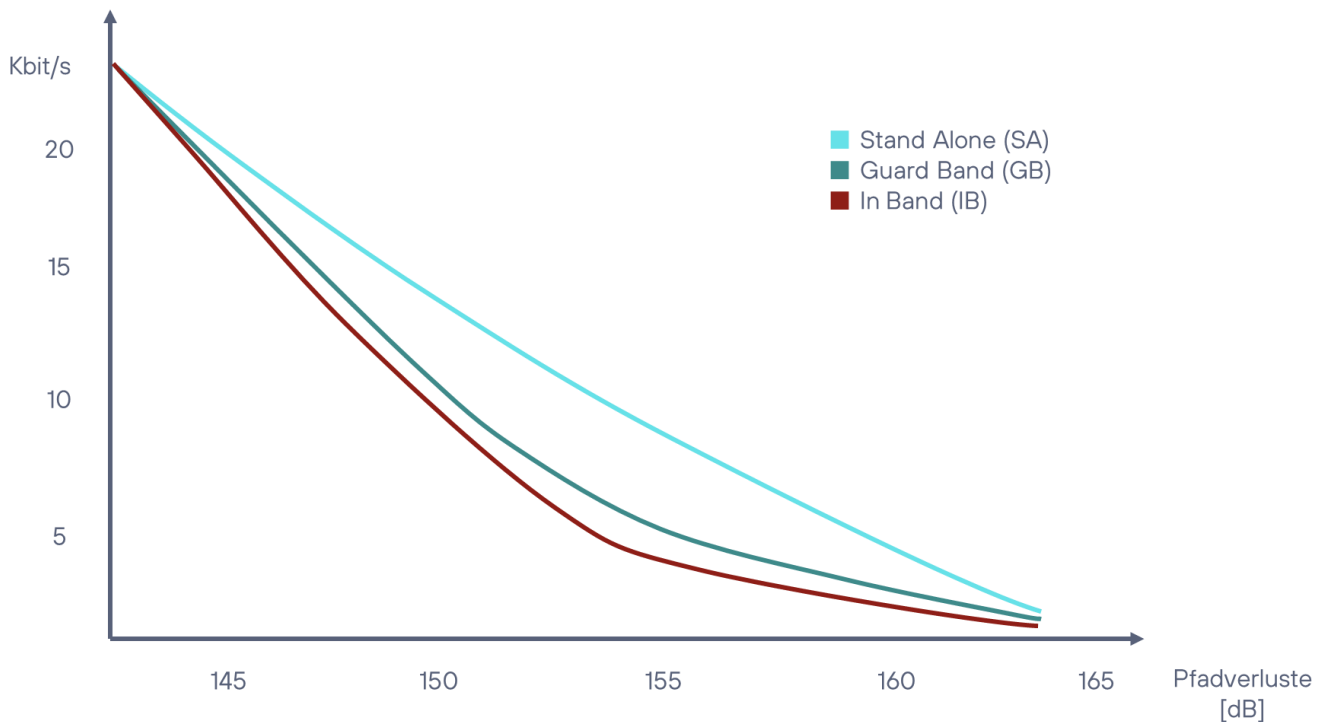
Die Funknetzplanung muss man bei der Nutzung von NB-IoT und LTE-M nicht selber machen. Wenn die Standorte und Höhe der Mobilfunkmasten bekannt sind, kann man sich per Simulation ausrechnen, wie gut der Empfang sein wird. Der einfachere und schnellere Weg ist die Anschaffung eines Messsystems zum Scannen der Signalstärke.

Antennengewinn, Übertragungsgeschwindigkeit und Laufzeit der Batterie

Die Geschwindigkeit und der Energieverbrauch für die Übertragung von zum Beispiel 12 bzw. 64 Byte Nutzdaten hängen stark vom Empfangspegel ab. Je schlechter der Empfang ist, desto langsamer werden die Daten übermittelt. Diesen Effekt kann man gut erkennen, wenn man mit einem Tablet einen Video-Stream im Garten empfängt. Ist der Abstand zum Wi-Fi-Router zu groß, dann reduziert der Streaming-Server die Auflösung, um die Anzahl der zu übertragenen Daten pro Zeit zu minimieren.

Bei allen zellularen Mobilfunksystemen wie zum Beispiel LTE, GPRS, LTE-M und NB-IoT haben wir den gleichen Effekt. In diesem Abschnitt betrachten wir nur NB-IoT, um diesen Effekt zu erklären. Die maximale Geschwindigkeit bei NB-IoT NB1 beträgt im Uplink 65 kbps und im Downlink 27 kbps. Diese absoluten Geschwindigkeiten gelten bei 144 dB Linkbudget oder besser. Wenn die Feldstärke beim Empfang deutlich höher als nötig ist, wird die Geschwindigkeit 65 kbps bzw. 27 kbps nicht übersteigen. Mit steigenden Verlusten durch Dämpfung auf der Funkstrecke wird die Geschwindigkeit absinken. Die Verluste und Gewinne auf der Funkstrecke werden addiert. Die Antennensysteme am Mast des Netzbetreibers haben durch die Sektorantennen einen Gewinn von 9 dB oder mehr. Dieser Antennengewinn ist in dem maximalen Linkbudget von 164 dB bereits enthalten. Auf der Seite des Endgerätes wird meistens mit 2,15 dBi Antennengewinn gerechnet. Wir differenzieren in diesem Text zwischen Antennengewinn und Systemgewinn. Der Antennengewinn im Datenblatt der Antenne ist nur ein theoretischer Wert, der auf der Evaluierungsplatine des Herstellers gilt. In einer solchen Testanordnung finden wir kein Gehäuse, Display oder Batterie, welche die abgestrahlte Leistung stören können. Hinzu kommen Verluste durch fehlerhaften Abgleich der Antennen oder ein schlechter Einbauort des IoT-Gerätes. In der Grafik betrachten wir den Pfadverlust bzw. das Linkbudget bei 151 und 154 dB. Wenn durch einen ungünstigen Aufbau des NB-IoT-Gerätes oder Gegenstände in der Nähe der Antenne der Systemgewinn um 3 dB reduziert wird, dann ändert sich die Geschwindigkeit von ca. 10 kbps auf 6 kbps. Die Geschwindigkeit halbiert sich fast. Wenn sich die Geschwindigkeit halbiert, dann verdoppelt sich die nötige Zeit zum Verbindungsaufbau und zur Datenübertragung. Eine Verdopplung der Zeit bedeutet aber eine Duplizierung des Energieverbrauchs. Wenn man den Verbrauch eines Gerätes, welches nur einmal am Tag sendet und einen Standby-Strom von wenigen Mikroampere hat, der Energieeinsparung durch eine bessere Antenne gegenübergestellt, dann stellt man fest, dass ein gutes Antennendesign eine gute Investition ist. Ein Objekt, welches sich ständig bewegt und mal mehr oder weniger guten Empfang hat, wird die Batterie mit ungleichen Strömen entleeren. Der Energieverbrauch mehrerer bewegter Objekte wird ähnlich sein. Wenn sich ein Objekt nicht bewegt und daher einen statischen Empfangspegel hat, wird man feststellen, dass einige Geräte eine längere Laufzeit haben als andere. Das gleiche Gerät wird am gleichen Standort bei angestrebten 5 Jahren von der Batterie mit 3 dB mehr Antennengewinn 10 Jahre arbeiten können. Mit

einer 3 dB schlechteren Antenne werden es eventuell nur 2,5 Jahre. In dieser vereinfachten Betrachtung gehen die Entladeströme der Batterie und die Standby-Ströme nicht mit ein. Aber die grobe Richtung stimmt. Die 2,5 Jahre, 5 Jahre oder 10 Jahre von der gleichen Batterie bestimmt der Entwickler des NB-IoT- oder LTE-M-Gerätes mit der Konstruktion und Anordnung seiner Antenne selbst.

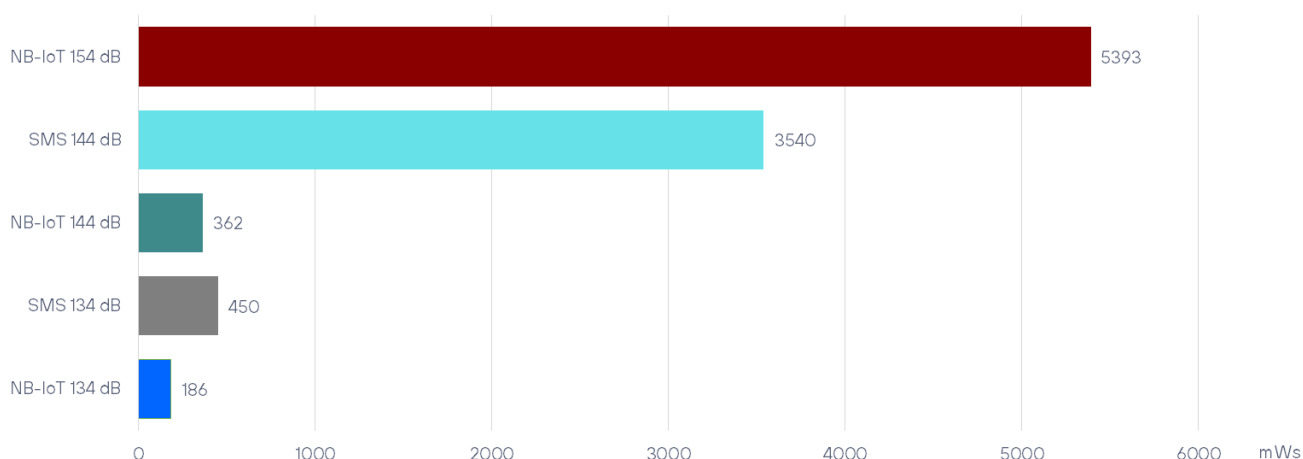


Übertragungsgeschwindigkeit im Downlink von NB-IoT bei 140 bis 164 dB Linkbudget. Quelle Studie „Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox“, Harald Naumann, Wilhelm Oelers¹⁴

Die Messreihen für 12 und 64 Bytes Nutzlast bei 134,144 und 154 dB Linkbudget unterstreichen noch einmal, dass ein besserer Empfang durch die Auswahl und Anordnung der Antenne den Energieverbrauch deutlich beeinträchtigen kann. Das Linkbudget ergibt sich aus der abgestrahlten Leistung an der Antenne zum Empfangspegel an der Antenne zuzüglich aller Gewinne und Verluste auf der Funkstrecke. Wenn die Dämpfung um 10 dB steigt und aus 144 dB zwangsweise 154 dB Linkbudget werden, dann erkennt man, dass aus 362 mWs auf einmal 5393 mWs werden. Der Energieverbrauch wird 14-mal höher. Wird erneut um 10 dB auf 164 dB gesenkt, steigt der Verbrauch auf ca. 50.000 mWs an. Wenn der Empfang um 10 dB besser wird, sinkt der Verbrauch auf 186 mWs ab. Wir finden dort leider keine Änderung um Faktor 14, weil oberhalb 144 dB nur noch die Regelung der Ausgangsleistung greift. Von 144 dB bis 164 dB wird die Empfindlichkeit durch Wiederholung der Datenpakete und Umschaltung der Bandbreite erhöht. Je häufiger übertragen wird, desto größer wird die Empfindlichkeit. Mit ansteigender Anzahl der Wiederholungen steigt nicht nur die Empfindlichkeit, sondern auch der Energieverbrauch.

¹⁴ Naumann, Harald/Wilhelm Oelers: Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox, in: akorIoT, 24.02.2021, <https://www.akoriot.com/white-papers/> (abgerufen am 12.12.2021).

12 Byte UL - 134 bis 154 dB Linkbudget



Energieverbrauchs gemessen mit 12 und 64 Byte Upload mit 134 bis 154 dB Linkbudget. Quelle Studie „Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox“, Harald Naumann, Wilhelm Oelers¹⁵

Eine weitere Erkenntnis der beiden Messreihen ist, dass die Übertragung von 64 Byte Nutzlast nicht viel mehr Energie benötigt als die 12 Byte. In der Studie ist dokumentiert, dass UDP/IP eingesetzt wurde. Dadurch kommen 28 Byte Overhead hinzu. Wenn man das Delta des Energieverbrauchs der Bruttodaten von 40 bis 72 Byte gegenüberstellt, erkennt man, dass die meiste Energie für den Verbindungsaufbau benötigt wird. Wenn statt einem sogenannten Reattach (erneute Verbindung) eine komplett neue Verbindung aufgebaut werden muss (Attach), ergibt das ca. eine Verdopplung der genannten Energieverbräuche der Studie. Eine weitere Erkenntnis ist, dass bei 144 dB Linkbudget eine SMS 3450 mWs benötigt. NB-IoT benötigt beim gleichen Linkbudget die gleichen 12 Byte nur 362 mWs. Selbst bei 154 dB Linkbudget ist der Energieverbrauch mit NB-IoT nur doppelt so hoch wie mit einer SMS bei 144 dB Linkbudget. Die Messreihen zeigen deutlich, dass NB-IoT weniger Energie verbraucht als eine SMS. Der Aufbau, die eingesetzten Messgeräte, die Gerberdateien und die Stücklisten wurden offengelegt. Jeder Interessierte kann es mit eigenen Messungen verifizieren.

Power-Safe-Mode (PSM) und Release Assistance Indication (RAI)

Viele Anwendungen lassen sich mit NB-IoT, LTE-M, GPRS und SMS umsetzen. Bei batteriebetriebenen Geräten ist ein wesentliches Entscheidungskriterium der Energieverbrauch des Systems. Hier spielt neben den möglichst geringen Pfadverlusten auch die Empfangstechnologie eine Rolle. Die neuen LPWAN-Technologien NB-IoT und LTE-M haben hier gegenüber GPRS, LTE und SMS diverse Vorteile.

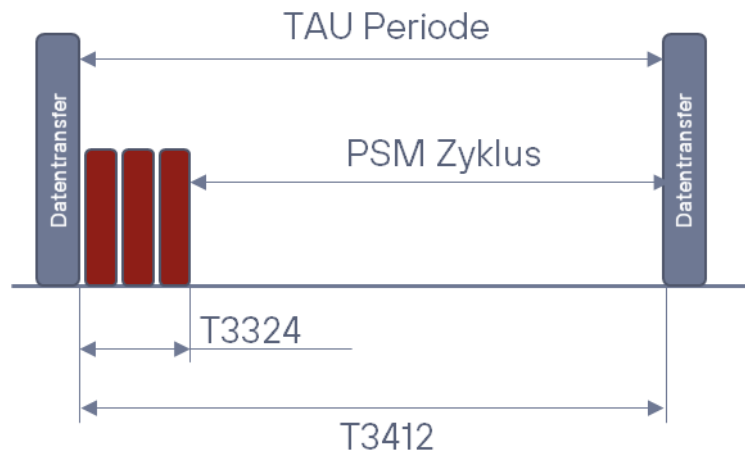
Damit Daten gesendet werden können, muss das Funkmodul eine Verbindung zur Basisstation aufbauen. Die Anmeldung an der Basisstation ist nur so lange gültig, bis das Modul sich abmeldet und ausgeschaltet wird. Sobald das LTE oder GPRS-Modul abgeschaltet wird, vergisst nach einer gewissen Zeit die Basisstation bzw. der Verwaltungsserver den Teilnehmer. Bei der nächsten Verbindung muss sich das LTE oder GPRS-Modul erneut registrieren. Wie sicherlich jeder bei seinem Handy schon beobachten konnte, kann das Anmelden an die Basisstation einige Zeit in Anspruch nehmen. Für eine möglichst lange Betriebszeit bei Batteriebetriebenen Geräten muss die aktive Zeit möglichst gering gehalten werden. Bei NB-IoT und LTE-M kann durch den Power-Safe-Mode in Kombination mit RAI diese aktive Zeit erheblich reduziert werden.

¹⁵ Naumann, Harald/Wilhelm Oelers: Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox, in: akorIoT, 24.02.2021, <https://www.akoriot.com/white-papers/> (abgerufen am 12.12.2021).

Power-Safe-Mode (PSM)

Beim Power-Safe-mode teilt das Funkmodul der Basisstation mit, dass man erneute Verbindungen innerhalb eines Zeitraums benötigt. Dieser Zeitraum kann von <1 Minute bis ca. 413 Tage sein. Das Funkmodul teilt der Basisstation mit, dass es zum Beispiel innerhalb 24 Stunden die nächste Meldung senden möchte. Die Basisstation quittiert dies. Danach geht das NB-IoT- bzw. LTE-M-Modul schlafen und schaltet sich nicht ganz aus. Die Basisstation und das Funkmodul merken sich die Daten für den Verbindungsaufbau für 24 Std. Der erneute Verbindungsaufbau geht einfacher und mit weniger Energieverbrauch vonstatten. Sollte vor Ablauf des Timers für 24 Std eine Alarmmeldung notwendig sein, ist das jederzeit möglich. Die Basisstation kennt das Funkmodul bereits. Dieser beschriebene Prozess wird Power-Safe-Mode (PSM) genannt und wird von NB-IoT und LTE-M unterstützt. Die meisten Funkmodule benötigen im Power-Safe-Mode lediglich ca. 3 uA.

PSM im Detail



TAU (Tracking Area Updating) Periode und PSM Zyklus

PSM wird vom Funkmodul aktiviert, indem zwei Timer-Werte für das Attach und Tracking Area Update (TAU) gesetzt werden. Der erste Timer-Wert (T3324) definiert die Zeit, die das Funkmodul nach dem Verlassen des Idle-Modus und in den Wechsel in Attach oder TAU aktiv bleiben soll. In dieser Zeit kann der Cloud-Server Daten an das Funkmodul senden und das Funkmodul diese empfangen. Der zweite Timer-Wert (T3412) definiert die Zeit für ein Funkmodul, um ein periodische TAU zu senden. T3412 bestimmt somit die Zeit, wie lange ein Modul im Idle-Mode verweilen kann und Strom sparen kann. Die Differenz zwischen diesen Timer-Werten ($T3412 - T3324$) wird als PSM-Zeit bezeichnet. Das Verfahren zur Anforderung von PSM ist einfach. Das Funkmodul fügt einen Timer-Wert mit dem gewünschten Wert in die Attach-Request-Nachricht mit TAU oder Routing Area Update ein. Gemäß 3GPP Release 13 für T3412 beträgt die maximale Zeit, die ein Gerät schlafen kann, ca. 413 Tage. Die maximale Zeit, in der ein Funkmodul erreichbar ist, beträgt maximal 186 Minuten (maximaler Wert des Timer T3324). Die gewünschten Werte für T3412 und T3324 teilt das Funkmodul der Basisstation mit. Die akzeptierten Werte für T3412 und T3324 können bei unterschiedlichen Netzbetreibern abweichen. Liegen die Werte außerhalb des akzeptierten können die angefragten Werte vom Netzwerk abgelehnt werden. Aus der Praxiserfahrung liegt ein realistischer Wert für T3412 bei maximal 10 Tagen. Das Funkmodul bekommt den Wunsch mit der Vorgabe der Basisstation beantwortet. Da die Vorgaben in unterschiedlichen Netzen anders sein können, wird die Lebenszeit von der Batterie ungleich sein. Der Software-Algorithmus eines Gerätes, welches sich europaweit oder weltweit bewegt, muss daher darauf angepasst werden.

Release Assistance Indication (RAI)

Bei LTE und GPRS wird über Transmission Control Protocol (TCP) oder User Datagram Protocol (UDP) eine Verbindung aufgebaut. Die Verbindungen sind oft bidirektional. Bei TCP ist der Verbindungsaufbau aufwendig und benötigt eine Rückmeldung vom Server, dass die Datenpakete den Server erreicht haben. Bei UDP ist die Quittung eines Paketes auf die nächste Protokollschicht verlagert. Ein Beispiel für die nächsthöhere Schicht ist zum Beispiel Constrained Application Protocol

(CoAP). CoAP ermöglicht es, ein Paket zu quittieren oder auf die Quittung zu verzichten. Der Füllstand eines Wertstoffbehälters ist ein gutes Beispiel für eine Meldung ohne Quittung. Der Status wird täglich ohne Quittung gemeldet. Wenn eine Meldung verloren geht, ist das nicht kritisch, weil 24 Stunden später die nächste Meldung gesendet wird. Ist der Füllstand kritisch, kann der Status mit Wunsch auf eine Quittung gesendet werden.

NB-IoT- und LTE-M-Module bieten ebenfalls TCP und UDP. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, direkt nach dem Senden der Meldung die Verbindung zu beenden. Es wird kein Empfangsfenster mehr geöffnet. Der Verzicht auf das unnötige Empfangsfenster wird Release Assistance Indication (RAI) genannt. RAI spart ca. 50 % der Energie, weil auf das Empfangsfenster verzichtet wird. Der Entwickler muss bei einer CoAP mit oder ohne Quittung per AT-Befehl RAI aktivieren. RAI und CoAP ohne Quittung sind eine perfekte Kombination zur Einsparung von Energie. Mit TCP und den nächsten höheren Protokollschichten wie HTTPS oder MQTT ist RAI nicht möglich, weil Protokolle auf Basis TCP immer eine Quittung benötigen. Die Benutzung von PSM in Kombination mit RAI und CoAP ohne Quittung auf Basis UDP spart im Vergleich zu MQTT auf Basis GPRS und LTE extrem viel Energie.

Autoren

Harald Naumann

Harald Naumann ist ein anerkannter IoT /M2M-Experte mit primären Interesse an der Implementierung von Funk-Anwendungen. Sein Fokus sind integrierte Antennen im drahtlosen IoT. Er verfügt über mehr als 30 Jahre Berufserfahrung.

Naumann startete seine berufliche Laufbahn als Funkelektroniker im Sonderprüffeld für Funkgeräte bei Ascom/Pfitzer. Er war als Leiter des Kundendienstes für Mobilfunktelefone bei Motorola und als Vertriebsleiter für GSM-Module bei Falcom. Später war Projektleiter und/oder Mitglied in verschiedenen Projektteams für Funkanwendungen in der Telemedizin, GSM-Ortung ohne GPS oder GPS-basierte Ortungsgeräte – was heute unter den Begriffen »M2M« oder »IoT« bekannt. Heute ist er einer der Ideengeber bei den Experten für Antennen von akorIoT www.akoriot.com.

Naumann schreibt Fachaufsätze in verschiedenen Magazinen, veröffentlicht Studien rund um drahtloses IoT, betreibt seit 2009 einen Blog zu den Themen IoT und M2M und hat 2014 das »IoT M2M Cookbook - How to develop a device on wireless modules« geschrieben. In 2021 wurden zwei Studien zu LPWAN und eine weitere mit dem Titel "Low cost do it yourself PCB antennas for wireless IoT" veröffentlicht.

Markus Hetzer

Markus Hetzer ist seit Mai 2017 als Sales- und Produktmanager bei Telefónica Germany GmbH & Co. OHG im Sales & Competence Center IoT tätig.

Neben der Expertise von M2M-Kommunikation sowie IoT- und Industry 4.0 Anwendungen besitzt er eine langjährige Berufserfahrung im Energiebereich mit dem Schwerpunkt Energiemanagement und Smart Metering.

Nach einer Ausbildung als Energieelektroniker studierte er Elektrotechnik und Informationstechnik an der Hochschule in München. Ab 2008 war er als Systemingenieur an der Produktentwicklung von Soft- und Hardwaresystemen beteiligt. 2011 wechselte er in den Vertrieb von Dienstleistungen und Baugruppen für Funk-Rundsteuersysteme sowie Smart Meter und Smart Grid- Komponenten, und in das Produktmanagement für Dienstleistungen und Produkte mit M2M Mobilfunkkommunikation.

Karsten Heynhold

Karsten Heynhold arbeitet seit 25 Jahren im Bereich Telekommunikation. Er begann seine berufliche Laufbahn bei Bosch Telecom im Bereich DECT und später in der Simulation der Luftschnittstelle von UMTS während der 3GPP Release 99 noch standardisiert wurde. Aus der Arbeit heraus entstanden Patente für UMTS.

Seit 2000 arbeitete er als Systemingenieur bei E-Plus und später bei Telefónica. Zu seiner E-Plus Zeit führte er als Projektleiter oder Teammitglied Software und Hardware für Basisstationen von Ericsson, und später Nokia, für UMTS, HSDPA und LTE ein.

Bei der Konsolidierung der Netze von E-Plus und Telefónica/o2 war er maßgeblich am Design beteiligt, z.B. durch die Spezifikation von National Roaming. Mit der Übernahme von Telefónica wechselte Heynhold dann in den Bereich der zentralen Optimierung und kümmert sich seitdem als Designer und Projektleiter um die Einführung von bereichsübergreifenden Technologien und Features, wie z.B. NB-IoT und LTE-M oder verschiedene 5G Funktionalitäten. In 2021 koordinierte er zudem als Programm-Leiter über alle Bereiche des Unternehmens hinweg die Abschaltung des UMTS Netzes.

Kontakt

Sales & Competence Center IoT

E-Mail: cc.iot@telefonica.com

www.iot.telefonica.de

Herausgeber

Telefónica Deutschland GmbH & Co. OHG
Georg-Brauchle-Ring 50
D-80992 München

Redaktionelle Verantwortlichkeit i. S. v. § 18 Abs. 2 Medien-Staatsvertrag (MStV)

Markus Hetzer, Georg-Brauchle-Ring 50,
D-80992 München