



INDUSTRIAL
RADIO LAB
Germany

#IRLG_erklärt

Low Power Wide Area Networks (LPWANs)

Nov
2021

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

1. Low Power Wide Area Networks – Worum geht es überhaupt?

Die Bezeichnung Low Power Wide Area Network (LPWAN) beschreibt die zentralen Eigenschaften der Kommunikationstechnologien, die dieser Gruppe zugeordnet werden: Sie haben einen geringen Energiebedarf (Low Power) und decken gleichzeitig eine große Fläche (Wide Area) ab. Durch ihre Reichweite grenzen sie sich von lokalen Netzwerken (Local Area Networks, LAN, z.B. WiFi basierend auf IEEE 802.11) und persönlichen Netzwerken (Personal Area Networks, PAN, z.B. Bluetooth basierend auf IEEE 802.15.1 und ZigBee basierend auf IEEE 802.15.4) ab. In einem LPWAN kommunizieren die Endgeräte über eine direkte Funkstrecke mit dem zentralen Netz.

LPWAN-Technologien bieten eine geringe bis mittlere Datenrate (engl.: Low-Rate und Mid-Rate). Typischerweise ist die Datenrate der Kommunikation vom zentralen Netz zum Endgerät (Downlink) geringer als die der Kommunikation vom Endgerät zum zentralen Netz (Uplink). LPWANs werden zum Teil in lizenzfreien Funkspektren eingesetzt, deren gleichzeitige Nutzung durch verschiedene Funktechnologien besonderen Regularien¹ unterliegt. Aus diesem Grund ist die Häufigkeit, mit der das Kommunikationsnetz genutzt werden darf, begrenzt. Dadurch ist das Zeitintervall zwischen zwei Datenübertragungen im Bereich von Sekunden, Minuten oder sogar Stunden.

Aufgrund dieser Eigenschaften – geringer Energiebedarf, hohe Reichweite, niedrige Datenrate – eignen sie sich insbesondere zur Vernetzung von verteilten Sensoren und Aktoren, deren Anbindung über kabelgebundene Netze zu kostenintensiv oder aufgrund von Mobilität nicht möglich ist.

Anwendungsfelder finden sich in der Zustandsüberwachung (engl.: Condition Monitoring), der Verfolgung von Gütern oder Vermögensgegenständen (engl.: Asset Tracking), der Zählerstandsüberwachung (engl.: Smart Metering), der Land- und Bauwirtschaft sowie der Fahrzeugtelematik.

2. Womit befasst sich dieses Merkblatt?

Obwohl Low Power Wide Area Networks (LPWANs) seit über 10 Jahren diskutiert und etabliert werden, haben sie sich in vielen für sie geeigneten Anwendungen noch nicht durchgesetzt. Um diese Hürde zu überwinden, müssen aus Sicht des Industrial Radio Lab Germany (IRLG) folgende Fragen geklärt werden:

- Anhand welcher Kriterien können die unterschiedlichen Technologien verglichen werden? Wie vergleichbar sind sie überhaupt?
- Welche Unterschiede gibt es zwischen lizenziertem und lizenzfreiem Spektrum?
- Wann wird eigene und wann fremde Infrastruktur (z.B. Basisstationen, Server) verwendet?
- Welche Kosten sind zu erwarten?
- Wie sicher sind die Daten?




Mit Adressierung obiger Fragen gibt das IRLG in diesem Merkblatt einen Überblick über kommerziell verfügbare LPWAN-Technologien und deren Eigenschaften.

¹https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2003_76_ISM_pdf.pdf

3. Welche LPWAN-Technologien gibt es?

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der in diesem Merkblatt beschriebenen Technologien. Geräte aller Technologien sind aktuell kommerziell verfügbar. LoRa und Sigfox sind spezifiziert, während die anderen Technologien in Standards überführt wurden.

Tabelle 1: Übersicht der in diesem Merkblatt beschriebenen LPWAN-Technologien.

	Nicht standardisiert	Standardisiert
Proprietär		
Offen		

Die unterschiedlichen Technologien haben folgende Gemeinsamkeiten:

Verwendetes Frequenzband: Alle Technologien arbeiten im Sub-1 GHz-Bereich. Das bedeutet, dass ihre Trägerfrequenz kleiner ist als die von beispielsweise WLAN im 2,4 GHz Band. Dadurch werden Eigenschaften wie höhere Reichweite und gute Gebäudedurchdringung begünstigt.

Methoden zum Energie sparen: Ein Endgerät verbringt die meiste Zeit in einem Energiesparmodus (engl. "Sleep mode"), in dem es weder Daten sendet noch empfängt. Es wechselt nur zum Senden in den aktiven Zustand. Diese Auslegung auf Uplink-Kommunikation bedeutet gleichzeitig, dass besonders energiesparende LPWAN-Endgeräte im Downlink nur nachfolgend auf eine Uplink-Übertragung erreicht werden können, da sie im Energiesparmodus nicht empfangsbereit sind.

Logische und physikalische Topologie des Funksystems – Abbildung 1: Das Funksystem jeder Technologie umfasst die Endgeräte und zentrale Einheiten, mit denen die Endgeräte drahtlos kommunizieren. Diese Struktur wird als Sterntopologie bezeichnet. Je nach Technologie erfolgt die Weiterleitung und –verarbeitung der Daten zwischen zentralem Netz, in dem sich beispielsweise ein Server zur Datenzusammenführung befindet, und zentraler Einheit in der Mitte des Sterns unterschiedlich. Ob das gesamte Netz von Endgerät bis Auswertung oder einzelne Abschnitte in Eigenverantwortung betrieben werden oder ob dazu eine Dienstleistung in Anspruch genommen wird, kann individuell entschieden werden. Welche Technologie welche Optionen bietet, wird nachfolgend je Technologie beschrieben.

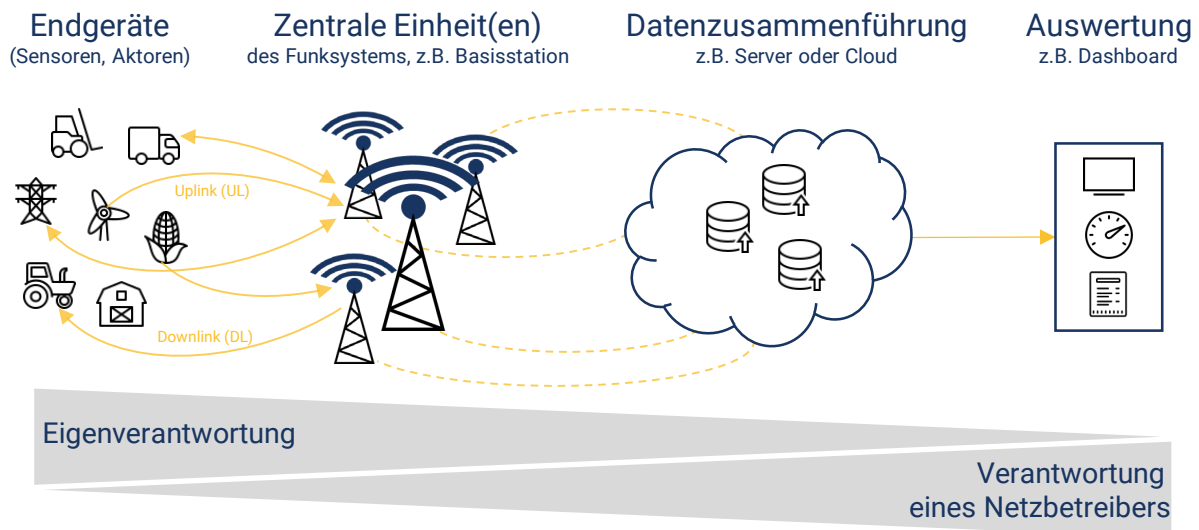


Abbildung 1: Komponenten einer LPWAN-Technologie (verallgemeinerte Darstellung) [1].

Anhand des verwendeten Frequenzbands im Sub-1 GHz-Bereich lassen sich die LPWAN-Technologien in zwei Kategorien einteilen: Die Technologien, die lizenzierte Bänder eines Mobilfunknetzbetreibers benutzen, und die Technologien, die in lizenzfreien ISM²-Bändern arbeiten.

Im lizenzierten Spektrum

LTE-M – steht für Long Term Evolution for Machines und gehört mit einer Datenrate von bis zu 4 Mbit/s zu den Mid-Rate Technologien. Als Teil des Mobilfunkstandards LTE wird LTE-M von der [3GPP](https://www.3gpp.org/)³ spezifiziert. Deutsche Mobilfunknetzbetreiber haben LTE-M bereits eingeführt und bieten entsprechende Dienstleistungen an. Es wird auf das lizenzierte Spektrum der Netzbetreiber zurückgegriffen, deren Infrastruktur genutzt wird. Bidirektionale Kommunikation ist möglich.

NB-IoT – steht für Narrowband-Internet of Things und ist eine Low-Rate Technologie, die eine Datenrate von bis zu 50 kbit/s bietet. Sie gehört ebenso wie LTE-M zum LTE-Mobilfunkstandard, welcher von der [3GPP](https://www.3gpp.org/) spezifiziert wird. Entsprechend gelten dieselben Rahmenbedingungen wie bei LTE-M: Dienstleistungen werden von verschiedenen Mobilfunknetzbetreibern angeboten, deren lizenziertes Spektrum und Infrastruktur genutzt wird. Bidirektionale Kommunikation ist möglich.

Im lizenzfreien Spektrum

LoRaWAN – ist die Abkürzung für "Long Range Wide Area Network" und gehört zu den Low-Rate Technologien. Die technische Spezifikation von LoRaWAN wird von der [LoRa Alliance](https://lora-alliance.org)⁴ durchgeführt und baut auf der LoRa Modulation auf, welche von Semtech patentiert ist. LoRaWAN definiert drei Geräteklassen (Klasse A, B und C), die sich hinsichtlich ihres Energiebedarfs unterscheiden. Geräte der Klasse A verlassen den Energiesparmodus nur zum Senden und sind anschließend optional für Downlinkübertragungen erreichbar. Geräte der Klasse B verlassen regelmäßig den Energiesparmodus

² ISM-Bänder sind für lizenzfreie Nutzung in Industrie, Wissenschaft, Medizin sowie in professionellen und privaten Umgebungen freigehalten (ISM: Industrial, Scientific and Medical Band).

³ <https://www.3gpp.org/>

⁴ <https://lora-alliance.org>

und sind für einen kurzen Zeitraum im Downlink ohne vorangegangene Uplinkübertragung erreichbar. Geräte der Klasse C sind ständig erreichbar und haben entsprechend den höchsten Energiebedarf. In Deutschland gibt es kommerzielle sowie gemeinschaftliche Betreiber von öffentlichem LoRaWAN, deren Netze zu unterschiedlichen Bedingungen mitgenutzt werden können. Die LoRa Alliance bietet auf ihrer [Webseite](#) eine Übersicht der Betreiber. Zudem kann jeder Interessierte ein nicht-öffentliches Netz betreiben, da ein lizenzfreies Spektrum verwendet wird und alle nötigen Komponenten kommerziell verfügbar sind. Hierfür muss der Betreiber neben den Funkkomponenten weitere Infrastruktur wie Server beschaffen.

mioty – entsteht aus der Verschränkung der Worte "My" und "IoT" und gehört zu den Low-Rate Technologien. Die grundlegende Innovation des Telegram Splitting Multiple Access (TSMA) wurde in [ETSI TS 103 357](#)⁵ spezifiziert und besagt, dass eine Nachricht in mehrere kurze Elemente zerlegt wird, die einzeln auf unterschiedlichen Frequenzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten verschickt werden. Die Kommunikation kann uni- oder bidirektional sein. Eine Downlinkübertragung wird durch eine vorangegangene vom Endgerät initiierte Uplinkübertragung ausgelöst. Einen öffentlichen Netzbetreiber gibt es nicht; Interessierte bauen ihr eigenes mioty-Netz auf. Einen Überblick über kommerziell verfügbare Komponenten bietet die [mioty alliance](#)⁶.

Sigfox – [Sigfox](#)⁷ gehört zu den Low-Rate Technologien und ist eine proprietäre Lösung. In Deutschland gibt es sowohl die Möglichkeit, das öffentlich betriebene Netz zu nutzen, als auch ein eigenes nicht-öffentliches Netz aufzubauen. Sigfox gibt an, dass es durch die besonders kleine genutzte Kanalbandbreite von 100 Hz kaum zu Paketkollisionen kommt. Begünstigt wird dies durch eine besonders starke Restriktion der erlaubten Nutzdatenlänge. Bei bidirektionaler Kommunikation folgt eine Downlinkübertragung auf eine Uplinkübertragung.

Weightless – Weightless ist ein offener Standard, welcher von der [Weightless Alliance](#)⁸ spezifiziert wird. Einen öffentlichen Netzbetreiber gibt es nicht; Interessierte bauen ihr eigenes Weightless-Netz auf. Sowohl die unidirektionale Variante, Weightless-N, die lediglich den Uplink unterstützt, als auch die bidirektionale Variante, Weightless-P, nutzen lizenzfreies Spektrum.

4. Welche Eigenschaften haben die verschiedenen LPWAN-Technologien?

Im vorherigen Abschnitt wurden die Eigenschaften qualitativ beschrieben. In diesem Abschnitt wird die quantitative Beschreibung in den Fokus genommen. Um die quantitativ angegebenen Eigenschaften einordnen zu können ist es hilfreich, sich Abhängigkeiten bewusst zu machen. Dazu dient die **Abbildung 2**. Je nach Anforderungen der Applikation verortet sich die Kommunikationslösung innerhalb des Dreiecks.

⁵ https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103357/01.01.01_60/ts_103357v010101p.pdf

⁶ <https://mioty-alliance.com/>

⁷ <https://sigfox.de/>

⁸ <https://www.weightless-alliance.org/>

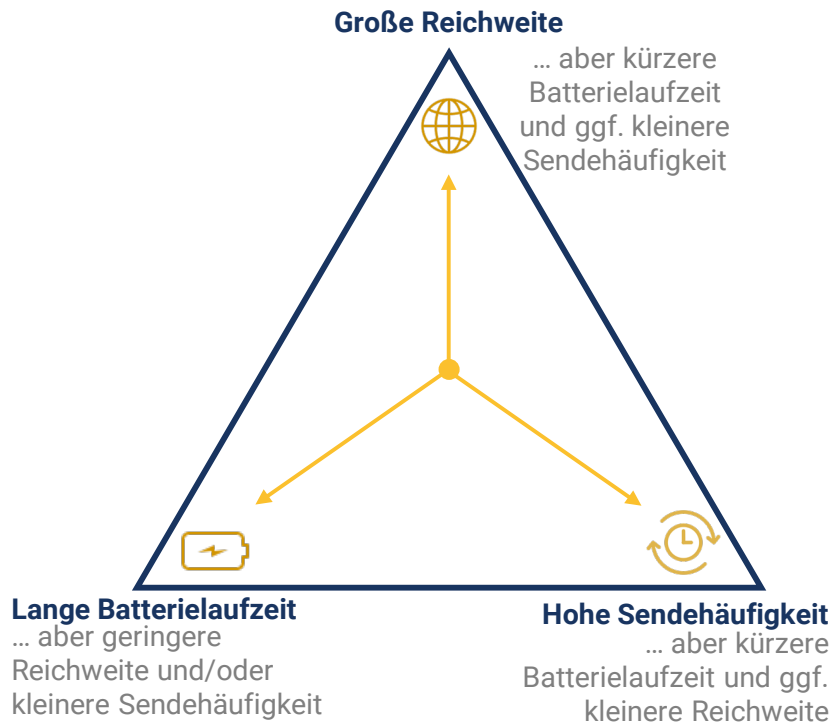


Abbildung 2: Abhängigkeit der Eigenschaften bei der Auslegung eines LPWANs.

Eine große Distanz benötigt eine höhere Sendeleistung, wodurch sich die Batterielaufzeit gegenüber einer kleineren Distanz verkürzt. In diesem Szenario könnte die Sendehäufigkeit oder Nutzdatenmenge reduziert werden, was sich verlängernd auf die Batterielaufzeit auswirkt. Analog kann die Batterielaufzeit maximiert werden, wenn Sendehäufigkeit und Reichweite minimiert werden.

In **Tabelle 2** sind Eigenschaften der LPWAN-Technologien aufgeführt. Zu Anfang stehen allgemeine Eigenschaften, zum Ende finden sich technische Details. Entsprechend der zuvor diskutierten Abhängigkeit zwischen Batterielaufzeit, Sendehäufigkeit und Reichweite sind die quantitativen Angaben als Maximalwerte zu verstehen und können in einem realen Netz vorrausichtlich nicht gleichzeitig erreicht werden. Unser [Online-Rechner](https://industrial-radio-lab.eu/lpwan-rechner/)⁹ bietet eine Schätzung der Batterielaufzeit in Abhängigkeit von Sendehäufigkeit und Paketgröße bei unterschiedlichen Übertragungsbedingungen.

⁹ <https://industrial-radio-lab.eu/lpwan-rechner/>

Tabelle 2: Eigenschaften von LPWAN-Technologien (vgl. [1]).

Parameter	NB-IoT ¹⁰	LTE-M ¹¹	LoRaWAN	mioty	Sigfox	Weightless
Organisation	3GPP	3GPP	LoRa Alliance	mioty Alliance	Sigfox	Weightless Alliance
Technologie	LTE	LTE	Proprietär	Proprietär	Proprietär	Offen
Frequenzband	LTE-Bänder (lizensiert)	LTE-Bänder (lizensiert)	Sub-1 GHz-ISM- Band ¹²	Sub-1 GHz-ISM- Band	Sub-1 GHz-ISM- Band	Sub-1 GHz-ISM- Band
Datenrate	127 kbit/s (DL) 159 kbit/s (UL)	ca. 4 Mbit/s (DL) ca. 7 Mbit/s (UL)	0,3 kbit/s bis 50 kbit/s [2] ¹³	0,407 kbit/s	6 Nachrichten à 12 Byte pro Stunde	0,625 kbit/s bis 100 kbit/s [3]
Paketlänge	Abhängig vom Anbieter oder Endgerät	Abhängig vom Anbieter oder Endgerät	max. 64, 128 oder 235 Byte ¹⁴	10 bis 250 Byte	8 Byte (DL) 0 bis 12 Byte (UL)	max. 255 Byte [3]
Verschlüsselung	LTE-inhärent	LTE-inhärent	AES-128 [4]	AES-128	Ohne ¹⁵	AES-128/256
Authentifizierung	LTE-inhärent	LTE-inhärent	Vorhanden	CMAC (cypher- based message authentication code)	Vorhanden	Vorhanden
Verantwortlichkeit für Infrastrukturgeräte ¹⁶	Netzbetreiber	Netzbetreiber	Netzbetreiber oder in Eigen- verantwortung	In Eigen- verantwortung	Netzbetreiber oder in Eigen- verantwortung	In Eigen- verantwortung

¹⁰ Release 14, LTE CAT NB2

¹¹ Release 14, LTE CAT M2

¹² 868 MHz in Europa, 915 MHz in den USA, 433 MHz in Asien

¹³ LoRaWAN beschränkt die maximale Sendedauer pro Zeitintervall. Daraus ergibt sich die Datenrate abhängig vom gewählten Spreizfaktor (Spreading factor, SF). Je kleiner der Spreizfaktor, desto kürzer die Sendedauer bzw. desto größer die maximale Paketlänge.

¹⁴ Abhängig vom gewählten Spreizfaktor

¹⁵ Ende-zu-Ende-Verschlüsselung durch Anwender möglich ([Quelle: AVNet.com](http://www.avnet.com))

¹⁶ Werden Infrastrukturgeräte wie die zentrale Einheit im Funksystem und Geräte im zentralen Netz, z.B. Server, in Eigenverantwortung betrieben, müssen Einmalkosten für deren Anschaffung und laufende Kosten für Wartung kalkuliert werden. Ist ein Netzbetreiber verantwortlich, so fallen laufende Kosten für die Inanspruchnahme dessen Dienstleistungen an.

Reichweite ¹⁷	Urban: 1 km Rural: 10 km [4, 5]	< 15 km	Urban: 5 km Rural: 20 km [4]	Urban: 5 km Rural: 15 km	Urban: 10 km Rural: 40 km [4]	Urban: 3 km Rural: 5 km [6]
Modulation	GMSK, QPSK	GMSK	Chirp spread spectrum (CSS)	TS-UNB mit (G)MSK	Downlink: GFSK Uplink: DBPSK	GMSK BT=0,3, OQPSK
Kanalbandbreite	180 kHz	5 MHz	125, 250 oder 500 kHz	100 bis 1500 kHz	100 Hz	unidirektional ggf. 100 Hz; sonst 12,5 kHz
Sendezeitbegrenzung (engl.: Duty Cycle)	Keine	Keine	Vorhanden ¹⁸	Vorhanden ¹⁸	Vorhanden ¹⁸	Vorhanden ¹⁸

¹⁷ Die Reichweite hängt von der Umgebung ab. Die hier genannten Werte stützen sich auf wissenschaftliche Publikationen oder Herstellerangaben. Werte aus Messkampagnen können abweichen. Mit steigender Distanz steigt die Paketfehlerrate.

¹⁸ Je nach genutztem Frequenzband ist der Duty Cycle auf 0,1 %, 1 % oder 10 % begrenzt (s. [ETSI EN 300 220-2 V3.2.1; Tabelle B.1](#)).

5. Wie wähle ich die passendste Technologie aus?

Üblicherweise werden Anforderungsprofil der Applikation und Leistungsprofil der Technologie verglichen, um die Eignung einer Funktechnologie für eine Applikation einzuschätzen. Das Leistungsprofil verschiedener LPWAN-Technologien wurde im vorangegangenen Abschnitt beschrieben (siehe Tabelle). In diesem Abschnitt wird nun das Anforderungsprofil adressiert.

Übersicht: Was ist ein Anforderungsprofil einer Applikation?

Das Anforderungsprofil nennt qualitativ, und wo nötig auch quantitativ, die für die Auswahl einer Funktechnologie relevanten Parameter. Beispiele sind Größe der Datenpakete, Abstand der Kommunikationsteilnehmer oder Beschaffenheit der Umgebung.

Wie erstelle ich ein Anforderungsprofil?

Grundsätzlich gilt: Je exakter das Anwendungsprofil, desto besser kann eine geeignete Funktechnologie über ihr Leistungsprofil ermittelt werden. Gleichzeitig bedeutet eine exakte Erstellung einen erheblichen Aufwand. Entsprechend gilt es, den Mittelweg zwischen Aufwand und Detailgrad zu finden. Bei einigen Parametern ist es gar nicht so entscheidend, dass Anforderungen exakt quantifiziert werden. Es kommt eher darauf an, die Größenordnung korrekt einzuschätzen.

Die Erstellung eines Anforderungsprofils kann ein iterativer Prozess sein, bei dem zunächst je Parameter eine Schätzung eingetragen wird, die später durch einen genaueren Wert ersetzt werden kann. Wichtig ist, dass jeder relevante Parameter bedacht wird. Die nachfolgenden Fragen geben einen Eindruck, welche Parameter in Bezug auf die Auswahl einer LPWAN-Technologie relevant sind.

- Wie sieht die Umgebung der Funkstrecke aus?
- Welche Distanz muss etwa überbrückt werden?
- Wie groß ist die Nutzdatenlänge?
- Wann oder wie häufig werden Nutzdaten verschickt?
- Wie mobil sind die Kommunikationsteilnehmer?

Abbildung 3 zeigt qualitativ wie die quantitativ beschreibbaren Parameter von Anforderungs- und Leistungsprofil in einem Spinnennetzdiagramm visuell leicht abgeglichen werden können. Im dargestellten Beispiel umschließt das Leistungsprofil von Technologie A das Anforderungsprofil vollständig, während das Leistungsprofil von Technologie B eine zu kleine Reichweite sichtbar macht.

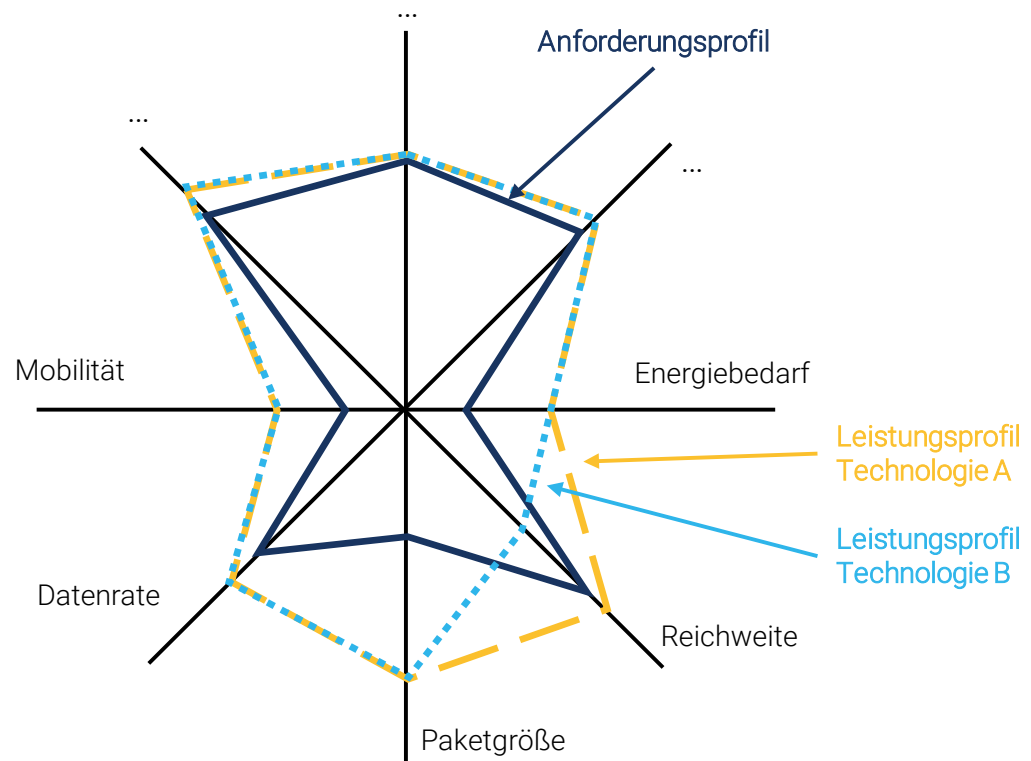


Abbildung 3: Spinnennetzdiagramm zum einfachen visuellen Abgleich der quantitativen Parameter.

Neben den quantitativ erfassbaren Anforderungen gibt es ebenfalls zu benennende Anforderungen, beispielsweise bezogen auf folgende Fragen.

- Passt das Security-Konzept zu meinen Rahmenbedingungen?
- Muss, kann oder will ich eigene Infrastruktur betreiben?
- Kann ich auf bestehende Infrastruktur zurückgreifen?
- Falls meine Anwendung skaliert: Wie skalierbar ist die Technologie?

Im in **Abbildung 3** gezeigten Beispiel erfüllt Technologie A offenbar die quantitativen Anforderungen. Dennoch kann eine ganzheitliche Betrachtung, die die qualitativ erfassbaren Anforderungen einbezieht, dazu führen, dass sie als ungeeignet eingeordnet wird. Soll zum Beispiel eine eigene Infrastruktur aufgebaut werden, was mit Technologie A nicht, dafür mit Technologie B möglich ist, sollte das Anforderungsprofil überprüft werden. Möglicherweise war die Schätzung der Reichweite für die Anwendung großzügig und kann gesenkt werden. Bleibt es bei der geforderten Reichweite, kann wiederum auf Technologieseite geprüft werden, ob diese Anforderung beispielsweise durch Installation mehrerer Basisstationen erfüllt werden kann. Die Iterationen zwischen Anforderungs- und Leistungsprofil werden nach Bedarf wiederholt.

Hinweise rund um das Anforderungsprofil

Das Anforderungsprofil einer Applikation ist im betrieblichen Umfeld grundsätzlich einmalig, denn die Herstellung exakt gleicher Rahmenbedingungen an zwei unterschiedlichen Orten ist aus Sicht einer Funktechnologie nicht möglich. Beispielsweise gibt es typischerweise örtlich benachbarte Funksysteme, deren Einfluss auf das betrachtete Funksystem von der örtlichen Konstellation abhängt.

Deswegen ist es wichtig, für jede Applikation ein eigenes Anforderungsprofil zu erstellen. So sind alle relevanten Aspekte im Blick.

Je nach Komplexität der Anforderungen oder der Umgebung der Anwendung ist es ratsam, mit Funkexperten Rücksprache zu halten und auf deren Erfahrungen und Wissen zurückzugreifen. Zur Vertiefung des Themas können VDI/VDE Richtlinie 2185 Blatt 1 [7] sowie Blatt 4 [8] genutzt werden.

Qualitative Anforderungen in typischen LPWAN-Anwendungsfeldern

Quantitative Werte zum Anforderungsprofil lassen sich vergleichsweise einfach bestimmen, wenn die Anwendung bekannt ist. Anders ist dies für die qualitativ zu bewertenden Aspekte, denn hier haben mitunter unternehmenspolitische Entscheidungen einen Einfluss.

Beispielsweise kann ein Unternehmen entscheiden, dass die Daten einer Zustandsüberwachung den Betrieb nicht verlassen dürfen, wodurch nur LPWAN-Technologien infrage kommen, die den Betrieb eines nicht-öffentlichen Netzes ermöglichen. Im Gegensatz dazu könnte ein Unternehmen entscheiden, dass die Zustandsdaten von überall zugänglich sein sollen. In diesem Fall könnte der Rückgriff auf vorhandene Infrastruktur ggf. inklusive Web-Interface mit Datenübersicht und -auswertung (Dashboard) eine Aufwandsreduktion bieten.

Je nach Einsatzort kann es vorkommen, dass ein öffentlich betriebenes Netz gar nicht verfügbar ist. Land- und Bauwirtschaft könnten hiervon verstärkt betroffen sein. Hier bleibt nur die Option, ein eigenes Netz aufzubauen. Im Kontext der Verfolgung von Gütern oder Vermögensgegenständen (engl.: Asset Tracking) hingegen ist meist eine nationale, europaweite oder sogar globale Abdeckung nötig. Hier liegen öffentlich betriebene Netze im Vorteil.

6. Welche Entwicklungen sind abzusehen?

In den letzten Jahren haben LPWANs insbesondere im Kontext des Internet of Things (IoT) und des Industrial Internet of Things (IIoT) verstärkte Aufmerksamkeit erhalten. Diese Aufmerksamkeit sorgt für eine größere Auswahl kommerziell verfügbarer Komponenten, bei Technologien mit einem öffentlichen Netz zu höherer Abdeckung und dem Angebot differenzierter Dienstleistungen. Für alle in diesem Merkblatt näher vorgestellten Technologien sind daher Weiterentwicklungen zu erwarten.

Neben den bereits am Markt verfügbaren Technologien ist im Zuge der Entwicklung der fünften Mobilfunkgeneration (5G), die Einführung zweier weiterer Technologien zu erwarten: 5G mMTC (massive Machine-Type Communication) und 5G NR-RedCap (New Radio, Reduced Capability).

Insgesamt erwartet das IRLG, dass die Verbreitung von LPWANs in den kommenden Jahren zunimmt. Anwender fassen zunehmend Vertrauen in die Zuverlässigkeit und die Datensicherheit, wodurch eine wichtige Grundlage geschaffen wird, den Mehrwert von LPWANs tatsächlich nutzbar zu machen. Den Mehrwert sieht das IRLG in der einfachen und kostengünstigen Verfügbarkeit von Komponenten, die sowohl in bestehende Anwendungen ("Brownfield") als auch beim Neubau von Anlagen ("Greenfield") genutzt werden können. Prozesse können so aufwandsarm digitalisiert oder von Anfang an digital entworfen werden.

Ob sich eine Technologie gegenüber anderen herausstellt, ist aus Sicht des IRLG nicht abzusehen. Wie in diesem Merkblatt durch die Darstellung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden deutlich wurde, hat jede Technologie Alleinstellungsmerkmale, die sie für bestimmte Anwendungen besonders attraktiv machen. Endnutzer profitieren hier vom heterogenen Markt, denn sie können durch Abgleich des Anforderungsprofils ihrer Anwendung mit dem Leistungsprofil der Technologien die für sie passendste auswählen.

7. Referenzen

- [1] L. Underberg, J. Alex und L. Rauchhaupt, " Funkkommunikation in der Wasserwirtschaft – Anforderungsprofile und Bewertung der Eignung von Low Power Wide Area Networks", Jahresskolloquium *Kommunikation in der Automation (Komma)*, Magdeburg, November 2021
- [2] LoRa Alliance, „LoRaWAN™ 1.0.3 Specification“, Beaverton, OR, USA, 2018.
- [3] Weightless SIG, "Weightless-P System Specification V1.0", 2015.
- [4] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel und F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, March 2019.
- [5] L. Chettri, „A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems,“ *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, Bd. 7, 2020.
- [6] ubiik, „Weightless LPWAN Low Power Wide Area Networking Product Catalogue,“ 2020. Online: https://www.european-utility-week.com/_media/libraries/brochures/782C0264-DE2B-F4D2-012E47E2EEF3DB72-document.pdf. [Zugriff am 12.11.2021].
- [7] VDI/VDE Richtlinie 2185 Blatt 1, "Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik - Anforderungen und Grundlagen", 2020.
- [8] VDI/VDE Richtlinie 2185 Blatt 4, "Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik - Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen", 2019.

Quelle der Grafiken: ifak, IRLG; Quelle der Icons: teilweise <https://icons8.com>

8. Welche Rolle hat das Industrial Radio Lab Germany?

Das IRLG ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderter Laborverbund für industrielle Funkanwendungen mit regionaler Verankerung in Bremen, Dresden, Kaiserlautern und Magdeburg. Die Forschungs- und Entwicklungslabore des IRLG bieten kooperierenden Unternehmen eine wissenschaftlich-technisch orientierte Unterstützung über gemeinsame Forschungsarbeiten und erlauben den Unternehmen die effiziente Entwicklung von Demonstratoren und Produkten im Bereich Funkkommunikation unter anderem auf der Basis von 5G.

<https://industrial-radio-lab.eu>

contact@irlg.eu