

Entscheidungshilfe für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme



Herausgeber:

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Telefon: 04969 6304-1
E-mail: info@agfw.de
Internet: www.agfw.de

Verantwortlich

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energietechnik (IEE)
Joseph-Beuys-Straße 8
34117 Kassel
Telefon: 0561 7294-1517
E-mail: dietrich.schmidt@iee.fraunhofer.de
Internet: www.iee.fraunhofer.de

Hinweis:

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Angaben in dieser Broschüre sind nach bestem Wissen unter Anwendung aller gebotenen Sorgfalt erstellt worden. Trotzdem kann von den Autoren, den Herausgebern und dem Verlag keine Haftung für etwaige Fehler übernommen werden.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Veröffentlicht:

April 2024 | erste Auflage
©AGFW, Frankfurt am Main

Entscheidungshilfe für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme

Autoren:

Dr. Dietrich Schmidt (IEE)
Daniel Zahn (IEE)
Gowtham Sakthivel Mohan (IEE)
Max Zeller (IEE)
Sebastian Grimm (AGFW)

In Zusammenarbeit mit:

Stadtwerke Gießen
Stadtwerke Marburg GmbH
Stadtwerke Hanau GmbH
Danfoss GmbH

Förderung

Das dieser Studie zugrundeliegende Vorhaben EnEff: Wärme: N5GEH-Digiheat (Digitalisiertes Wärmekraftwerk für eine effizientere urbane Fernwärmeversorgung) wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter den Förderkennzeichen 03EN3065B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Trotzdem kann von den Autoren, den Herausgebern und dem Verlag keine Haftung für etwaige Fehler übernommen werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Haftungsausschlusserklärung:

Diese Veröffentlichung wurde mit angemessener Sachkenntnis und Sorgfalt zusammengestellt. Jedoch können die Autoren keine Zusicherung für die Angemessenheit oder Genauigkeit der hierin enthaltenen Informationen oder für ihre Eignung für eine bestimmte Anwendung geben und übernehmen keine Verantwortung oder Haftung, die sich aus der Nutzung dieser Veröffentlichung ergeben. Die hierin enthaltenen Informationen ersetzen nicht die Anforderungen, Vorschriften oder Normen und sollten nicht als Ersatz angesehen werden.

Einführung

Wärmenetze sind ein zentraler Hebel für den Klimaschutz im Gebäudesektor. Digitalisierung ist eine essenzielle Technologie für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und mit den Anforderungen an Flexibilität, der Einbindung erneuerbarer Energien und der daraus erwachsenden Komplexität der Anlagen geradezu notwendig.

Mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt - wie in den meisten Industrieländern - auf die thermische Energienutzung für Wärme und Kälte. Davon wird derzeit nur ein geringer Teil klimaneutral bereitgestellt [1]. Während die Energiewende im Stromsektor voranschreitet, verläuft die Entwicklung im Wärmesektor deutlich zu langsam. Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen und bereits bis 2030 die Hälfte der Wärme klimaneutral zu erzeugen [2]. Die Transformation des Wärmesektors erfordert entschlossenes und effizientes Handeln. Wärmenetze sind dabei ein zentraler Hebel für den Klimaschutz im Gebäudesektor. Um erneuerbare Energien und Abwärme effizient integrieren und Wärmenetze optimal betreiben zu können, ist eine Digitalisierung der Infrastrukturen notwendig.

Die Fernwärmeversorgung in Deutschland ist bisher überwiegend fossil geprägt. Im Zuge der Dekarbonisierung müssen Erdgas und Kohle als derzeit dominierende Energieträger in der Fernwärmebereitstellung durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Um die Wärmeerzeugung entsprechend umzustellen, ist ein effizientes und flexibles Zusammenspiel der Technologien erforderlich. Die daraus resultierende zunehmende Komplexität zukünftiger Fernwärmesysteme durch einen steigenden Anteil erneuerbarer Energiequellen sowie eine zunehmende Dezentralisierung der Erzeugerstruktur erfordert die Einführung von Digitalisierungsmaßnahmen.

Für den Umbau der Systeme stehen nur begrenzte personelle, finanzielle und zeitliche Ressourcen zur Verfügung. Die Digitalisierung ermöglicht eine weitere Automatisierung der Prozesse und einen hocheffizienten Betrieb der Anlagen. Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz können standardisierte Prozesse und ein optimierter Betrieb besser umgesetzt werden. So können Fernwärmesysteme den zukünftigen Anforderungen an Flexibilität, der Integration erneuerbarer Energien und einem kosteneffizienten Betrieb gerecht werden.

Die Klimaziele der Bundesregierung verlangen, den Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung in Deutschland bis 2030 zu verdoppeln [3]. Die neuen Netze, die auf einem deutlich niedrigeren Temperaturniveau arbeiten, müssen intelligent und hocheffizient betrieben werden. Für den effizienten und automatisierten Betrieb der neuen Netze entsteht ein erhöhter Informationsbedarf als Treiber der Digitalisierung und die Einführung intelligenter digitaler Technologien wird notwendig.

Die Implementierung von Sensoren zur Datenerfassung und entsprechender Kommunikationstechnologien zur Datenübertragung bilden die Grundlage für eine umfassende Digitalisierung in der Fernwärme. Die Digitalisierung ist eine wesentliche Säule für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und mit den Anforderungen an Flexibilität, der Integration erneuerbarer Energien und der damit einhergehenden Komplexität im Netzbetrieb notwendig.



Dr. Dietrich Schmidt
Abteilungsleiter Thermische Energiesystemtechnik



Inhaltsverzeichnis

Anwendungsfälle für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme	2
Einordnung der Kommunikationstechnologien	4
Vergleich der Kommunikationstechnologien	7
5G.....	7
4G (LTE)	7
LTE-M	7
NB-IoT	8
Sigfox	8
LoRaWAN.....	9
Technische Kenngrößen	10
Datenrate.....	10
Gebäudedurchdringung	10
Echtzeitfähigkeit.....	11
Reichweite und Netzabdeckung	11
Energieeffizienz und -verbrauch	13
Kostenstruktur	13
Leitfaden zur Technologiewahl	16
1. Initialisierungsphase	16
2. Auswahlverfahren	16
3. Implementierungsphase	18
Entscheidungsbaum	20
Anwendungsbeispiel 1: Fernauslesung von Wärmezählern	22
Anwendungsbeispiel 2: Monitoring von Netzschlechtpunkten	24
Anwendungsbeispiel 3: Automatisierter Pumpenbetrieb.....	26
Zusammenfassung der Kernaussagen.....	28
Hintergrund zur Entstehung	30
Literaturverzeichnis.....	32
Bildnachweis	35

Anwendungsfälle für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme

Kommunikationstechnologien können in der Fernwärme vielfältig eingesetzt werden. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über mögliche Anwendungsfälle.

Die einleitend beschriebene Digitalisierung in der Fernwärmeversorgung erfordert eine intelligente Vernetzung von Geräten und Maschinen im sogenannten Internet der Dinge (engl. Internet of Things, IoT). Dabei werden verschiedene Kommunikationstechnologien verwendet, um Daten sowohl unidirektional als auch bidirektional zu übertragen, d. h. als Messwerte von den Sensoren zu einer zentralen IoT-Plattform/Data Hub oder als Steuersignale zurück zu den einzelnen regelnden Anlagen.

Übertragen auf den Fernwärmekontext sind folgende Beispiele für die Übertragung von Sensor- bzw. Messwerten zu nennen. Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern dient der Konkretisierung und Verdeutlichung.

Wärmemengenmessung: Erfüllung der Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung (FFVAV) über fernauslesbare Messeinrichtungen zur Abrechnung des Wärmeverbrauchs der Kunden. Darauf aufbauend ist auch ein Monitoring der Übergabestation zur Identifizierung von Optimierungspotenzialen möglich [4].

Schlechkpunktmessung: Drucksensoren messen an ausgewählten Stellen im Wärmenetz den Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf, um

daraus Optimierungen für den Betrieb der Netzpumpen abzuleiten.

Leckagedetektion: Erfolgt durch Messung, z. B. des elektrischen Widerstandes in der Wärmedämmung von Fernwärmerohren oder aufgrund von Überschreitungen der maximalen Durchflusswerte.

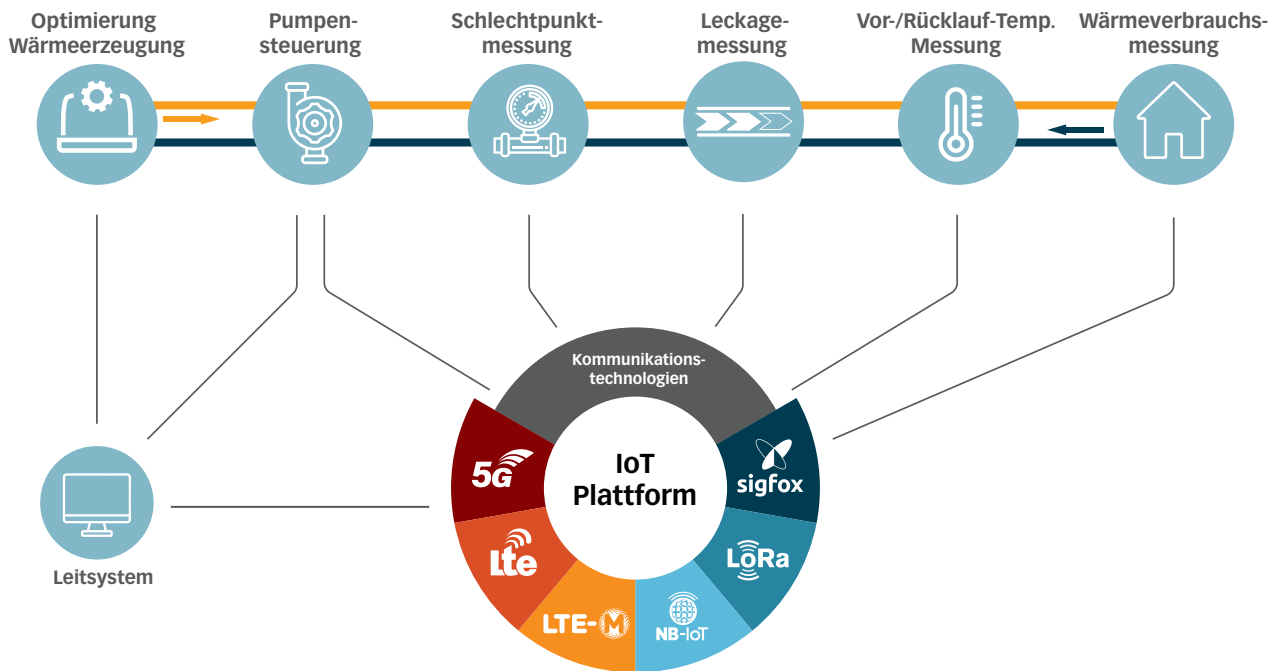
Vor-/Rücklauftemperaturmessung: Optimierung der Wärmeerzeugung auf Basis der vom Abnehmer geforderten Vorlauftemperatur und der Forderung nach maximaler Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf [5].

Neben der Erfassung von Messwerten (lesend), können über die bidirektionalen Kommunikation auch Steuerbefehle (schreibend) an Aktoren im Wärmenetz gesendet werden. Typische Steuerungsanwendungen sind z. B.:

Fernzugriff, beispielsweise zur Parametrierung von Pumpen und Reglern zur Beeinflussung der Betriebsparameter im Netz, ggf. auch an entsprechend ausgelegten Hausstationen.

Optimierte Steuerung der Wärmeerzeugung, u. a. auf Basis von Preis- und Verbrauchsprognosen.

Mögliche Anwendungsfälle



Aus diesen beispielhaften Anwendungen für den Informationsaustausch, lassen sich weitere Einsatzmöglichkeiten ableiten. Die digitale Erfassung von Temperatur-, Wärmedurchfluss- und Druckdaten ermöglicht eine wesentlich umfassendere Zustandsüberwachung des Wärmenetzes, insbesondere im Hinblick auf variierende Schlechtpunkte bei zunehmend dezentraler Wärmeinspeisung. Die zur Verfügung stehenden Sensordaten liefern darüber hinaus potenziell die Grundlage für eine Anomalie- und Fehlererkennung, bis hin zu Anwendungen der prädiktiven oder vorausschauenden Wartung (engl. Predictive Maintenance), um Anlagenausfälle z. B. durch Leckagen frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Im Schadensfall könnten Reparaturen zukünftig mit Hilfe von Augmented Reality (AR)¹ effizienter durchgeführt werden - sei es z. B. vorab in Schulungen oder vor Ort bei der Problemdiagnose und -behebung. Dabei können über eine sogenannte AR-Brille visuelle

Anweisungen in das Sichtfeld des Technikers eingeblendet werden oder eine digitale Fernunterstützung durch einen Fachexperten erfolgen.

Im Zeitalter des Internets der Dinge erhöhen moderne digitale Kommunikationstechnologien die Transparenz des Fernwärmenetzes und der zugehörigen Abnehmerstrukturen. Dies ermöglicht dem Fernwärmebetreiber eine datenbasierte Optimierung des Netzbetriebs sowie der Ausbauplanung. Darüber hinaus helfen die Technologien, die Potenziale des Demand Side Managements zu heben, also die Wärmenachfrage gezielt zu beeinflussen, um Lastspitzen zu reduzieren [6]. Die Digitalisierung kann somit für eine Vielzahl von Anwendungsfällen einen effizienteren Netzbetrieb fördern - für weniger Kosten und Emissionen.

Abbildung 1 Übersicht über mögliche Anwendungsfälle zur Datenübertragung in der Fernwärme

¹ Augmented Reality (Erweiterte Realität) ist eine Technologie, bei der digitale Elemente in die reale Welt eingefügt werden. Diese Elemente können auf einem Bildschirm oder in einer AR-Brille erscheinen.

Einordnung der Kommunikationstechnologien

Überblick über die potenziellen als auch untersuchten Kommunikationstechnologien und den zugrunde liegenden Auswahlkriterien.

Das vorangegangene Kapitel hat eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für Kommunikationstechnologien in Fernwärmesystemen aufgezeigt. Jeder Anwendungsfall stellt spezifische Anforderungen an die eingesetzte Kommunikationstechnologie, um einen optimalen und kosteneffizienten betrieblichen Einsatz zu gewährleisten. Daher ist es notwendig, für jeden Anwendungszweck die geeignete Kommunikationstechnologie zu identifizieren. Dieses Kapitel beschreibt die im Fernwärmekontext relevanten Kommunikationstechnologien, grenzt sie voneinander ab und erläutert, welche Aspekte bei der Auswahl zu berücksichtigen sind.

Bei der Datenkommunikation wird im Wesentlichen zwischen drahtgebundener und drahtloser Kommunikation unterschieden, wobei in dieser Broschüre der Schwerpunkt auf den drahtlosen Technologien liegt. Für eine erste Abgrenzung der funkbasierten Kommunikationstechnologien wurden diese anhand der Dimensionen Reichweite und Datenrate analysiert, wie in Abbildung 2 dargestellt [7]. Im Hinblick auf die antizipierten Anforderungen der Fernwärmever sorgungsunternehmen und deren Digitalisierungsvorhaben wurde der Fokus des Technologiescreenings auf Technologien mit hoher Reichweite beschränkt, da insbesondere Datenübertragungen über weite Strecken,

z. B. außerhalb der Kundenanlagen, erfolgen. In diesem identifizierten Schwerpunkt des Screenings (siehe Abbildung 2, orange umrandet) finden sich auf der linken Seite Technologien mit geringem Energieverbrauch und geringer Datenrate. Diese Funktechnologien werden als Low Power Wide Area Network (LPWAN) bezeichnet und umfassen die Vertreter Sigfox, LoRaWAN und NB-IoT. Auf der rechten Seite stehen Funktechnologien, die auf dem Mobilfunkstandard der dritten Generation basieren und unter der Bezeichnung LTE (engl. Long Term Evolution) bekannt sind. Zur weiteren Eingrenzung und aus Gründen der Zukunftssicherheit wurden die weltweit am weitesten verbreiteten Technologien ausgewählt [8].

Funkgestützte Kommunikationstechnologien können hinsichtlich der genutzten Frequenzbereiche in lizenzierte und unlizenzierte unterschieden werden. Die Nutzung lizenzierter Frequenzbereiche unterliegt staatlicher Regulierung, um eine koordinierte und störungsfreie Nutzung der Frequenzen durch die Diensteanbieter zu gewährleisten. In Deutschland regelt die Bundesnetzagentur (BNetzA) in enger Zusammenarbeit mit internationalen Gremien (z. B. der Internationalen Fernmeldeunion ITU) die Verwaltung und Vergabe von Frequenzbändern. Diese lizenzierten Mobilfunkfrequenzbereiche werden

Fokus auf
Technologien mit
großer Reichweite



von LTE, LTE-M, 5G und NB-IoT genutzt. Sigfox und LoRaWAN hingegen nutzen lizenzfreie Frequenzbereiche, die von der BNetzA unter bestimmten Bedingungen an die Allgemeinheit vergeben wurden (siehe Exkurs: Frequenzen, S. 13). Die sechs genannten Kommunikationstechnologien werden im folgenden Kapitel mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen näher vorgestellt.

An dieser Stelle sollen weitere Technologien erwähnt werden, die aufgrund der geringen Marktdurchdringung und der unzureichenden Datenbasis nicht in den Technologievergleich aufgenommen wurden. Eine davon ist Wireless M-Bus, ein offener Kommunikationsstandard für die Zählerfernauslesung in allen relevanten Energiesektoren. Er ermöglicht die drahtlose Kommunikation zwischen Zählern und Submeter-Gateways. Aufgrund der geringen Reichweite von 500-1000 Metern sind im städtischen Umfeld deutlich mehr Gateways, d. h. Datenkonzentratoren, notwendig als z. B. bei LoRaWAN. In der Praxis erfolgt daher häufig eine Kombination mit einer Drive-by-Zählerauslesung [9, 10]. Im Gegensatz zu den anderen Technologien handelt es sich lediglich um einen offenen europäischen Kommunikationsstandard, weshalb der Aufbau einer eigenen Infrastruktur erforderlich ist [11].

Eine noch relativ unbekannt und wenig verbreitete Kommunikationstechnologie ist mioty. Die vom Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) entwickelte drahtlose LPWAN-Technologie für Massive-IoT-Anwendungen zeichnet sich durch seine hohe Skalierbarkeit und Energieeffizienz aus. Wie LoRaWAN und Sigfox funkt mioty in Europa auf dem freien 868 MHz Frequenzband, verspricht jedoch eine deutlich höhere Zuverlässigkeit bei der Datenübertragung. mioty ist Open Source, durch die mioty-Alliance standardisiert und insbesondere für Metering-Anwendungen aller Sparten geeignet [12, 13].

mioty als
Technologie mit
Zukunftspotenzial

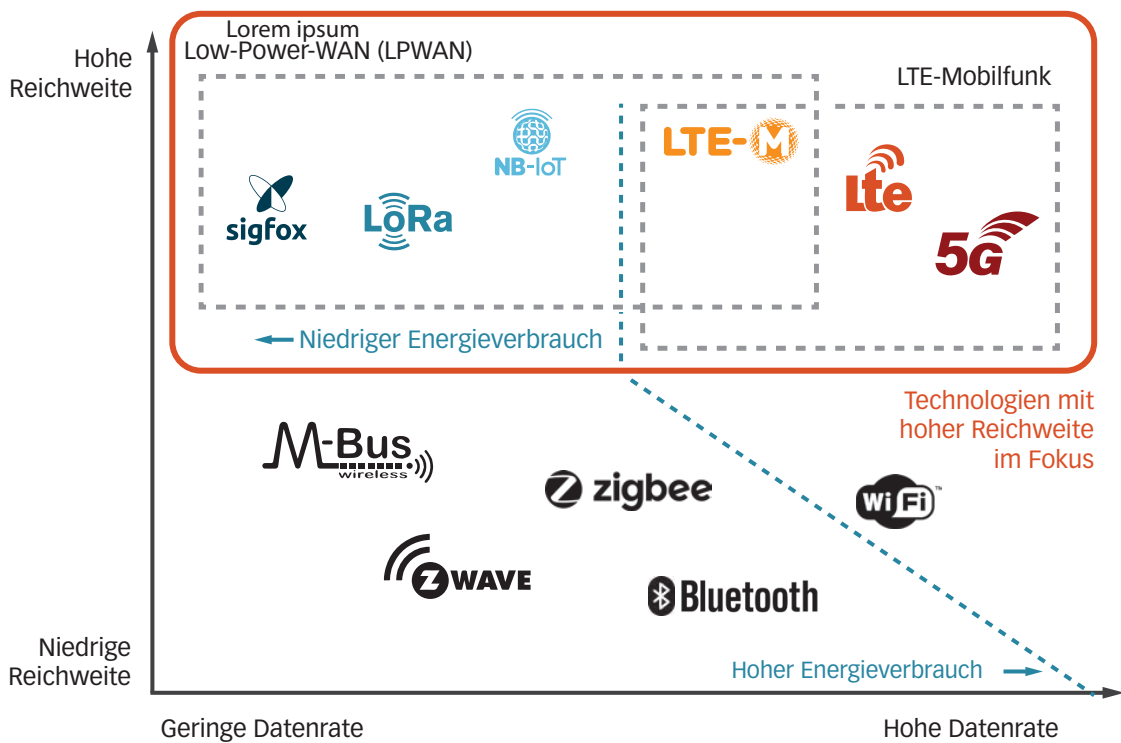


Abbildung 2
Schwerpunkt des
Technologie-
screenings

Exkurs: Smart Meter Gateways

Das Smart Meter Gateway (SMGW) ist die zentrale Kommunikationseinheit in einem intelligenten Messsystem (iMSys). Es empfängt und speichert Messdaten von Zählern und stellt diese den Marktakteuren wie z. B. Messstellenbetreibern (MSB) zur Verfügung. Für die entsprechende Datenübertragung vom SMGW wird derzeit LTE bzw. LTE-450 verwendet. Bisher ist der Einsatz von SMGW im Rahmen des Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (GNDEW) für die Sektoren Strom und Gas in einer klaren Roadmap verankert. Für die Sparte Wärme ist laut FFVAV lediglich eine nach dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) konforme Fernauslesbarkeit für die Wärmeverbrauchserfassung erforderlich [4]. Ob dies zwingend über das Smart Meter Gateway erfolgen muss, lässt der Gesetzgeber an dieser Stelle noch offen. Gleichwohl existieren bereits Lösungen am Markt, die sich u. a. dem Thema Mehrspartenauslesung (Strom, Gas, Wärme, Wasser) widmen. Das GNDEW sieht in diesem Zusammenhang die Zusatzdienstleistung „Übermittlung von abrechnungsrelevanten Messdaten aus dem Submetering-System der Liegenschaft nach der Heizkostenverordnung über das Smart-Meter-Gateway“ vor. Zukünftig ist laut GNDEW-Roadmap zudem die Nutzung eines SMGW auch für große Stromerzeuger > 100 kW (z. B. BHKWs) sowie Großverbraucher > 100.000 kWh/Jahr (z. B. Großwärmepumpen) vorgesehen - ab 2025 optional und ab 2028 verpflichtend [14].

Vergleich der Kommunikationstechnologien

In diesem Kapitel werden die für die Fernwärme relevanten Funktechnologien zur Datenübertragung mit großer Reichweite vorgestellt und hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften verglichen. Hierzu wurden im Rahmen eines Technologiescreenings die Angaben der verschiedenen Anbieter systematisch erfasst [15–20], durch eine Anwenderperspektive ergänzt [21, 22] und mit wissenschaftlichen Quellen validiert [23–27].

5G

LTE 5G ist der Technologiestandard der fünften Generation für Mobilfunknetze und baut auf dem bestehenden LTE-Standard auf. Er ermöglicht sowohl sehr hohe Datenraten von 200-500 Mbit/s [26], als auch IoT-Anwendungen mit vielen Verbindungen. Die Besonderheiten von 5G gegenüber alternativen Funktechnologien sind sehr geringe Verzögerungen bei der Datenübertragung (Latenz) und eine hohe Zuverlässigkeit der Verbindung. Damit ist 5G besonders für datenintensive Echtzeitanwendungen wie AR geeignet. Aufgrund der hohen Kosten pro Kommunikationsmodul sind LPWAN-Technologien für datenarme Anwendungen 5G vorzuziehen.

4G (LTE)

LTE wird auch als vierte Mobilfunkgeneration (4G) bezeichnet und baut auf dem Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G) auf. LTE nutzt lizenzierte Frequenzbänder des Mobilfunknetzes und ermöglicht hohe Datenraten für mobile Endgeräte. Aufgrund geringer Latenzzeiten ermöglicht LTE zeitkritische Anwendungen wie die Übertragung von Sprachdiensten. Das LTE-Netz ist in Deutschland flächendeckend ausgebaut und bietet grundsätzlich eine hohe Netzabdeckung. Die Gebäudedurchdringung dieser Kommunikationstechnologie ist mäßig, was den Einsatz in Kellern, Schächten und stark bebauten Um-

gebungen, wie sie für die Fernwärme typisch sind, einschränkt.

LTE-M

LTE for Machines, kurz LTE-M oder LTE-Cat-M1, ist auch unter der Bezeichnung Enhanced Machine-Type Communications, kurz eMTC, bekannt. Es handelt sich um einen ergänzenden LTE-Standard, der für Machine-to-Machine (M2M)- und IoT-Anwendungen eingesetzt wird. LTE-M gehört zu den LPWAN-Technologien und ermöglicht die energieeffiziente Realisierung von M2M-Anwendungen mit hoher Netzabdeckung in ganz Deutschland. Damit vereint es als Standard die Vorteile kostengünstiger LPWAN-Technologien mit der Realisierung mittlerer Echtzeitanforderungen bei Datenraten von bis zu 1 Mbit/s [17]. Darüber hinaus bietet LTE-M eine bessere Gebäudedurchdringung als LTE. Im Gegensatz zu anderen LPWAN-Technologien ermöglicht LTE-M durch den unterbrechungsfreien Wechsel zwischen Funkzellen auch mobile Anwendungen wie das Tracking von Einsatzfahrzeugen oder Sprachübertragungen.

Charakteristische Eigenschaften der Kommunikationstechnologien

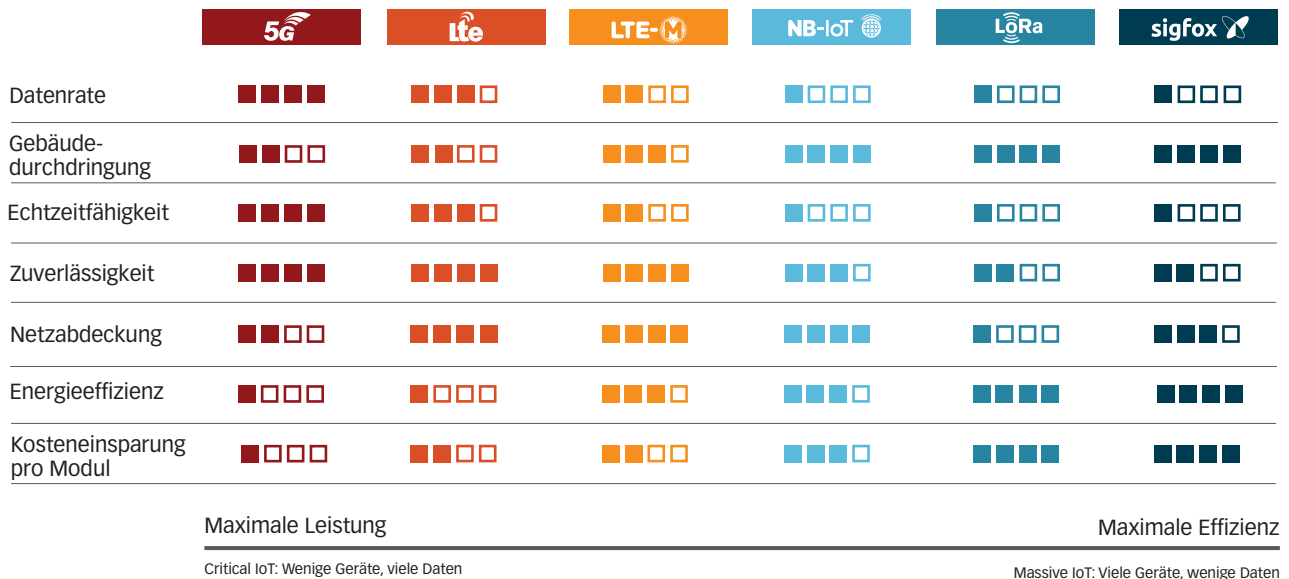


Abbildung 3
Vergleich der
Kommunikationstechno-
logien

NB-IoT

NB-IoT steht für Narrowband IoT und ist ebenfalls eine auf LTE-Mobilfunk basierende LPWAN-Technologie für IoT-Anwendungen. Aufgrund der begrenzten Datenrate von maximal 200 kbit/s (Downlink) liegt der Anwendungsfokus auf dem Versenden kleiner Datenmengen in größeren Zeitabständen. Für zeitkritische Anwendungen ist diese LPWAN-Technologie aufgrund der hohen Latenz nicht geeignet [29]. Der Vorteil liegt dagegen im geringen Energieverbrauch, der je nach Nutzung Batterielaufzeiten von bis zu zehn Jahren ermöglicht [30]. Darüber hinaus bietet NB-IoT eine hervorragende Gebäudedurchdringung und funkt zuverlässig aus Kellern, Kanälen und durch Betonwände hindurch [25]. Im Vergleich zu Sigfox und LoRaWAN bietet NB-IoT zudem eine deutschlandweite Netzabdeckung und eine deutlich höhere Zuverlässigkeit bei der Datenübertragung [31].

Sigfox

Sigfox, auch als OG-Technologie bezeichnet, gehört zur Klasse der LPWANs und wurde von dem gleichnamigen französischen Unternehmen als proprietäre Technologie entwickelt. In Deutschland ist die Sigfox Germany GmbH der Netzbetreiber, private Netze sind daher nicht möglich. Ein typisches Einsatzgebiet ist das IoT mit einer hohen Anzahl von Endgeräten bei gleichzeitig niedrigen Datenraten. Weitere Vorteile der Technologie sind die hohe Energieeffizienz, die gute Gebäudedurchdringung sowie die hohe Reichweite der Funkbasisstationen. Für Anwendungen mit Echtzeitanforderungen ist die Technologie nicht geeignet. Hervorzuheben ist der einfache „All-in-One-Ansatz“ vom Gerät über die Sigfox-Cloud bis hin zur Abrechnung im Abonnentenmodell. Aufgrund der hohen Reichweite der Sigfox-Technologie verspricht der Anbieter eine hohe Netzabdeckung in Deutschland im Freien. In Gebäuden ist mit einer deutlich schlechteren Abdeckung zu rechnen. Zudem ist die Technologie tendenziell eher in Ballungsräumen und weniger in ländlichen Regionen verbreitet [32–34].



LoRaWAN

LoRaWAN steht für Long Range Wide Area Network, gehört wie Sigfox zur Gruppe der LPWAN-Technologien und wird von der LoRa Alliance als offenes Kommunikationsprotokoll spezifiziert. Typisches Einsatzgebiet ist das IoT mit einer hohen Anzahl von Endgeräten bei gleichzeitig niedrigen Datenraten. Vorteile der Technologie sind die sehr hohe Energieeffizienz und die gute Gebäudedurchdringung [29]. LoRaWAN-Geräte schalten in einen energiesparenden Standby-Modus, wenn keine Daten gesendet werden, was einen Batteriebetrieb mit sehr langen Laufzeiten ermöglicht. [25]. Vorteilhaft sind die geringen Betriebskosten, da Lizenzgebühren für die Nutzung der Frequenzbänder sowie notwendige Verträge und SIM-Karten mit Mobilfunkanbietern entfallen. LoRaWAN bietet als einzige Funktechnologie die Möglichkeit des Aufbaus einer eigenen Infrastruktur durch den Energieversorger und punktet neben dem Aspekt der eigenen Datenhoheit mit zusätzlichen Synergieeffekten beim Einsatz in anderen Unternehmensbereichen wie Strom, Gas und Verkehr. Nachteile sind u.a. die geringere Sta-

bilität und Zuverlässigkeit der Datenübertragung, insbesondere bei hoher Gleichzeitigkeit bei einer großen Anzahl von Messstellen [30].

Exkurs: LTE-450

Um den besonderen Anforderungen der Energie- und Wasserwirtschaft gerecht zu werden, ist ergänzend auf LTE-450 hinzuweisen. Hierbei handelt es sich um eine ausfallsichere LTE-basierte Technologie für Betreiber kritischer Infrastrukturen [26]. Diese nutzt das Frequenzband 450 MHz, das exklusiv an die 450connect GmbH, ein Gemeinschaftsunternehmen von über 70 Unternehmen der Energie- und Wasserwirtschaft, vergeben wurde. Aufgrund der guten Flächenabdeckung und Gebäudedurchdringung des gewählten Frequenzbandes eignet sich LTE-450 hervorragend für die Steuerung und Überwachung von Fernwärmeanlagen in Schächten und Kellern. Die Datenrate liegt bei maximal 10-30 Mbit/s, mit der zusätzlichen Funktion einer Anwendungspriorisierung nach Kritikalität. Zusätzlich bietet die 450 MHz Infrastruktur Notstrommechanismen zur Aufrechterhaltung der Datenübertragung für bis zu 72 Stunden bei Stromausfall. Derzeit wird die entsprechende Infrastruktur bis 2025 aufgebaut [28].

Technische Kenngrößen

In diesem Kapitel wird auf die technisch relevanten Kriterien sowie die Kostenstruktur der Kommunikationstechnologien eingegangen. Ziel ist es, grundlegende Informationen zu Begriffen wie Datenrate, Echtzeitfähigkeit, Gebäudedurchdringung und Energieeffizienz zu liefern. Darüber hinaus gibt es vertiefende Exkurse zu den Themen Frequenzbänder und IT-Sicherheit.

Gebäudedurchdringung und Datenrate abhängig vom genutzten Frequenzband

Datenrate

Die Datenrate ist ein Maß dafür, wie viele Daten (Bits) pro Zeiteinheit (Sekunde) über eine Kommunikationsstrecke übertragen werden können. Die spezifische Datenrate jeder Kommunikationstechnologie kann in der Realität aufgrund verschiedener externer Faktoren variieren, insbesondere aufgrund der Topologie, der Abschirmung durch Gebäude, der Netzauslastung oder Interferenzen² [29, 35]. Grundsätzlich bietet 5G, gefolgt von 4G (LTE), die höchsten Systemdatenraten (Downlink) von bis zu 500 Mbit/s. LTE-450 kann Datenraten von bis zu 30 Mbit/s erreichen. Am anderen Ende stehen die LPWAN-Technologien LoRaWAN (< 0,01 Mbit/s) und NB-IoT (bis 0,2 Mbit/s), die für einen datensparsamen, kostengünstigen und energieeffizienten Betrieb entwickelt wurden [26, 36].

Gebäudedurchdringung

Der Grad der Gebäudedurchdringung ist eine entscheidende Eigenschaft von Kommunikationstechnologien, die ihre Fähigkeit zur Übertragung aus tiefen Kellern, Schächten oder hinter dicken Betonwänden misst. Man spricht hier auch von „Deep Indoor Coverage“. Grundsätzlich erzielen

langwellige Funktechnologien im Niederfrequenzbereich eine deutlich höhere Reichweite und bessere Gebäudedurchdringung als kurzwellige Funktechnologien. Die Sicherstellung der kommunikativen Abdeckung ist daher mit einer geringeren Nachverdichtung durch zusätzliche Gateways möglich.

Bei den Mobilfunktechnologien 5G und 4G (LTE), die überwiegend hohe Frequenzen nutzen, ist die Gebäudedurchdringung gering. Insbesondere in urbanen Umgebungen mit dichter Bebauung kann dies zu Herausforderungen führen, weshalb 5G/4G zusätzlich das 700 bzw. 800 MHz Frequenzband nutzt. Alternativ werden bei hohen Anforderungen an die Datenrate auch Antennen zur Signalverstärkung eingesetzt. Im Gegensatz dazu nutzen LPWAN-Technologien wie NB-IoT und LoRaWAN nur niedrige Frequenzbereiche, was zu einer sehr guten Gebäudedurchdringung führt. Insbesondere die derzeit im Aufbau befindliche LTE-450-Infrastruktur verspricht mit dem 450 MHz-Frequenzband die besten Gebäudedurchdringungseigenschaften am Markt und ist damit für die Anwendungsfälle der Energie- und Wasserwirtschaft, bei

² Interferenzen in der drahtlosen Kommunikation treten auf, wenn sich verschiedene Signale gegenseitig beeinflussen und stören. Für eine zuverlässige Kommunikation ist es wichtig, Interferenzen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Dazu gehören Feldversuche zur Optimierung der Antennenplatzierung und zur Verbesserung der Signalstärke.



denen u.a. aus Kellern und Schächten heraus gefunkt wird, bestens geeignet [26, 29].

Echtzeitfähigkeit

Von Echtzeitfähigkeit ist zu sprechen, wenn die Übertragung (und Verarbeitung) von Informationen ohne wahrnehmbare Verzögerung erfolgt. Die Latenzzeit beschreibt in diesem Kontext die Verzögerungszeit zwischen dem Senden einer Nachricht und dem Empfang dieser Nachricht am Ziel. Ein genauer Schwellenwert für Echtzeitkommunikation existiert nicht, da dieser von der jeweiligen Anwendung abhängt. Die tatsächliche Latenz hängt neben den technischen Möglichkeiten der Kommunikationstechnologie auch von weiteren Faktoren ab, wie z.B. der Netzauslastung und -abdeckung, der spezifischen Implementierung vor Ort sowie der Datenverarbeitung in nachgeschalteten IT-Systemen, z. B. in der Cloud.

5G ermöglicht grundsätzlich eine Echtzeitkommunikation mit Latenzzeiten im einstelligen Millisekundenbereich. Diese niedrigen Latenzzeiten sind entscheidend für Echtzeitanwendungen wie AR, industrielle Automation (Industrie 4.0) und autonomes Fahren [38].

4G (LTE) bietet im Vergleich zu früheren Mobilfunkgenerationen wie 3G deutlich verbesserte Latenzzeiten.

Typischerweise kann 4G Latenzzeiten im zweistelligen Millisekundenbereich erreichen. Damit eignet sich die Technologie insbesondere für Sprach- und Videotelefonie sowie Streaming-Anwendungen. Für weniger datenintensive Anwendungen mit Echtzeitanforderungen bietet sich LTE-M bzw. LTE-450 mit Latenzzeiten von ca. 20 Millisekunden an [36, 39].

Die LPWAN-Technologien NB-IoT, Sigfox und LoRaWAN gelten mit Latenzen > 1 Sekunde [29] nicht als echtzeitfähig. Sie eignen sich sehr gut für Anwendungen, bei denen kleine Datenmengen in sporadischen Intervallen übertragen werden müssen, wie z.B. Zählerstände. Die Technologien sind jedoch nicht dafür ausgelegt, kontinuierliche Echtzeitdatenströme mit geringer Latenz zu unterstützen.

Reichweite und Netzabdeckung

Die Reichweite beschreibt die maximale Entfernung einer Funkverbindung, die zwischen Sender und Empfänger liegen darf, damit noch eine Kommunikation möglich ist. Sie wird u. a. durch den Frequenzbereich, die Sendeleistung, die Topologie (Berge, Täler) und Hindernisse (z. B. Gebäude) beeinflusst. Auch Störungen, z.B. durch andere Nutzer, können die Empfindlichkeit des Empfängers und damit die Reichweite des Senders negativ beeinflussen. Letzteres betrifft

LTE Antenne einer Basisstation



Höhere Energieeffizienz bedeutet geringere Leistung

vor allem lizenzfreie Frequenzbänder, wie sie für LoRaWAN und Sigfox genutzt werden, da diese Frequenzbänder prinzipiell auch von anderen Nutzern genutzt werden können.

Die Reichweite der Funkverbindung ist von besonderer Bedeutung, wenn ein eigenes Netzwerk aufgebaut oder ein bestehendes Netzwerk erweitert werden soll. Die Reichweite bestimmt, wie viele Gateways in welcher Entfernung benötigt werden, um alle Sensoren und Aktoren zu verbinden.

Die Reichweite von LoRaWAN beträgt ca. 5 km in bebauten Gebieten und bis zu 20 km in ländlichen Gebieten. Im Vergleich dazu liegen die Reichweiten von Sigfox bei 10 km in städtischen und 40 km in ländlichen Gebieten. Zu beachten ist, dass es sich hierbei um Reichweiten für Empfänger im Freien (engl. outdoor) handelt. Die Reichweite für einen ausreichenden Empfang innerhalb von Gebäuden (engl. indoor) ist deutlich geringer. [25]

Durch die Nutzung eines bestehenden (Mobilfunk-)Netzes ist weniger die maximale Reichweite einer einzelnen Funkverbindung als vielmehr die Netzabdeckung von Bedeutung. Die Netzabdeckung bezieht sich auf die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit eines Mobilfunknetzes in einem be-

stimmten geografischen Gebiet. In Deutschland besteht eine sehr gute Netzabdeckung im Außenbereich für die LTE-Kommunikationstechnologien von > 97 %. Das 5G-Netz befindet sich derzeit noch im Aufbau und liegt laut BNetzA bei 90 % (Stand Oktober 2023) [40]. Für NB-IoT und LTE-M liegen keine Daten der BNetzA vor, sondern nur Abdeckungskarten der Mobilfunkanbieter [31]. Die Netzabdeckung von Sigfox in Deutschland liegt nach Angaben des Anbieters bei über 90 % (Stand Januar 2021) [32]. Zu beachten ist, dass diese Angaben auf rechnerischen Abschätzungen für den Außenbereich beruhen [34]. Es wird daher empfohlen, vorab eine Verfügbarkeitsprüfung für den geplanten Standort durchzuführen [41]. Im Vergleich dazu ist die Netzabdeckung von LoRaWAN-Anbietern deutlich geringer und meist auf Ballungsräume beschränkt. Dies ist jedoch nicht per se als Nachteil von LoRaWAN zu werten, da der Aufbau einer eigenen Infrastruktur Teil des Konzepts ist. Unabhängig von der Kommunikationstechnologie wird empfohlen, an kritischen Standorten individuelle Messungen vor Ort durchzuführen, um die lokale Netzabdeckung bzw. Signalstärke zu überprüfen und ggf. weitere Gateways oder Signalverstärker zu installieren.

Energieeffizienz und -verbrauch

Der Energieverbrauch drahtloser Kommunikationstechnologien spielt insbesondere bei Anwendungen ohne Stromanschluss eine entscheidende Rolle, da lange Batterielaufzeiten die Anzahl notwendiger Wartungseinsätze minimieren und sich somit positiv auf die Betriebskosten auswirken. Der Energieverbrauch setzt sich zusammen aus dem Energiebedarf für das Senden (engl. uplink) und ggf. Empfangen (engl. downlink) von Datenpaketen sowie für den Standby-/Ruhezustand. Mit zunehmender Datenmenge steigt auch die Anzahl der benötigten Datenpakete, die einzeln versendet werden müssen. Dies führt unabhängig von der verwendeten Technologie zu einem höheren Energieverbrauch. Zusätzlich beeinflussen die lokalen Empfangsbedingungen die Energieeffizienz. Je schlechter die verfügbare Signalstärke vor Ort ist, desto höher ist der Energieverbrauch durch zusätzliche Paketverluste bei der Datenübertragung. Für einen energiesparenden Betrieb mit geringen Datenmengen bieten sich insbesondere die LPWAN-Technologien NB-IoT, LoRaWAN und Sigfox an. Unter optimalen Bedingungen können Batterielaufzeiten von mehr als zehn Jahren erreicht werden. Sind höhere Datenraten sowie Echtzeitfähigkeit gefordert, bieten sich LTE-M bzw. LTE-450 als Kompromiss an, allerdings mit höherem Energieverbrauch [30].

Kostenstruktur

Die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb der jeweiligen Kommunikationstechnologien sind ein entscheidendes Auswahlkriterium. Hinsichtlich der Kostenkomponenten ist insbesondere zwischen Mobilfunktechnologien in lizenzierten Frequenzbändern und LPWAN-Technologien in freien Frequenzbändern zu unterscheiden. Je nach Technologie sind geeignete Geräte zur Funkübertragung sowie der Aufbau

einer individuellen und geeigneten IoT-Datenplattform erforderlich. Dabei ist insbesondere bei LoRaWAN darauf zu achten, dass diese für den europäischen Markt zugelassen sind und nur in dem dort zugelassenen Frequenzband funken (siehe Exkurs: Frequenzen). Bei der Nutzung von Mobilfunktechnologien (z. B. LTE, NB-IoT) fallen zusätzliche Kosten für die benötigten M2M-SIM-Karten an. Hinzu kommen Nutzungsgebühren in Abhängigkeit vom benötigten Datenvolumen [42, 43].

Exkurs: Frequenzen

Die verwendete(n) Frequenz(en) der einzelnen Kommunikationstechnologien hat/haben großen Einfluss auf die technischen Parameter wie Datenrate, Reichweite und Gebäudedurchdringung.

Alle drahtlosen Kommunikationstechnologien basieren auf dem Senden und Empfangen von elektromagnetischer Strahlung. Jede Kommunikationstechnologie nutzt dabei bestimmte Frequenzbänder des elektromagnetischen Spektrums. Diese können von der BNetzA explizit an einzelne Anbieter vergeben werden (lizenzierte Frequenzbereiche) oder von der Allgemeinheit ohne spezielle Genehmigung genutzt werden (unlizenzierte Frequenzbereiche).

Einige Kommunikationstechnologien nutzen ein einziges Frequenzband, z. B. LTE-M. Andere Kommunikationstechnologien wie 5G nutzen mehrere Frequenzbänder, um eine optimale Nutzung für verschiedene Anwendungen zu ermöglichen. So werden die Frequenzbänder 3,6 GHz und 2,1 GHz für kurze Distanzen im urbanen/industriellen Bereich mit maximalen Datenraten genutzt, während das 700 MHz Frequenzband für große Reichweiten z. B. im ländlichen Bereich ausgelegt ist [29, 36].

Hinsichtlich der lizenzfreien Frequenzbereiche ist der Hinweis der BNetzA zu beachten, dass eine Mindestqualität und Störungsfreiheit nicht garantiert werden kann. Insbesondere bei einer gemeinschaftlichen Frequenznutzung sind gegenseitige Beeinträchtigungen nicht auszuschließen und hinzunehmen. Zudem ist die Zuteilung der für LoRaWAN und Sigfox meist verwendeten Frequenzen von 433/868 MHz aktuell bis 2030 befristet [37].

	5G	lte	LTE-M	NB-IoT	Eigene lokale Infrastruktur	LoRa	Abonnement beim Betreiber	sigfox
Geräte inkl. Funkmodul	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SIM-Karten	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Nutzungsgebühren	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
Eigene Netzwerkinfrastruktur	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Netzwerkbetrieb & Wartung	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Anwendung (-Server)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Abbildung 4
Kostenstruktur der
LPWAN- und LTE-Technologien

Das Besondere an Sigfox ist, dass Sigfox sowohl die Technologie als auch der einzige Anbieter ist. D. h. für Sigfox ist pro Kommunikationsmodul ein „Connectivity“-Abonnement erforderlich, das sowohl ein geringes Datenvolumen für die Kommunikation als auch die Nutzung der Sigfox-Cloud beinhaltet [44]. Die Kommunikation ist dabei auf sehr kleine Nachrichtenpakete beschränkt³. Für den Fall einer fehlender Netzabdeckung in bestimmten Gebieten können zusätzliche Basisstationen erworben werden und in das OG-Netz von Sigfox integriert werden. Die Kosten für zusätzliche SIM-Karten entfallen sowohl bei Sigfox als auch bei LoRaWAN.

Im Gegensatz zu allen anderen Kommunikationstechnologien gibt es für LoRaWAN verschiedene Möglichkeiten der Nutzung, u. a.:

Shared Existing Network: Ein bereits bestehendes Netz eines Anbieters kann gegen Zahlung einer Gebühr („Abonnement“) genutzt werden. Dadurch fallen weder Investitionskosten noch Betriebs- und Wartungskosten an. Optional kann, wie bei Sigfox, das bestehende Netz durch zusätzliche Gateways erweitert werden, um die Netzabdeckung und die Zuverlässigkeit der Übertragung zu verbessern.

Local Private Network: Aufbau einer eigenen Netzinfrastruktur nach Bedarf. Hierbei besteht eine eigenständige Kontrolle über die gewünschte Netzabdeckung im eigenen Versorgungsgebiet und zudem verbleiben alle Daten im eigenen Netz. Der Aufbau eines eigenen Netzes ist jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden. Je nach Unternehmensgröße ist abzuwägen, ob eigene Ressourcen und Know-how aufgebaut oder ein spezialisierter Dienstleister für den Aufbau der Infrastruktur sowie den späteren Betrieb und die Wartung beauftragt werden soll.

Offenes Community-Netz: Offene Community-Netze bieten freien Zugang zu einem LoRaWAN-Netz, sind aber aufgrund von Sicherheits- und Datenschutzrisiken für die Zielgruppe Energieversorger wenig geeignet.

³D. h. Sigfox beschränkt die Datenübertragung auf maximal 140 Nachrichten mit jeweils maximal zwölf Zeichen (Bytes) pro Tag



Exkurs: IoT Sicherheit

Das Thema IT-Sicherheit gewinnt mit zunehmendem Vernetzungsgrad der Geräte auch im Fernwärmebereich an Bedeutung. An dieser Stelle soll daher auf eine Auswahl wichtiger Sicherheitsaspekte eingegangen werden.

Kommunikationstechnologien wie NB-IoT und LTE-M, die in den lizenzierten Frequenzbändern funken, profitieren von den etablierten LTE-Sicherheitsfunktionen wie der gegenseitigen Authentifizierung von Endgerät und Netz sowie der AES-Verschlüsselung. Für eine umfassende Ende-zu-Ende-Verschlüsselung ist der Einsatz von Virtual Private Networks (VPN) oder Datagram Transport Layer Security (DTLS) erforderlich. Darüber hinaus sollten kritische Benutzerdaten über die sichere Steuerungsebene übertragen werden. Ein weiteres wichtiges Sicherheitselement ist die SIM-Karte, die das Auslesen kryptographischer Informationen erheblich erschwert.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Mobilfunknetzen, bei denen der Datenverkehr in der Regel nur "über die Luft" verschlüsselt, im Kernnetz des Betreibers aber im Klartext transportiert wird, bietet LoRaWAN eine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung (AES) vom Endgerät bis zum Applikationsserver. Die Schwachstelle ist jedoch das Endgerät ohne Sicherheitselement. Somit ist das Auslesen von Sicherheitsschlüsseln sowie das Einschleusen von Schadsoftware potenziell möglich. Des Weiteren ist bei der Aktivierung von Endgeräten darauf zu achten, dass die Methode Over-The-Air-Activation (OTAA) anstelle von Activation By Personalization (ABP) verwendet wird. Als weiterer sicherheitsrelevanter Punkt gilt zudem der datensouveräne Betrieb in der eigenen Infrastruktur, mit den dazugehörigen Pflichten zur Cyber- und IT-Sicherheit. [45, 46]

Leitfaden zur Technologiewahl

Die Auswahl der geeigneten Funktechnologie ist bei der Vielzahl der Möglichkeiten nicht immer einfach. Aus diesem Grund wurde ein praktischer Leitfaden entwickelt, der den Auswahlprozess in drei Phasen strukturiert und mit gezielten Fragen unterstützt.

1. Initialisierungsphase

Zu Beginn ist es wichtig, den konkreten Anwendungsfall für die digitale Kommunikation zu analysieren: Wie sind die allgemeinen und individuellen Standortbedingungen? Welche technischen Anforderungen werden an die Kommunikationstechnologie gestellt? Diese sind sehr unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um ein einfaches Metering mit dem Ziel der Abrechnung, ein Monitoring des Netzes hinsichtlich Leckagen und Schlechtpunkten oder um Betriebsoptimierung handelt. Die Initialisierungsphase bildet daher die Grundlage für ein fundiertes Auswahlverfahren.

2. Auswahlverfahren

Auf Basis der zuvor definierten Anforderungen und Standortbedingungen wird im zweiten Schritt anhand gezielter Leitfragen die geeignete Kommunikationstechnologie ausgewählt.

Kabelgebundene Kommunikation:

Ist Glasfaser, DSL oder Powerline (Datenübertragung über die Stromleitung) in unmittelbarer Nähe bereits nutzbar und kann für die Kommunikation darauf zurückgegriffen werden? Ist der Anwendungsfall derart systemkritisch, dass eine leitungsgebundene Kommunikationskette vorhanden sein muss?

Datenübertragungsrate: Wie viele Daten sollen pro Zeiteinheit übertragen werden? Werden nur wenige Sensordaten und Steuersignale übertragen oder sollen auch datenintensive Aktivitäten wie z. B. Softwareupdates oder Bildübertragungen über Funk durchgeführt werden?

Echtzeitfähigkeit: Müssen Informationen mit minimaler Latenz übertragen werden? Bestehen hohe zeitliche Anforderungen an eine geringe Latenz, z. B. bei der Vermarktung von dezentralen Erzeugungsanlagen (z. B. BHKW) auf kurzfristigen Energiemärkten oder sind kritische Rückkopplungseffekte bei der Betriebsoptimierung zu berücksichtigen?

Zuverlässigkeit: Ist höchste Zuverlässigkeit der Datenübertragung vom Sender zum Empfänger erforderlich oder kann die Information im Zweifelsfall mit zwischenzeitlichen Datenausfällen übertragen werden, wie z.B. bei der Fernauslesung von Wärmezählerdaten aufgrund der zugrunde liegenden monatlichen/jährlichen Abrechnungszyklen?

Aufbau einer eigenen

Infrastruktur: Sind die Kosten pro Kommunikationsmodul z.B. aufgrund hoher Stückzahlen ein entscheidender Faktor? Gibt es spartenübergreifende Konzernrichtlinien und

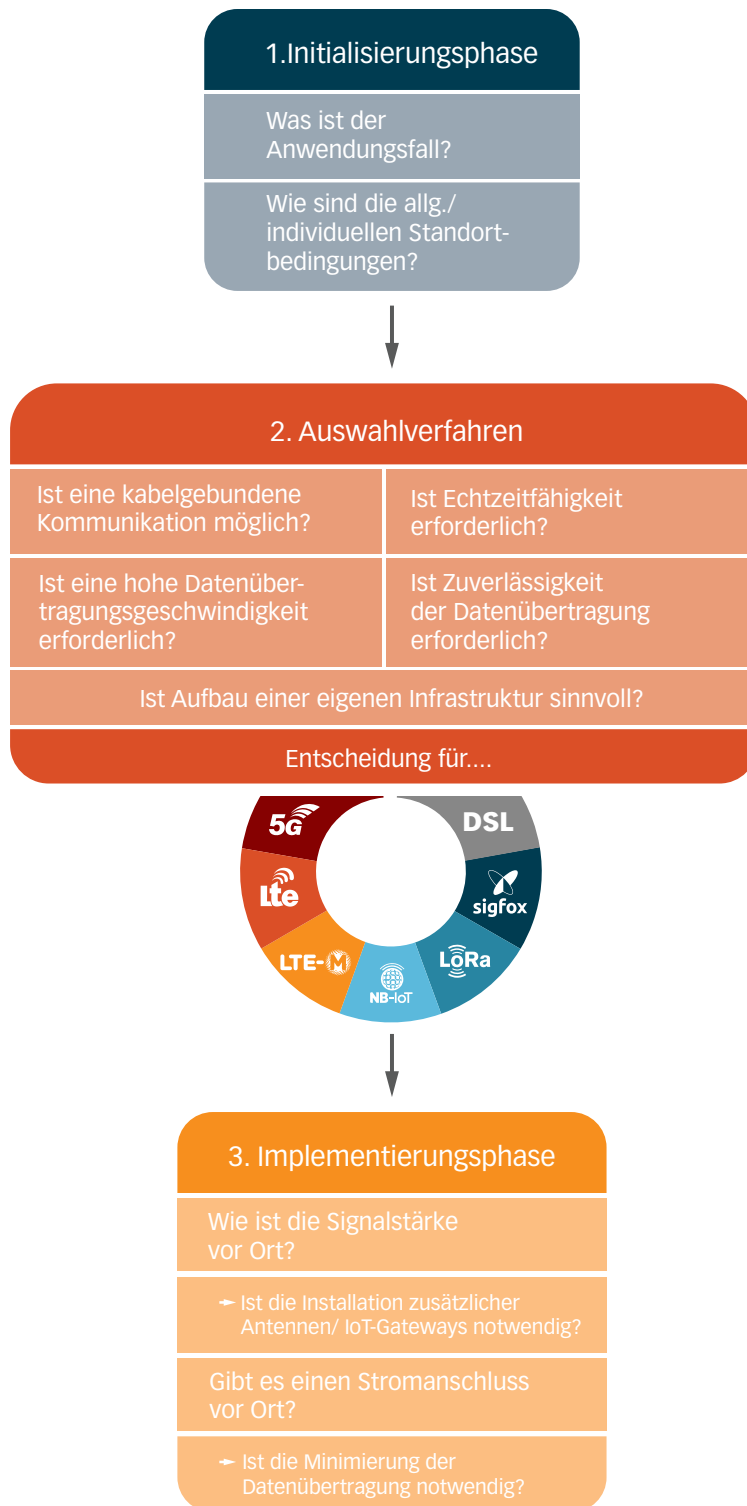


Abbildung 5
Die drei Phasen der Entscheidungsunterstützung mit ihren jeweiligen Leitfragen

-strategien, die bestimmte Kommunikationstechnologien bevorzugen oder ausschließen? Ist das Thema Souveränität von entscheidender Bedeutung und damit der Aufbau und Betrieb einer eigenen Infrastruktur mit hoher Gestaltungsfreiheit und geringen Abhängigkeiten wünschenswert? Sind die notwendigen IKT-Kompetenzen und das Know-how im Unternehmen vorhanden oder sollen Aufbau und Betrieb der Infrastruktur möglichst an Dienstleister ausgelagert werden bzw. soll die Lösung „Plug & Play“ fähig sein?

3. Implementierungsphase

Ist die Entscheidung für eine oder mehrere Funktechnologien gefallen, sind aus kommunikationstechnischer Sicht zwei weitere Punkte für die Implementierungsphase und die Kostenkalkulation relevant:

Signalstärke: Wie ist die Signalstärke vor Ort? Ist die Sende- und Empfangsqualität für meine Anwendung ausreichend? Empfehlenswert ist es, bei der Installation der Mess- bzw. Steuereinrichtung die Signalstärke vor Ort zu messen. Dies ist zum einen sinnvoll, um den idealen Installationsort des Kommunikationsmoduls zu ermitteln und zum anderen, um weiterführende Maßnahmen wie den Einsatz von Signalverstärkern, Antennen oder zusätzlichen IoT-Gateways zur Verbesserung der Netzabdeckung in kritischen Netzbereichen zu evaluieren. Bei einer hohen Anzahl von Standorten bietet es sich an, Referenzmessungen der Signalqualität nur an kritischen Standorten durchzuführen und bei Bedarf mit Gateways nachzuverdichten. Ergänzend dazu kann durch Abdeckungstest und Simulation eine graphische Abbildung der Netzabdeckung erzeugt werden.

Stromversorgung: Besteht für das Kommunikationsmodul vor Ort eine konstante Stromversorgung oder ist

auf einen Batteriebetrieb zurückzugreifen? Bei Batteriebetrieb sind im Gerät das Übertragungsintervall und Datenvolumen im Hinblick auf den Batterieverbrauch zu optimieren. Ziel ist die Maximierung der Batterielaufzeit und die Vermeidung häufiger Wartungsintervalle (Batteriewechsel) bei gleichzeitiger Erfüllung der Mindestanforderungen aus den Anwendungsfällen. Insbesondere bei der Fernauslesung von Wärmehählern ist eine Batterielaufzeit anzustreben, die der zugehörigen Eichfrist von sechs Jahren entspricht.

Die Leitfragen aus Abbildung 5 und die daraus resultierenden Antworten sind in einem zweiten Schritt mit den jeweiligen technischen Eigenschaften und Möglichkeiten der verschiedenen Kommunikationstechnologien aus Abbildung 3 abzugleichen. Um diesen Abgleich zu erleichtern, wurde aus den Fragen des Leitfadens ein Entscheidungsbaum (siehe Abbildung 6) entwickelt, an dessen Ende jeweils eine geeignete Kommunikationstechnologie steht.

Aus ökonomischer Sicht sind ergänzend zu den Leitfragen folgende Punkte zu berücksichtigen. Für einen kostengünstigen Betrieb empfehlen sich LPWAN-Technologien wie LoRaWAN und Sigfox sowie bei höheren Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Datenübertragung NB-IoT. Erst bei höheren technischen Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit sollte auf LTE-M oder LTE-450 sowie bei hohen Datenübertragungsraten auf 4G/5G zurückgegriffen werden. Denn diese höheren Anforderungen führen zu höheren Kosten pro Kommunikationsmodul. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Mobilfunktechnologien LTE 4G/5G natürlich ebenso wie LTE-M eine hohe Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit bieten - allerdings zu höheren Kosten und geringerer Energieeffizienz.

Messung der
Signalstärke vor
Ort empfehlens-
wert

Das Kriterium Gebäudedurchdringung, als auch die Netzabdeckung aus dem Technologievergleich (Abbildung 3) sind im Entscheidungsbaum unter dem Aspekt der Signalstärkenmessung repräsentiert. An dieser Stelle ist einerseits zu prüfen, ob für eine bereits gewählte Technologie eine zusätzliche Antenne oder ein Gateway installiert werden muss, andererseits ist auch die Option eines Technologiewechsels, z. B. aufgrund einer besseren Signalqualität, zu evaluieren. Hierzu bietet sich der Einsatz von Messequipment für die jeweilige Technologie an, z. B. ein Netztester für LTE oder ein Feldtester für LoRaWAN.

Im Entscheidungsprozess tritt bei der Wahl von LoRaWAN noch ein Sonderfall ein – denn es gilt als Energieversorger zu prüfen, ob a) der Aufbau einer eigenen Infrastruktur oder b) die Nutzung einer bestehenden Infrastruktur von einem Anbieter die geeignetere Lösung darstellt. Hier ist insbesondere eine Abschätzung über die zukünftigen Datenmessstellen zu tätigen sowie das Synergiepotenzial bei der Verknüpfung weiterer Sparten wie Strom, Gas und Verkehr zusätzlich zur Wärme zu bewerten. Bei einer hohen Anzahl von Messstellen in mehreren Sektoren bietet sich der Aufbau einer eigenen Infrastruktur an. Dies kann durch Know-how und Ressourcenaufbau eigenständig oder durch die Beauftragung eines spezialisierten Dienstleisters geschehen. Alternativ kann die Nutzung einer bestehenden Infrastruktur eines LoRaWAN-Netzbetreibers eine sinnvolle Option darstellen. Diese ist insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Komplexitätsreduktion, sowie bei Ressourcenengpässen und bei geringen wirtschaftlichen Mehrwerten aufgrund einer zu geringen Anzahl von Messstellen, relevant. Zu beachten ist, dass bei einer hohen Auslastung der LoRaWAN Infrastruktur, die Wahrscheinlichkeit von Datenverlusten steigt.

Abschließend sollte bei der Implementierung der Kommunikationslösungen auf eine dem Anwendungsfall und den Standortbedingungen angepasste Einrichtung der Datenverbindung geachtet werden. Konkret ist insbesondere im Batteriebetrieb des örtlichen Sensors bzw. Messtelle darauf zu achten, dass die Übertragungsintervalle und die Nachrichtengröße auf ein Minimum reduziert wird.

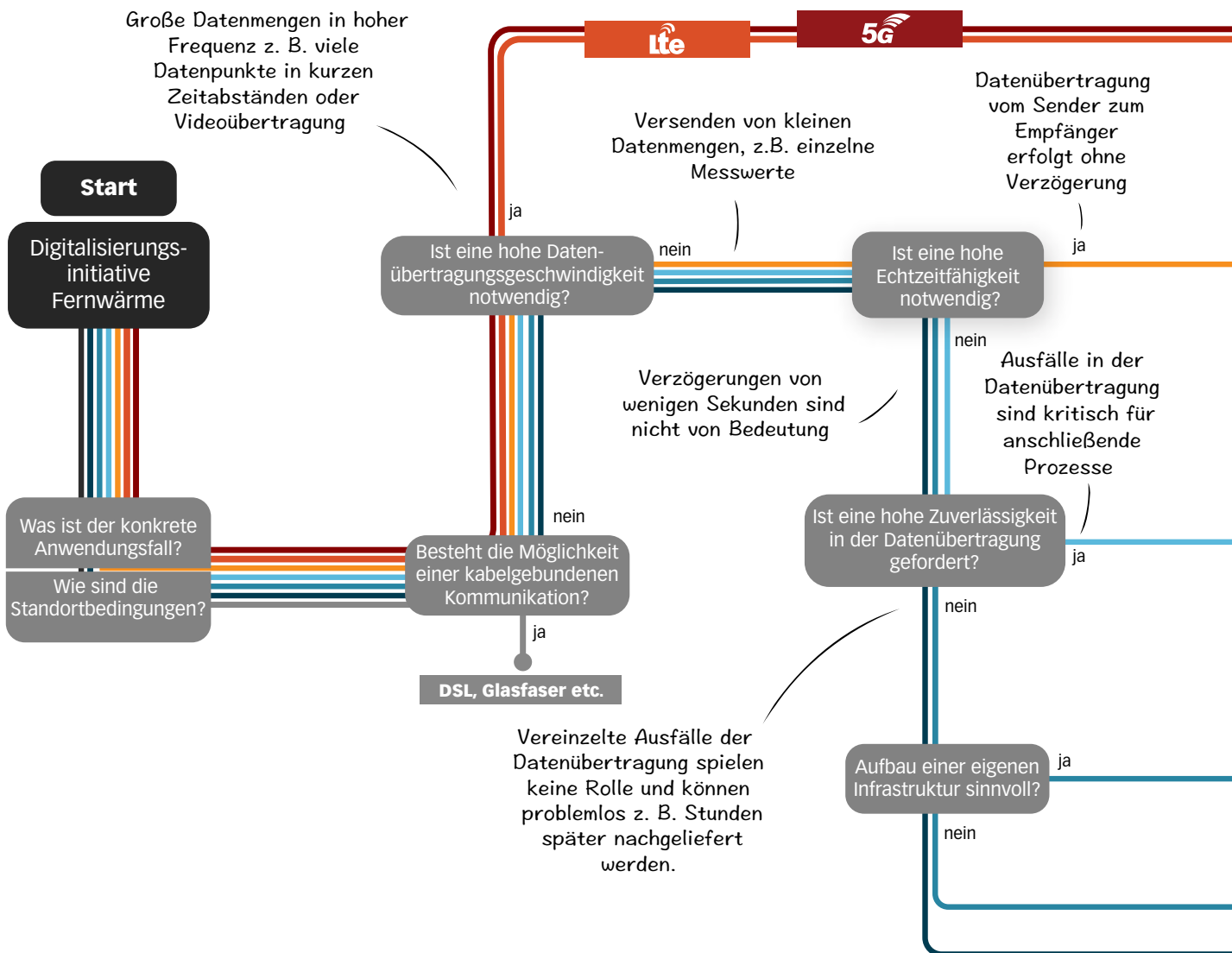
Zur Veranschaulichung der Entscheidungshilfe, wird im Folgenden anhand von drei exemplarischen Anwendungsfällen der Auswahlprozess in seinen drei Phasen skizziert. Die dargestellten technischen Anforderungen sollen dabei der Illustration dienen und entsprechen nicht zwangsläufig denen eines jeden Fernwärmebetreibers. Die Anforderungen entsprechen zum Teil der Praxis, teilweise wurde jedoch auch ein fiktives Stadtwerk unterstellt, um auch zukünftige mögliche Entwicklungen zu berücksichtigen.

Eigene Infrastruktur als strategische Entscheidung

Exkurs: IoT Signalqualität

Die zugrunde liegende Signalqualität wird z. B. durch den RSRP-Wert (engl. Reference Signal Received Power) gemessen. Als Faustregel gilt: RSRP-Werte zwischen -50 und -80 dBm deuten auf gute Empfangsbedingungen hin, während Werte zwischen -100 und -140 dBm auf Störungen oder eine schlechte Netzabdeckung hindeuten. Alternativ kann auch der RSSI-Wert (Received Signal Strength Indication) als Indikator herangezogen werden. Auch hier sollten Werte über -80 dBm erreicht werden, unter -95 dBm ist mit Verbindungsabbrüchen zu rechnen [47].

Entscheidungsbaum



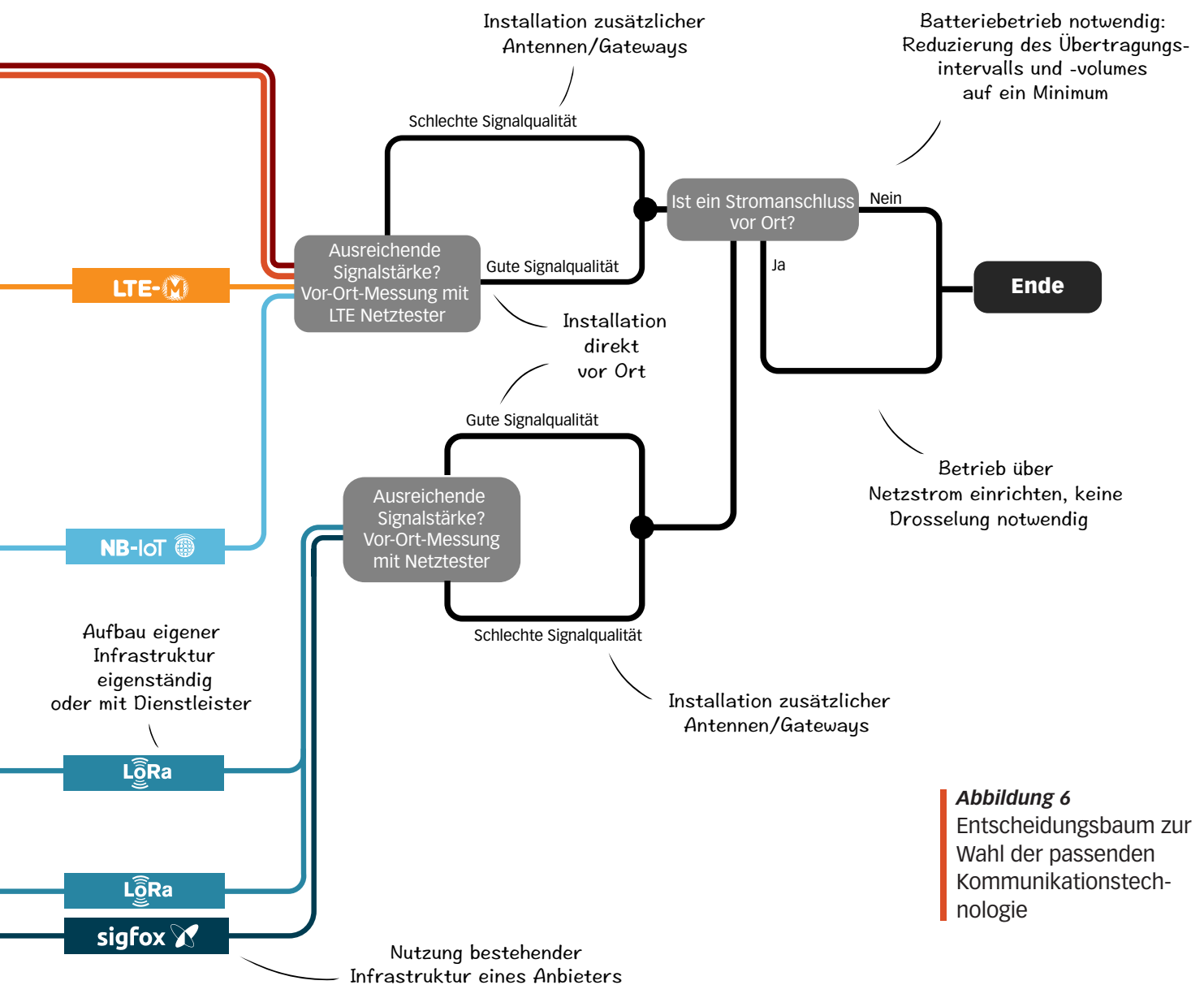
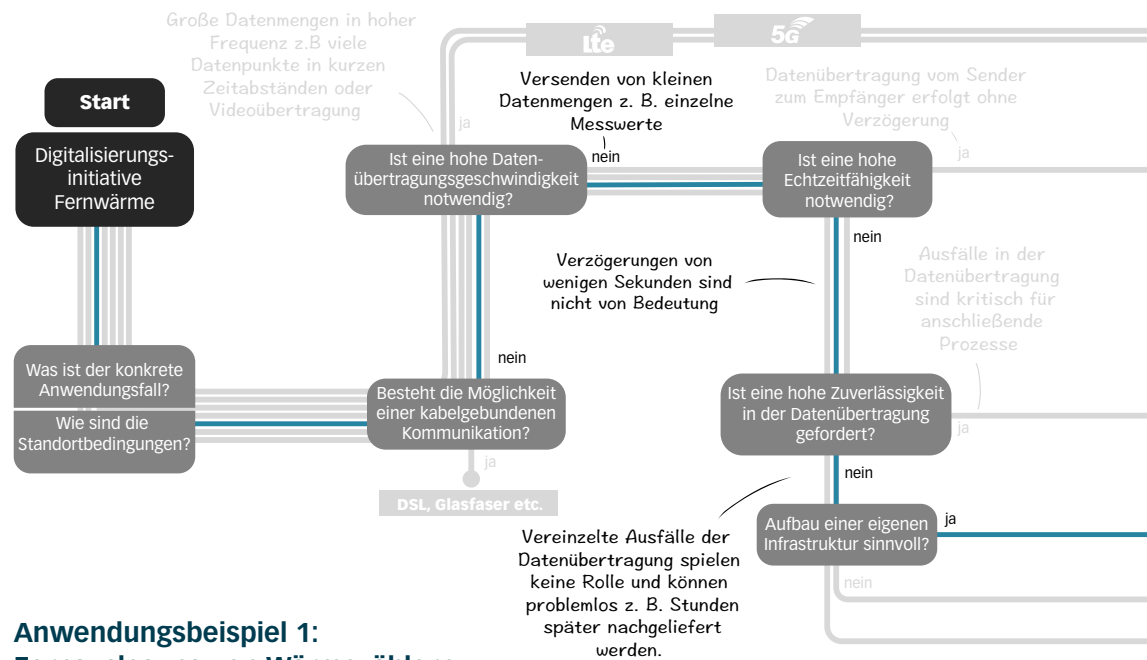


Abbildung 6
Entscheidungsbaum zur Wahl der passenden Kommunikationstechnologie



Anwendungsbeispiel 1: Fernauslesung von Wärmezählern

Kurzbeschreibung

Zur Erfüllung der FFVAV ist für ein beispielhaftes mittelgroßes regionales Stadtwerk der Einbau von fernauslesbaren Wärmezählern verpflichtend, d.h. die Zählerwerte können ohne Zutritt zu den Nutzeinheiten eines Gebäudes erfasst und weiterverarbeitet werden. Konkret wird die Wärmemenge am Wärmezähler der Hausstation gemessen und in zu definierenden Intervallen an das Stadtwerk übertragen, um sie dem Kunden als Verbrauchsinformation oder Abrechnung zur Verfügung zu stellen [4]. Darüber hinaus eignet sich die Kommunikationsinfrastruktur, um weitere Daten (u. a. Vor- und Rücklauftemperaturen) zu erfassen und für entsprechende Anwendungen zu nutzen, wie z. B. die Erkennung von Anomalien auf der Verbraucherseite sowie die Identifikation von Fehlern oder Optimierungspotenzialen.

Standortbedingungen & Anforderungen

- Messungen erfolgen üblicherweise in Kellerräumen, weshalb eine hohe Gebäudedurchdringung erforderlich ist. Da in der Regel kein Stromanschluss zur Verfügung steht, ist eine Batteriebensdauer anzustreben, die der dazugehörigen Eichfrist von sechs Jahren entspricht [48]. Ausnahme: die Hausstation befindet sich im Eigentum des Fernwärmever sorgungsunternehmens und ermöglicht einen direkten Stromanschluss.
- Übertragung lediglich von Zählerständen (Wärmemenge), kein Softwareupdate an der Messstelle nötig d. h. aufgrund der geringen Datenmenge ist keine hohe Datenrate erforderlich.
- Echtzeitfähige Kommunikationstechnologie ist für Kundeninformation, Abrechnung und einfache Erkennung von Verbrauchsanomalien nicht erforderlich.

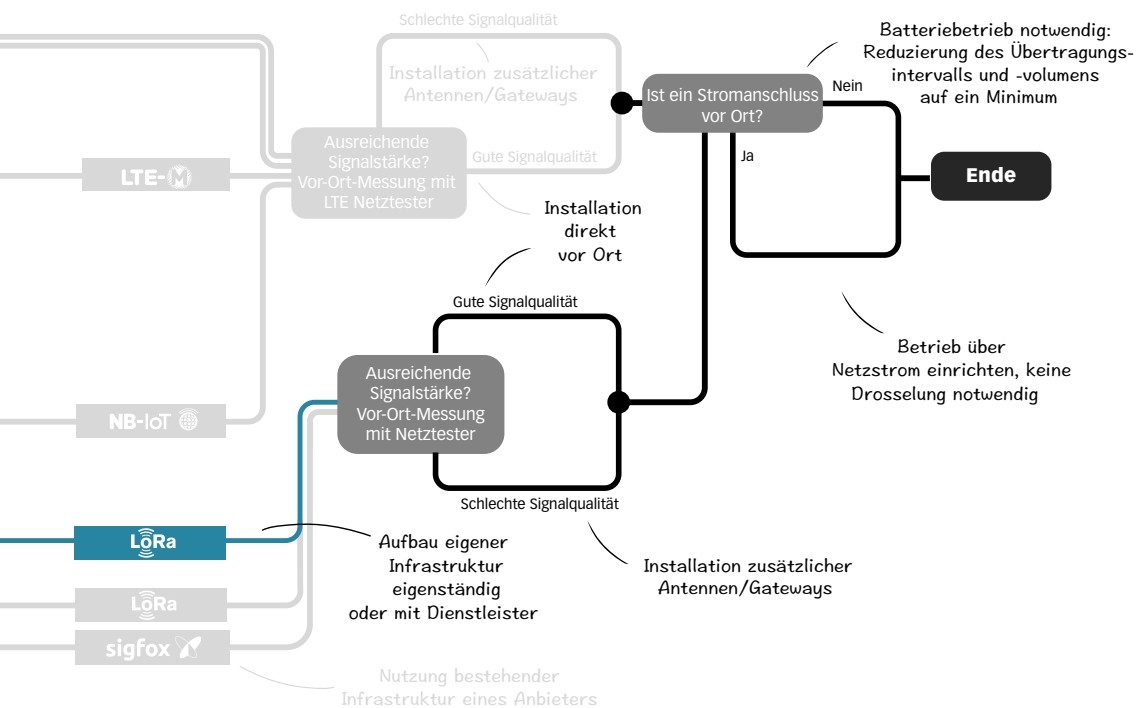


Abbildung 7
Entscheidungsbaum für
das Beispiel
Fernauslesung von
Wärmezählern

- Im Fernwärmenetz benötigt perspektivisch jeder Kunde einen fernauslesbaren Wärmezähler, entsprechend hoch sind die Stückzahlen der eingesetzten Geräte und der damit verbundene Kostendruck.
- Strategisch möchte das beispielhafte Stadtwerk Ressourcen und Know-How für den Aufbau einer eigenen Infrastruktur für die Sparten Fernwärme, Strom und Gas aufbauen.

Technologiewahl

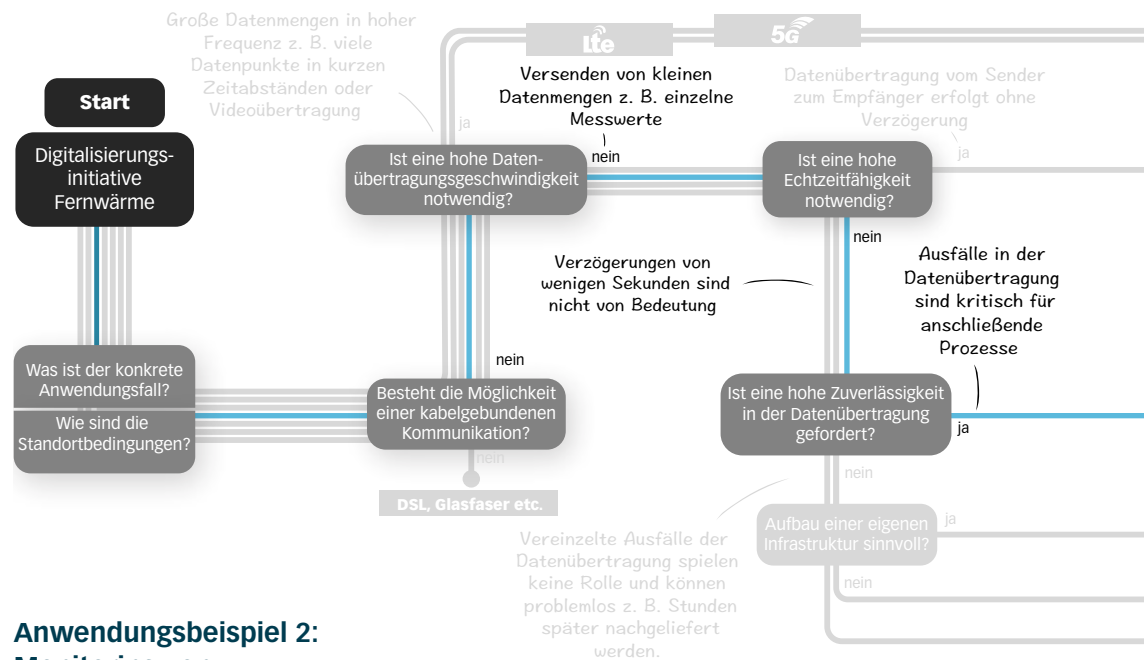
Für den hier beispielhaft skizzierten Anwendungsfall „Fernauslesung von Wärmezählern“ ist unter den angenommenen Randbedingungen aus technologischer Sicht der Einsatz von LoRaWAN zu empfehlen. Dies liegt, wie im nachfolgend skizzierten Entscheidungsprozess (siehe Abbildung 7) dargestellt, an den geringen Anforderungen hinsichtlich Datenrate, Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit. Aufgrund der hohen Anzahl an Messstellen und den damit verbundenen Kosten ist die Möglichkeit des Aufbaus und Betriebs einer eigenen

Infrastruktur für den Energieversorger von großer Bedeutung.

Implementierungsvorbereitung

Als mittelständisches, regionales Energieversorgungsunternehmen fällt die Entscheidung für den Aufbau einer eigenen LoRaWAN-Infrastruktur in Kooperation mit einem erfahrenen Dienstleister. Dabei soll eine spartenübergreifende IoT-Datenplattform aufgebaut werden. In der Planungsphase wird parallel die optimale Platzierung möglicher LoRaWAN Gateways ermittelt. Dabei stellt sich heraus, dass für einige wenige entlegene Standorte zusätzlich die Nutzung von NB-IoT interessant ist, da so zusätzliche Mehrkosten für die Gateways vermieden werden können.

Hinsichtlich der Stromversorgung der Messeinrichtungen geht der Energieversorger von einem Batteriebetrieb aus. Um sowohl einen energiesparenden Betrieb als auch die Möglichkeit eines Verbrauchsmonitorings zu gewährleisten, plant er derzeit mit einer einmal täglichen Datenübertragung.



Anwendungsbeispiel 2: Monitoring von Netzschlechtpunkten

Kurzbeschreibung

Der hydraulische Netzschlechtpunkt ist die Stelle mit dem niedrigsten Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf in einem Fernwärmenetz. Dieser Netzschlechtpunkt ist die Stelle im Netz mit dem höchsten Risiko eines Versorgungsengpasses. Das beispielhafte Stadtwerk hat diese Differenzdrücke bisher manuell und analog abgelesen und möchte sie zukünftig digital erfassen und regelmäßig per Funk übertragen. Ziel ist es, ein digitales Monitoring der Netzschlechtpunkte aufzubauen, um das Unterschreiten eines Differenzdruckschwellwertes schnell zu erkennen und darauf aufbauend den Pumpenbetrieb zu optimieren. Die Parametrierung der Pumpen für eine optimale und energieeffiziente Fahrweise erfolgt dabei im Gegensatz zu Anwendungsbeispiel 3 manuell durch eine technische Fachkraft.

Standort und Anforderungen

- Messung der Differenzdrücke an Erzeugungsstandorten, aber auch in Schächten oder Übergabestationen im Keller des Kunden, was eine hohe Gebäudedurchdringung erfordert. Eine kabelgebundene Kommunikation ist in den meisten Fällen nicht möglich, teilweise ist kein Stromanschluss vorhanden.
- Keine Echtzeitfähigkeit und hohe Datenrate erforderlich. Kleine Datenpakete, je nachdem, ob neben dem Differenzdruck an der Messstelle weitere Datenpunkte hinzugefügt werden. Ein Software-Update an der Messstelle ist zukünftig nicht nötig bzw. kann im Notfall manuell durchgeführt werden.
- Übertragung der Sensordaten alle 15 Minuten, außer wenn ein individueller Grenzwert für den erforderlichen Differenzdruck unterschritten wird. In diesem Fall wird eine Alarmfunktion ausgelöst und der Wert direkt übertragen.

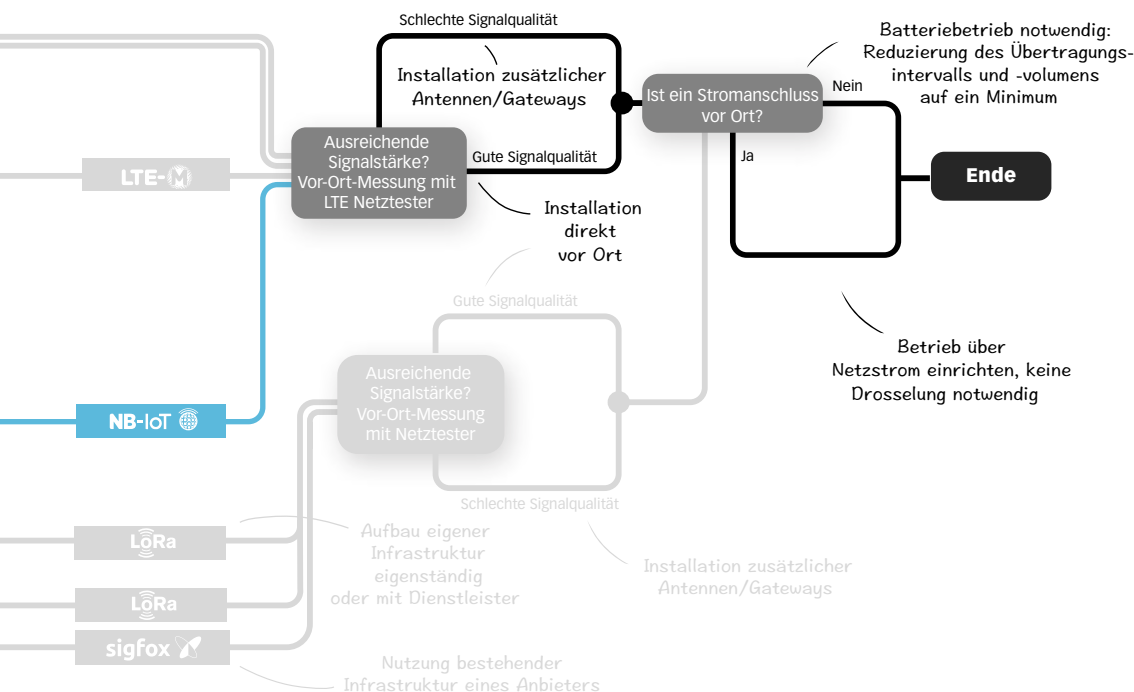


Abbildung 8
Entscheidungsbaum für
das Beispiel
Monitoring von Netz-
schlechtpunkten

Eine hohe Zuverlässigkeit der Datenübertragung ist daher wichtig, um eine rechtzeitige Nachjustierung der Pumpen vornehmen zu können.

- Installation von Sensoren und Kommunikationsmodulen in geringen Stückzahlen, daher geringe bis mittlere Kostensensitivität.

Technologiewahl

Für den Anwendungsfall „Schlechtpunktmessung“ hat sich das Stadtwerk aufgrund der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit, die mit LoRaWAN nicht ausreichend erfüllt werden, technologisch für NB-IoT entschieden (siehe Abbildung 8). In den nächsten Jahren erwägt das Stadtwerk zudem einen Wechsel zu LTE-450, um beispielsweise Störungen durch Überlastungen des Mobilfunknetzes zu vermeiden. Der Mehrwert des Technologiewechsels auf LTE-450 soll in exemplarischen Feldtests evaluiert werden.

Implementierungsvorbereitung

An den für die Schlechtpunktmessung identifizierten relevanten Standorten (u.a. Schächte und Keller an den Hausstationen) wurde von unserem Beispielstadtwerk eine Messung der Signalstärke durchgeführt. Aufgrund der ermittelten Signalqualität (siehe Exkurs: Signalqualität, S.19) war in einigen Fällen mit Verbindungsabbrüchen zu rechnen, weshalb zusätzlich eine Antenne zur Signalverstärkung vorgesehen ist. Aufgrund der hohen Relevanz für den Netzbetrieb und der mit einem Batteriebetrieb verbundenen Einschränkungen der Übertragungsintervalle stellt das Beispielstadtwerk an allen Messstellen einen Stromanschluss zur Verfügung.

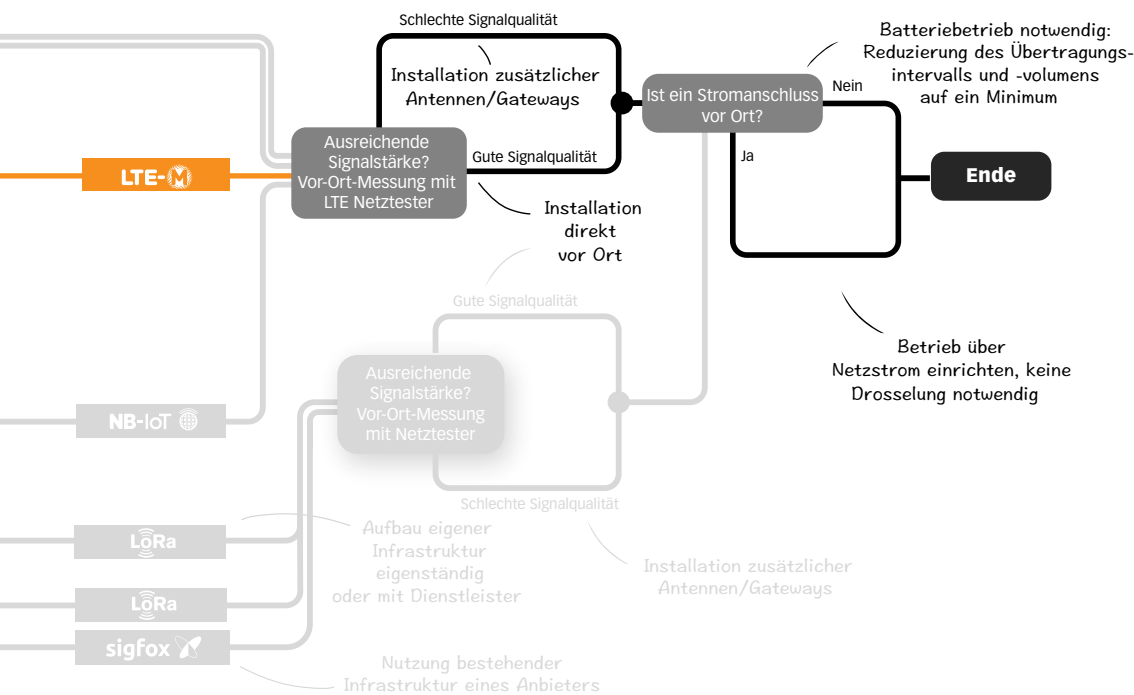


Abbildung 9
Entscheidungsbaum für das Beispiel automatisierter Pumpenbetrieb

- Zuverlässigkeit der Kommunikationsverbindung entscheidend für effizienten Betrieb.
- Moderater Kostendruck aufgrund geringer Stückzahlen, anschlussfähig an Anwendungsbeispiel 2.
- Implementierung der Steuerung und der Messungen in die bestehende Leittechnik.

Technologieauswahl

Im Vergleich zum Anwendungsfall 2 „Monitoring von Netzschlechtpunkten“ ist in diesem Fall eine höhere Echtzeitfähigkeit gefordert. Zudem ist die Datenmenge aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung stark angestiegen. Das beispielhafte Fernwärmeversorgungsunternehmen entscheidet sich aufgrund der geringen Latenz und der für den Anwendungsfall moderaten Datenrate für LTE-M (siehe Abbildung 9). Zukünftig sieht das Fernwärmeunternehmen mit dem fortschreitenden Ausbau der 450 MHz Infrastruktur LTE-450 als Technologie

der Wahl, aufgrund der besseren Gebäudedurchdringungseigenschaften sowie einer Anwendungspriorisierung nach Kritikalität.

Implementierungsvorbereitung

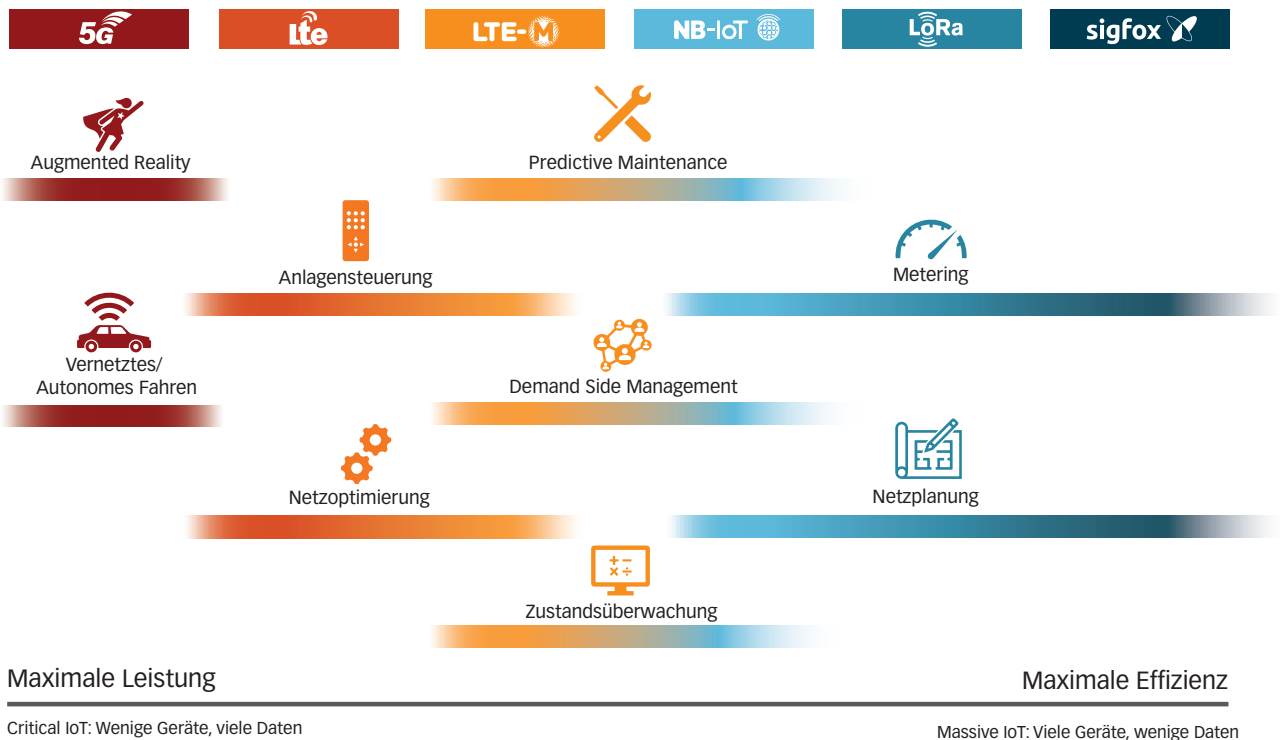
Aufgrund der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Datenübertragung wurde eine Messung der Signalqualität vor Ort durch das beispielhafte Versorgungsunternehmen durchgeführt. Da diese nicht an allen Standorten ausreichend war, wurde die Installation einer zusätzlichen Antenne oder eines Gateways zur Signalverstärkung notwendig. Zusätzlich wurde für alle Kommunikations-Gateways ein Stromanschluss vorgesehen, um einen sicheren und hochfrequenten Betrieb zu gewährleisten. Im weiteren Verlauf sind zudem Untersuchungen zu den übertragenen Datenmengen geplant, um einen geeigneten und kostengünstigen Datenvolumentarif für LTE-M/450 mit dem jeweiligen Anbieter abzuschließen.

Zusammenfassung der Kernaussagen

Die acht wichtigsten Erkenntnisse aus dem Technologiescreening, die bei der Entscheidung für eine geeignete drahtlose Kommunikationstechnologie im Kontext der Fernwärme zu berücksichtigen sind:

1. Die Technologiewahl zur Datenkommunikation ist abhängig vom Anwendungsfall, den technischen Anforderungen, den Standortbedingungen und den Kosten. In der Umsetzung spielen zudem die vorhandenen Ressourcen, mögliche Synergien und Skalierungseffekte mit anderen Sparten bei den jeweiligen Energieversorgern eine wichtige Rolle. Zudem ist die Option eines Parallelbetriebs mehrerer Technologien wie bspw. LoRaWAN und Mobilfunk zu berücksichtigen.

in Echtzeit übertragen werden müssen. Geeignete Anwendungsfälle, wie z. B. die Unterstützung der Wartung durch Augmented Reality, sind mittelfristig denkbar.
2. Bei den betrachteten Kommunikationstechnologien lag der Schwerpunkt auf den Funktechnologien mit hoher Reichweite und Marktreife in Deutschland. Eine leitungsgebundene Kommunikationsmöglichkeit ist den Funktechnologien hinsichtlich Zuverlässigkeit, Wartung, Datenübertragungsrate etc. oft überlegen. Soweit eine Umsetzung wirtschaftlich und organisatorisch möglich ist, sind daher kabelgeführte Kommunikationstechnologien zu bevorzugen.
3. Die neueste Mobilfunkgeneration 5G ist aufgrund der hohen Kosten im Vergleich zu LPWAN-Technologien nur dann sinnvoll, wenn höchste Performance gefordert ist, also sehr große Datenmengen
4. Für Anwendungen mit Steuerungseingriffen im Wärmenetzbetrieb, z. B. zur Regelung von Pumpen, Wärmeverbrauchern, empfehlen sich Technologien mit hoher Zuverlässigkeit und geringer Verzögerung bei der Datenübertragung. Je nach Installationsort und Umfang der zu übertragenden Daten ist entweder 4G oder alternativ LTE-M/450 besser geeignet.
5. Für die kontinuierliche Bereitstellung von Informationen zur Zustandsüberwachung mit Alarmfunktion, wie z. B. die Früherkennung von Schäden und Leckagen, ist eine hohe Zuverlässigkeit erforderlich. Dies gilt auch für das Monitoring von Netzschlechtpunkten zur Vermeidung von Versorgungsengpässen oder für Anwendungen der prädiktiven Wartung. Je nach Datenmenge oder geforderter Energieeffizienz sind NB-IoT und LTE-M/450 eine gute Wahl.



6. Bei der Fernauslesung von Wärmehählern spielen, aufgrund der hohen Geräteanzahl, die Kosten pro Messstelle sowie ein geringer Energieverbrauch im Batteriebetrieb eine wichtige Rolle. Neben dem primären Zweck der Abrechnung und Kundeninformation, können die erhobenen Daten zur Erkennung von Anomalien (z. B. fehlerhafte oder erhöhte Werte) und zum Ableiten geeigneter Maßnahmen genutzt werden. Ebenso unterstützen die in digitaler Form vorliegenden historischen Verbrauchsdaten die zukünftige Netzausbauplanung. Für die Fernauslesung von Wärmehählern bieten sich insbesondere die Technologien LoRaWAN und Sigfox an.

7. Bei der späteren Umsetzung können die Energieversorger in der Regel auf bestehende Infrastrukturen zurückgreifen - hierfür ist der Abschluss von Daten- bzw. Connectivity-Abonnements erforderlich, bei Mobilfunk zusätzlich eine SIM-Karte. Alternativ besteht bei LoRaWAN die Möglichkeit, eine eigene Infrastruktur aufzubauen und zu betreiben.
8. Für alle Kommunikationstechnologien wird empfohlen, die örtlichen Empfangsbedingungen und die Signalstärke zu testen. Gegebenenfalls ist ein Technologiewechsel oder die Installation zusätzlicher Gateways oder Antennen erforderlich.

Abbildung 10
Vergleich der Technologien hinsichtlich ihrer Eignung für verschiedene fernwärmespezifische Anwendungsfälle, abgeleitet aus den jeweiligen technischen Eigenschaften und den zu erwartenden Anforderungen.

Hintergrund zur Entstehung

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert mit dem National 5G Energy Hub mögliche Anwendungen des 5G Mobilfunkstandards in der Energietechnik. In dem dazugehörigen Satellitenprojekt „DigiHeat - Digitalisiertes Wärmekraftwerk für eine effizientere urbane Fernwärmeversorgung“ wurde u.a die vorliegende Entscheidungshilfe entwickelt.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert seit 2018 den National 5G Energy Hub (N5GEH). Das Projekt befasst sich mit der Einführung zukunftsweisender Kommunikationsstandards in der Energietechnik. Neben dem Fokus auf den Mobilfunkstandard der fünften Generation verfolgt es das Ziel, Digitalisierungs- und Anwendungsroutinen zu schaffen und neue Technologien für die Energiewende zu entwickeln. In der ersten Projektphase wurden bis 2020 grundlegende softwaretechnische Strukturen erarbeitet. Diese umfassen die wesentlichen Elemente der Datenerfassung, Datenübertragung, Datenspeicherung und Datenvisualisierung. Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen können von der Serviceplattform profitieren und gleichzeitig spezielle energie-wirtschaftliche Anwendungsfälle mit spezifischen Herausforderungen und Anforderungen zurückspeigeln.

Eines dieser Satellitenprojekte ist das BMWK geförderte Forschungsvorhaben „Digitalisiertes Wärmekraftwerk für eine effizientere urbane Fernwärmeversorgung – DigiHeat“ (FKZ: 03EN3065). In diesem untersucht die AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, gemeinsam mit den Verbundpartnern Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), Danfoss GmbH, Stadtwerke Gießen

AG, Stadtwerke Hanau GmbH und Stadtwerke Marburg GmbH wie Technologien zur Datenübertragung und -verarbeitung im Fernwärmesektor effizient eingesetzt werden können. Das Vorhaben kombiniert hierbei konkrete Digitalisierungsmaßnahmen der drei beteiligten Stadtwerke mit der Entwicklung und Praxiserprobung des innovativen Konzepts eines „Digitalisierten Wärmekraftwerks“ (DWK). Virtuelle Kraftwerke sind bisher aus dem Stromsektor bekannt und bezeichnen die Zusammenschaltung verschiedener Verbraucher und Erzeuger, um durch Pooling-Effekte Lasten und Erzeugung aneinander abzustimmen, Spitzenlasten zu glätten und so eine effizientere Stromversorgung zu ermöglichen. Im Projektkontext werden unter dem DWK Digitalisierungsmaßnahmen im gesamten Fernwärmesystem einschließlich Verteilung und Verbrauch verstanden. Die betriebliche Optimierung dezentraler und verteilter Erzeuger als übergeordnetes Ziel bleibt im DWK-Konzept erhalten.



Teilziel des Forschungsvorhabens DigiHeat ist es, die verfügbaren und im Fernwärmekontext relevanten Kommunikationstechnologien hinsichtlich ihrer Unterschiede systematisch zu untersuchen und für einen Vergleich detailliert aufzubereiten. Dieser Vergleich soll Energieversorgungsunternehmen als Entscheidungshilfe bei der Auswahl, der für den jeweiligen Anwendungsfall und Unternehmenskontext geeigneten Kommunikationstechnologie unterstützen. Das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystem-

technik (IEE) hat dazu ein Technologiescreening mit Fokus auf drahtlose M2M-Kommunikationstechnologien mit hoher Reichweite durchgeführt. Neben den bekannten, auf hohe Datenraten ausgerichteten LTE-Mobilfunktechnologien 4G und 5G wurden insbesondere die unter dem Aspekt der Energieeffizienz entwickelten Low Power Wide Area Networks (LPWAN) Netzwerktechnologien wie LTE-M, NB-IoT, LoRaWAN und Sigfox untersucht. Das Endergebnis ist die vorliegende Projektbroschüre.

Weitere Informationen

fernwärme
digital



fernwaerme-digital.de

n5Geh



n5geh.de

DIGIHEAT



iee.fraunhofer.de/digiheat

Literaturverzeichnis

- [1] UMWELTBUNDESAMT: Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>
- [2] Bundes-Klimaschutzgesetz (2019). URL <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>
- [3] SCHMIDT, D.: Guidebook for the Digitalisation of District Heating: Transforming Heat Networks for a Sustainable Future, Final Report of DHC Annex TS4. Kassel, 2023
- [4] Verordnung über die Verbrauchserfassung und Abrechnung bei der Versorgung mit Fernwärme oder Fernkälte (Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung - FFVAV) (2023). URL <https://www.gesetze-im-internet.de/ffvav/BJNR459110021.html>
- [5] ARBEITSGEMEINSCHAFT QM FERNWÄRME: Planungshandbuch Fernwärme. URL https://www.verenum.ch/Dokumente/PHB-FW_V1.3a.pdf
- [6] GUELPA, E. ; VERDA, V.: Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review. In: Energy 219 (2021). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220325470?via%3Dihub>
- [7] GOULART, A. ; CHENNAMANENI, A. ; TORRE, D. ; HUR, B. ; AL-ABOOSI, F. Y.: On Wide-Area IoT Networks, Lightweight Security and Their Applications—A Practical Review. In: Electronics 11 (2022), Nr. 11. URL <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/11/1762>
- [8] OMDIA: LPWAN IoT connections to grow 23% CAGR from 2022 to 2028, driven by growth in NB-IoT and LoRaWAN technologies. URL <https://omdia.tech.informa.com/pr/2023/apr/omdia-lpwan-iot-connections-to-grow-23-cagr-from-2022-to-2028-driven-by-growth-in-nb-iot-and-lorawan-technologies>
- [9] KAMSTRUP: Kommunikationstechnologien. URL <https://www.kamstrup.com/de-de/insights/kommunikationstechnologien-wasser>
- [10] ZENNER: Mobiles wireless M-Bus Funksystem Opera. URL https://zenner.de/products/sys_wireless_m-bus-funksystem/
- [11] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.: Kommunikationssysteme für Zähler - Teil 2: Drahtgebundene M-Bus-Kommunikation; Deutsche Fassung EN 13757-2:2019. URL <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschusse/nhrs/veroeffentlichungen/wdc-beuth:din21:306311086>
- [12] MIOTY ALLIANCE: Discover the future of IoT. URL <https://mioty-alliance.com/miotytechnology/>

- [13] LORIIOT: mioty. URL <https://loriiot.io/mioty.html>
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ: Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (idF v. BGBl. 2023 I Nr. 133) (2023). URL <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/133/VO.html>
- [15] DEUTSCHE TELEKOM AG: NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox: ein aktueller Vergleich (2021). URL <https://iot.telekom.com/de/downloads/mobile-iot-netzwerk-vergleich-nb-iot-lorawan-sigfox>
- [16] DEUTSCHE TELEKOM IOT GMBH: NarrowBand IoT / LTE-M : Die Maschinen- und Sensorennetze. URL <https://iot.telekom.com/de/netze-tarife/narrow-band-iot-lte-m>
- [17] O2 BUSINESS: Mobilfunknetze für das Internet der Dinge – LPWAN. URL <https://www.o2business.de/iot/iot-wissen/iot-technologie/iot-lpwan/>
- [18] WOSTAL, L.: Was NB-IoT, LTE-M von Sigfox und LoRa unterscheidet. URL <https://businessblog.magenta.at/iot/was-nb-iot-lte-m-von-sigfox-und-lora-unterscheidet/>
- [19] SIGFOX: Sigfox 0G Technology. URL <https://www.sigfox.com/>
- [20] LORA ALLIANCE: Technology Comparisons. URL <https://resources.lora-alliance.org/technology-comparisons>
- [21] INSTASOLUTION AG: instalOT: Die Internet of Things (IoT) Lösung (2019). URL https://instasolution.ch/wp-content/uploads/2019/06/20191010_iS_instalOT.pdf
- [22] POWUNITY: Sigfox, LoRa – Unabhängige Funknetze für den Datenaustausch? Das steckt dahinter! URL <https://powunity.com/sigfox-lora-unabhaengige-funknetze-fuer-den-datenaustausch>
- [23] GADDAM, S. C. ; RAI, M. K.: A Comparative Study on Various LPWAN and Cellular Communication Technologies for IoT Based Smart Applications. In: 2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR) : IEEE, 2018, S. 1–8
- [24] MEKKI, K. ; BAJIC, E. ; CHAXEL, F. ; MEYER, F.: Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. In: Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT : Athens, Greece, 19-23 March 2018. Piscataway, NJ : IEEE, 2018, S. 197–202
- [25] MEKKI, K. ; BAJIC, E. ; CHAXEL, F. ; MEYER, F.: A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. In: ICT Express 5 (2019), Nr. 1, S. 1–7
- [26] LINNEMANN, M. ; BROCKMANN, R. ; SOMMER, A. ; LEUFKES, R.: 450 MHz - Frequenz für kritische Infrastrukturen : Vorteile und Nutzen für Versorgungsunternehmen : Springer Vieweg, 2022 (essentials)

- [27] BROLL, R. ; JAHNS, C. ; KURTZ, F. ; LINDNER, M. ; SCHURTZ, A. ; REHTANZ, C. ; WEBER, C. ; WIETFELD, C.: Digitale Systeme und Dienste für die Energiesystemtransformation. URL <https://eldorado.tu-dortmund.de/handle/2003/40026>
- [28] 450CONNECT: Geschäftsmodell: Ein Kommunikationsnetz für Betreiber kritische Infrastrukturen. URL <https://www.450connect.de/ueber-450connect/geschaeftsmodell>
- [29] SÖRRIES, B. ; LUCIDI, S.: Gutachten - Digitalisierung der Energiewende : TK-Netzinfrastruktur und TK-Regulierung. URL https://www.wik.org/fileadmin/files/_migrated/news_files/digitalisierung-der-energiewende.pdf
- [30] LINNEMANN, M. ; SOMMER, A. ; LEUFKES, R.: Einsatzpotentiale von LoRaWAN in der Energiewirtschaft : Praxisbuch zu Technik, Anwendung und regulatorischen Randbedingungen : Springer Vieweg, 2019
- [31] TELEKOM: Karte zur Netzabdeckung von NB-IoT und LTE-M. URL <https://t-map.telekom.de/tmap2/mobileiot/>
- [32] HELIOT EUROPE: 0G-Technologie erreicht 90 Prozent Netzabdeckung in Deutschland. URL <https://www.heliotgroup.com/0g-technologie-erreicht-90-prozent-netzabdeckung-in-deutschland/>
- [33] HELIOT EUROPE: Standortprüfung zur Netzabdeckung von Sigfox. URL <https://coverage.heliotgroup.com/>
- [34] SIGFOX: 0G NETWORK COVERAGE. URL <https://www.sigfox.com/coverage/>
- [35] SCHMIDIGER FUNKLÖSUNGEN: IoT (Internet of Things) – Welche Funktechnologien setzen sich durch? URL <https://www.schmidiger.ch/blog/funk-technologien-im-internet-of-things>
- [36] SAUTER, M.: Grundkurs mobile Kommunikationssysteme : 5G New Radio und Kernnetz, LTE-Advanced Pro, GSM, Wireless LAN und Bluetooth. 8. Auflage : Springer Vieweg, 2022
- [37] BUNDESNETZAGENTUR: Allgemeinzuweisung von Frequenzen zur Nutzung durch Funkanwendungen geringer Reichweite (SRD) : Vfg 133 / 2019, geändert durch Vfg 12 / 2020. URL https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/FunkanlagenGeringerReichweite/2018_05_SRD_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [38] LIN, X. (Hrsg.); LEE, N. (Hrsg.): 5G and Beyond : Fundamentals and Standards. 1. Aufl. Cham : Springer International Publishing; Imprint Springer, 2021 (Springer eBook Collection)
- [39] 450CONNECT: Ausfallsichere Kommunikation für kritische Infrastrukturen. URL <https://www.450connect.de/lte-m-pilot-in-den-niederlanden>
- [40] BUNDESNETZAGENTUR: Mobilfunk-Monitoring. URL <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/start.html>

- [41] HELIOT EUROPE: Wie gut ist das Sigfox-Netz an Ihrem Standort? : Interaktive Karte zur Netzabdeckung. URL <https://www.heliotgroup.com/coverage/>
- [42] HOSSAIN, M. I. ; MARKENDAHL, J. I.: Comparison of LPWAN Technologies: Cost Structure and Scalability. In: Wireless Personal Communications 121 (2021), Nr. 1, S. 887–903
- [43] COMMUNICATIONS, SPACE & TECHNOLOGY COMMISSION: Internet of Things : LPWAN Overview and Strategic Perspective. URL https://www.cst.gov.sa/en/researchs-studies/research-innovation/Documents/CITC-IoT_LPWAN.pdf
- [44] SIGFOX: Buy Sigfox Connectivity for your IoT devices. URL <https://buy.sigfox.com/>
- [45] THE THINGS NETWORK: LoRaWAN End Device Activation. URL <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/end-device-activation/>
- [46] HOFMANN, P. ; SCHMITZ, Y. ; QUINK, B. ; PARSA, M. ; OLEJAK, J.: Vergleich und Analyse der Sicherheitsaspekte von LoRaWAN und NB-IoT. URL <https://iot.telekom.com/de/downloads/sicherheitsaspekte-lorawan-nb-iot>
- [47] TELTONIKA: Mobile Signal Strength Recommendations. URL https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations
- [48] Verordnung über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt sowie über ihre Verwendung und Eichung (Mess- und Eichverordnung - MessEV) Anlage 7 (zu § 34 Absatz 1 Nummer 1) Besondere Eichfristen für einzelne Messgeräte* (2014), Abschnitt 7.1. URL https://www.gesetze-im-internet.de/messev/anlage_7.html

Bildnachweis

Titelbild: Adobe Stock

Adobe Stock: VI, 5, 9, 11, 12, 15, 20f, 31, 35

Fraunhofer IEE: 3, 6, 8, 14, 17, 20f, 22f, 24f, 29



