

2. Auflage

Entscheidungshilfe für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme



Herausgeber:

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 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: +49 561 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:

September 2025 | zweite Auflage
©AGFW, Frankfurt am Main

Entscheidungshilfe für Kommunikationstechnologien in der Fernwärme

Autoren:

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

In Zusammenarbeit mit:

AGFW e.V.
Stadtwerke Gießen
Stadtwerke Marburg GmbH
Stadtwerke Hanau GmbH
Danfoss GmbH
Power Plus Communications AG
Diehl Metering
Fraunhofer IIS

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 Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter den Förderkennzeichen 03EN3065 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 Energie

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 klimaneutrale Energien und unvermeidbare Abwärme effizient integrieren und Wärmenetze optimal betreiben zu können, ist eine Digitalisierung der Infrastrukturen notwendig.

Obwohl Fernwärmesysteme bereits heute einen hohen Anteil klimaneutraler Energien einsetzen (31 %; Wärmemarkt gesamt ca. 18 %), gilt es diese weiter zu dekarbonisieren. Dazu müssen 69 % der Erzeugung – überwiegend Gas und Kohle – sukzessive durch klimaneutrale Energien ersetzt werden [2]. Um die Wärmeerzeugung entsprechend umzustellen, ist ein effizientes und flexibles Zusammenspiel der Technologien erforderlich. Dadurch werden Fernwärmesysteme immer komplexer. Um den steigenden Anteil erneuerbarer/klimaneutraler Energiequellen sowie die zunehmende Dezentralisierung der Erzeugerstruktur besser verwalten und steuern zu können, müssen die Fernwärmesysteme digitalisiert werden.

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 Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung in Deutschland bis 2030 zu verdoppeln [3]. Dies erfolgt über die Verdichtung bestehender Wärmenetze oder durch den Neubau von Netzen. Die neuen Netze werden dabei oftmals auf einem niedrigeren Temperaturniveau arbeiten. Dafür müssen sie intelligent und hocheffizient betrieben werden. Für den automatisierten Betrieb der neuen Netze entsteht ein erhöhter Informationsbedarf, der als Treiber der Digitalisierung wirkt. Die Einführung intelligenter digitaler Technologien wird notwendig.

Die Implementierung von Sensoren zur Datenerfassung und entsprechender Kommunikationstechnologien zur Datenübertragung bildet die Grundlage für eine umfassende Digitalisierung in der Fernwärme. Die Digitalisierung wiederum ist somit eine wesentliche Säule für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und wird durch die neuen Anforderungen, wie Flexibilität, die Integration erneuerbarer Energien und der damit einhergehenden Komplexität, im Netzbetrieb notwendig.



Dr. Dietrich Schmidt
Abteilungsleiter Thermische Energiesystemtechnik



Inhaltsverzeichnis

Anwendungsfälle in der Fernwärme.....	2
Einordnung der Kommunikationstechnologien	4
Vergleich der Kommunikationstechnologien	6
5G.....	6
4G (LTE)	6
LTE-M	6
NB-IoT	7
mioty.....	7
LoRaWAN	8
Technische Kenngrößen.....	10
Datenrate	10
Gebäudedurchdringung.....	10
Echtzeitfähigkeit	11
Reichweite und Netzabdeckung.....	12
Energieeffizienz und -verbrauch	13
Skalierbarkeit.....	14
Kostenstruktur	16
Deepdive: Intelligente Messsysteme	19
Deepdive: Open Metering System	22
Leitfaden zur Technologiewahl.....	24
Entscheidungsbaum.....	28
Anwendungsbeispiel 1: Fernauslesung von Wärmezählern	30
Anwendungsbeispiel 2: Monitoring von Netzschlechtpunkten.....	32
Anwendungsbeispiel 3: Automatisierter Pumpenbetrieb.....	34
Zusammenfassung der Kernaussagen.....	36
Hintergrund zur Entstehung	38
Literaturverzeichnis	40
Bildnachweis	45

Anwendungsfälle in der Fernwärme

Von Leakedetektion bis Predictive Maintenance: moderne Kommunikationstechnologien eröffnen der Fernwärme neue Möglichkeiten. Sie machen Netze transparenter, effizienter und fit für die Zukunft.

IoT ermöglicht die digitale Messung und Steuerung im Fernwärmesektor

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].

Schlechtpunktmessung: Drucksensoren messen an ausgewählten Stellen

im Wärmenetz den Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf, um daraus Optimierungen für den Betrieb der Netzpumpen abzuleiten.

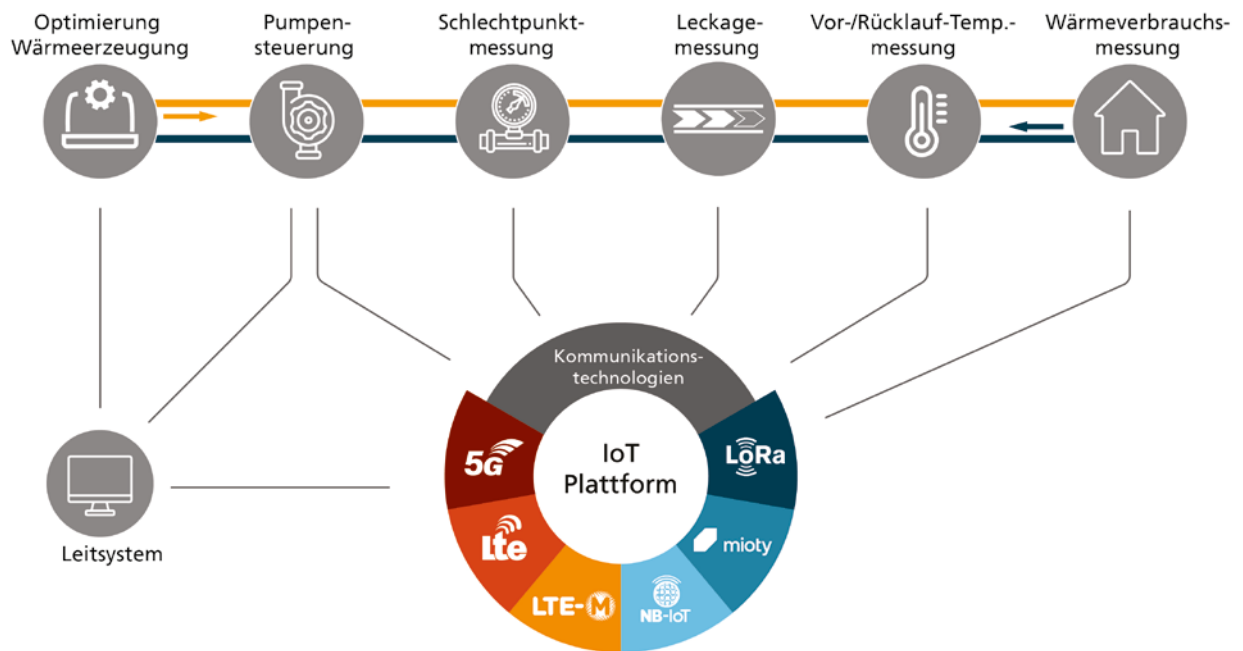
Leakedetektion: Erfolgt durch Messung, z. B. des elektrischen Widerstandes von Fühlerdrähten in der Wärmedämmung von Fernwärmerohren, oder aufgrund von Überschreitungen der maximalen Durchflusswerte.

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

Neben der Erfassung von Messwerten (lesend), kann über eine bidirektionale 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.



Aus diesen beispielhaften Anwendungen für den Informationsaustausch lassen sich weitere Einsatzmöglichkeiten ableiten. Die digitale Erfassung von Temperatur-, Durchfluss- und Druckdaten ermöglicht eine wesentlich umfassendere Zustandsüberwachung des Wärmenetzes, insbesondere im Hinblick auf variierende Schlechkpunkte bei zunehmend dezentraler Wärmeeinspeisung. 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 Problemdiag-

nose 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 Fernwärmesystems 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 zu einem effizienteren Netzbetrieb beitragen und gleichzeitig Kosten und Emissionen senken.

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

Die Digitalisierung der Fernwärme erfordert zuverlässige Datenübertragung. Kommunikationstechnologien bieten verschiedene Stärken von energieeffizienten LPWAN-Lösungen bis zu leistungsstarken Mobilfunkstandards. Dieses Kapitel vergleicht die Technologien und erläutert 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 Fernwärmeversorgungsunternehmen 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, dunkelblau 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 mioty, 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.

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

Fokus auf
Technologien mit
großer Reichweite

Zusammenarbeit mit internationalen Gremien (z. B. der Internationalen Fernmeldeunion ITU) die Verwaltung und Vergabe von Frequenzbändern. Diese lizenzierten Mobilfunkfrequenzbereiche werden von 5G, LTE, LTE-M und NB-IoT genutzt. Mioty und LoRaWAN hingegen nutzen lizenzfreie Frequenzbereiche, die

von der BNetzA unter bestimmten Bedingungen an die Allgemeinheit vergeben wurden (siehe Exkurs: Frequenzen). Die sechs genannten Kommunikationstechnologien werden im folgenden Kapitel mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen näher vorgestellt.

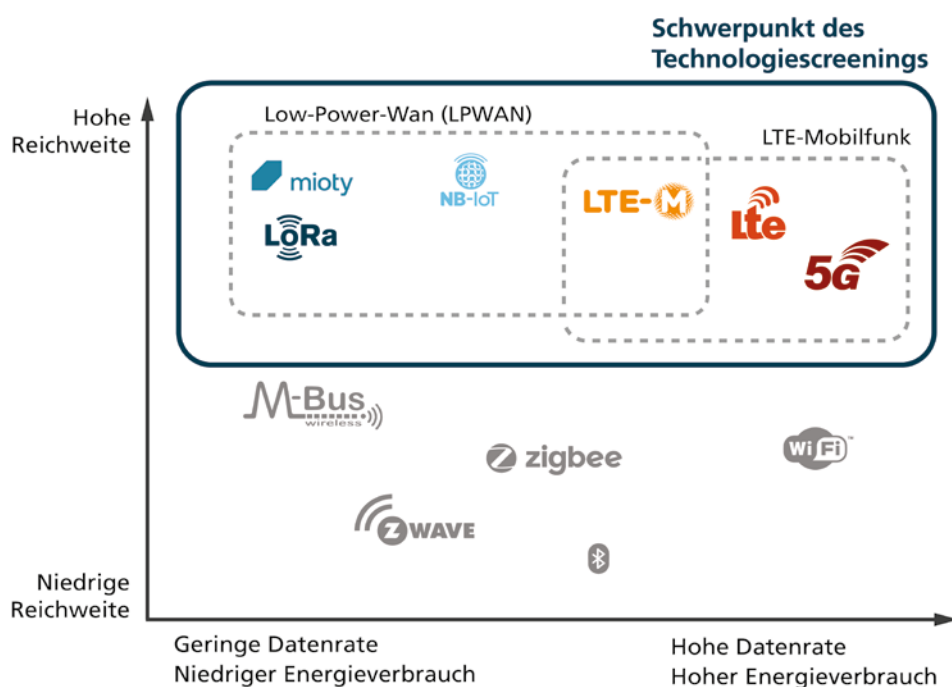


Abbildung 2
Schwerpunkt des
Technologie-
screenings

Vergleich der Kommunikationstechnologien

Die digitale Vernetzung der Fernwärme erfordert Funktechnologien, die auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktionieren, von tiefen Kellern bis hin zu weitläufigen Netzen. Dieses Kapitel stellt die wichtigsten Technologien vor.

Charakteristische Eigenschaften der Kommunikationstechnologien

Nach der vorangegangenen Einordnung werden in diesem Kapitel 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 [8–12], durch eine Anwenderperspektive ergänzt [13] und mit wissenschaftlichen Quellen validiert [14–18].

5G

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 [17], als auch IoT-Anwendungen mit vielen Verbindungen. 5G zeichnet sich gegenüber alternativen Funktechnologien durch eine sehr geringe Latenz und eine hohe Verbindungszuverlässigkeit aus. 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 Mobilfunk-

generation (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 Umgebungen, 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 [10]. 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.

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 [20]. Der Vorteil liegt dagegen im geringen Energieverbrauch, der je nach Nutzung Batterielaufzeiten von bis zu zehn Jahren ermöglicht [21]. Darüber hinaus bietet NB-IoT eine hervorragende Gebäudedurchdringung und funkt zuverlässig aus Kellern, Kanälen und durch Betonwände hindurch [16]. Im Vergleich zu LoRaWAN bietet NB-IoT zudem eine deutschlandweite Netzabdeckung und eine höhere Zuverlässigkeit [22].

mioty

mioty ist eine LPWAN-Kommunikationstechnologie, die vom Fraunhofer IIS entwickelt wurde. Sie eignet sich für Anwendungen mit hoher Gerätedichte und herausfordernden

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 [17]. 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 Fernwärmanlagen 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 [19].

	5G	lte	LTE-M	NB-IoT	mioty	LoRa
Datenrate	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Gebäude- durchdringung	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Echtzeitfähigkeit	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Zuverlässigkeit	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Netzabdeckung	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Energieeffizienz	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Skalierbarkeit	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■

Abbildung 3
Vergleich der
Kommunikations-
technologien

den Funkbedingungen [23, 24]. Die Technologie nutzt das Telegram-Splitting-Verfahren: Dabei wird ein Datenpaket in mehrere Fragmente zerlegt, die zeitlich und frequenzmäßig versetzt übertragen werden [28]. Dieses Verfahren erhöht die Energieeffizienz sowie die Robustheit der Übertragung, insbesondere in stark frequentierten Funkumgebungen [25]. Mioty-Netze zeichnen sich durch eine hohe Skalierbarkeit aus: Ein einzelnes Gateway kann bis zu 3,5 Millionen Datenpakete pro Tag verarbeiten. Eine Nachverdichtung der Netzinfrastruktur ist auch bei steigender Anzahl von Endgeräten in den meisten Fällen nicht erforderlich. Die Technologie wird primär für nicht-zeitkritische Anwendungen eingesetzt. Sie eignet sich für regelmäßige, nicht-latenzkritische Übertragungen, wie etwa bei der Fernübertragung von Zählerständen oder Umweltdaten [26]. Spezielle Betriebsmodi ermöglichen jedoch auch die echtzeitnahe Übertragung von unter einer Sekunde [27]. Die Reichweite liegt typischerweise bei 5 km in urbaner und 15 km in ländlicher Umgebung, kann jedoch abhängig von den Umgebungsbedingungen abweichen [30]. Mioty

basiert auf der frei verfügbaren technischen Spezifikation ETSI TS 103 357 [31]. Als offen spezifizierter, hardwareunabhängiger Protokoll-stack kann mioty dazu beitragen, Abhängigkeiten von einzelnen Herstellern oder Staaten zu verringern. Derzeit existieren in Deutschland keine öffentlich zugänglichen mioty-Netze, weshalb für die Nutzung der Technologie ein eigener Netzausbau erforderlich ist. Darüber hinaus wird mioty als Funktechnologie im Rahmen des OMS LPWAN Splitting Mode verwendet und kann so in interoperable Messsysteme integriert werden [32].

LoRaWAN

LoRaWAN steht für Long Range Wide Area Network und ist ein offenes, von der LoRa Alliance spezifiziertes Kommunikationsprotokoll, das auf der proprietären LoRa-Funkmodulation basiert. Es gehört wie mioty zur Gruppe der LPWAN-Technologien. Typisches Einsatzgebiet ist das IoT mit einer Vielzahl von Endgeräten bei gleichzeitig niedrigen Datenraten. Vorteile der Technologie sind die sehr hohe Energieeffizienz und die gute Gebäudedurchdringung [20]. LoRaWAN-Geräte

schalten in einen energiesparenden Standby-Modus, wenn keine Daten gesendet werden, was einen Batteriebetrieb mit sehr langen Laufzeiten ermöglicht. [16]. Vorteilhaft sind die geringen Betriebskosten, da Lizenzgebühren für die Nutzung der Frequenzbänder sowie notwendige Verträge und SIM-Karten mit Mobilfunkanbietern entfallen. Neben Mioty bietet LoRaWAN Energieversorgern die Möglichkeit, eine eigene Infrastruktur aufzubauen. Vorteile sind die Wahrung der Datenhoheit sowie Synergieeffekte beim Einsatz

in anderen Bereichen wie Strom, Gas und Verkehr. Nachteile sind u.a. die geringere Stabilität und Zuverlässigkeit der Datenübertragung, insbesondere bei hoher Gleichzeitigkeit bei einer großen Anzahl von Messstellen [21].

Exkurs: wM-Bus

Wireless M-Bus ist ein europäischer Standard (EN 13757-4), der für die drahtlose Datenübertragung zwischen Verbrauchszählern und Auslesegeräten in den Bereichen Strom, Gas, Wasser und Wärme entwickelt wurde. Aufgrund seiner begrenzten Reichweite und Skalierbarkeit wird der wM-Bus primär für die Übertragung innerhalb von Liegenschaften sowie für Walk-by- und Drive-by-Ausleseanwendungen eingesetzt [26, 28, 29]. Im Rahmen intelligenter Messsysteme dient der Standard insbesondere der Anbindung von Zählern an das Smart-Meter-Gateway (SMGW) über das Local Metrological Network (LMN) (siehe Kapitel Deepdive – intelligente Messsysteme) [30, 31].

wM-Bus kommuniziert in Deutschland über das lizenzfreie 868-MHz-Frequenzband und unterstützt mehrere Übertragungsmodi, insbesondere die Modi T und C. Diese decken unterschiedliche Anforderungen an Energieeffizienz, Reichweite und Sendeintervall ab. Die Technologie ermöglicht den langfristigen Batteriebetrieb von Zählern und gilt als robuste, bewährte und standardisierte Kommunikationslösung, die in Europa weit verbreitet ist [26]. Im europäischen Ausland, beispielsweise in Frankreich, ist zusätzlich der N-Modus weit verbreitet, der das 169-MHz-Frequenzband verwendet und eine Reichweite von mehreren Kilometern ermöglicht. In Deutschland wird dieser Modus aktuell nicht angewendet.

Anbieter thermischer Energiezähler integrieren zunehmend mehrere Kommunikationsschnittstellen in ihre Produkte, um unterschiedlichen infrastrukturellen Anforderungen gerecht zu werden. So kann etwa zunächst wM-Bus für eine Walk-by- oder Drive-by-Auslesung genutzt werden, wobei perspektivisch auch eine Einbindung in ein iMSys über ein SMGW im Rahmen einer Mehrspartenlösung möglich ist. Zusätzlich bieten viele Geräte die Option, alternative LPWAN-Technologien wie mioty und LoRaWAN (siehe Kapitel mioty und LoRaWAN) zu nutzen. Dadurch lässt sich die Fernauslesemethode und die zugrunde liegenden Kommunikationstechnologie flexibel anpassen, ohne den Energiezähler selbst austauschen zu müssen. Insgesamt gewährleistet dies ein hohes Maß an Zukunftssicherheit und Investitionsschutz [26].

Technische Kenngrößen

Drahtlose Kommunikationstechnologien unterscheiden sich in Datenrate, Reichweite, Gebäudedurchdringung, Energieeffizienz und Skalierbarkeit. Das Kapitel zeigt, wofür Mobilfunk- und LPWAN-Technologien geeignet sind und welche Kompromisse bestehen.

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 [20, 32]. 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 mit NB-IoT (bis 0,2 Mbit/s), LoRaWAN (max. 5,4 kbps) und mioty (max. 4,1 kbps), die für einen datensparsamen, kostengünstigen und energieeffizienten Betrieb entwickelt wurden [17, 33–35].

Gebäudedurchdringung

Der Grad der Gebäudedurchdringung ist eine entscheidende Eigenschaft von Kommunikationstechnologien, die ihre Fähigkeit zur Übertragung aus tiefen Kellern, Schächten oder hinter dicken Be-

tonwänden 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, mioty 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-Fre-

Gebäudedurchdringung und Datenrate sind abhängig vom genutzten Frequenzband

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.



quenzband die besten Gebäude-durchdringungseigenschaften am Markt und ist damit für die Anwendungsfälle der Energie- und Wasserwirtschaft, bei denen u.a. aus Kellern und Schächten heraus gefunkt wird, bestens geeignet [17, 20].

Echtzeitfähigkeit

Echtzeitfähigkeit bedeutet die Fähigkeit eines Systems, Datenübertragung und -verarbeitung unter allen Bedingungen so durchzuführen, dass alle zeitkritischen Aufgaben stets rechtzeitig und ohne Ausnahme erledigt werden [37]. Die Latenzzeit beschreibt in diesem Kontext die Verzögerungszeit zwischen dem Senden einer Nachricht und dem Empfang dieser Nachricht am Ziel und setzt sich unter anderem aus der Signallaufzeit, der Verarbeitungszeit und der Pufferzeit zusammen. 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 [33, 39].

Die LPWAN-Technologien NB-IoT, mioty und LoRaWAN gelten mit Latenzen größer als eine Sekunde [20] 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.

LTE Antenne einer Basisstation

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 Frequenzbe-

reich, die Sendeleistung, die Topologie (Berge, Täler) und Hindernisse (z. B. Gebäude) beeinflusst. Auch Störungen durch andere Nutzer können die Empfindlichkeit des Empfängers und damit die Reichweite des Senders negativ beeinflussen. Letzteres betrifft vor allem lizenzfreie Frequenzbänder, wie sie für LoRaWAN und mioty 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 Antennenstandorte in welcher Entfernung benötigt werden, um alle Sensoren und Aktoren zu verbinden.

Exkurs: Frequenzen

Die jeweils verwendeten Frequenzen der Kommunikationstechnologien 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 [20, 33].

Hinsichtlich der lizenzfreien Frequenzbereiche ist der Hinweis der BNetzA zu beachten, dass eine Mindestqualität und Störungsfreiheit nicht garantiert werden können. Insbesondere bei einer gemeinschaftlichen Frequenznutzung sind gegenseitige Beeinträchtigungen nicht auszuschließen und hinzunehmen. Zudem ist die Zuteilung der für LoRaWAN und mioty meist verwendeten Frequenzen von 433/868 MHz aktuell bis 2030 befristet [36].

Die Reichweite von LoRaWAN und mioty beträgt maximal 5 km in bebauten Gebieten und bis zu 15 km in ländlichen Gebieten. Zu beachten ist, dass es sich hierbei um Reichweiten für Empfänger im Freien handelt. Die Reichweite für einen ausreichenden Empfang innerhalb von Gebäuden ist deutlich geringer [16, 35]. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass LoRaWAN seine maximale Reichweite nur in Modus SF 12³ erreicht, in welcher die Datenübertragungsrate deutlich eingeschränkt ist (290 bit/s) [40].

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 bestimmten geografischen Gebiet. In Deutschland besteht eine sehr gute Netzabdeckung im Außenbe-

3 Der Spreading Factor 12 bei LoRa steht für die maximale Ausdehnung des Signals, wodurch Reichweite und Robustheit steigen, jedoch auch die Datenrate sinkt [40].



reich für die LTE-Kommunikationstechnologien von über 97 %. Das 5G-Netz befindet sich derzeit noch im Aufbau und liegt laut BNetzA bei 92 % (Stand April 2024) [41]. Für NB-IoT und LTE-M liegen keine Daten der BNetzA vor, sondern nur Abdeckungskarten der Mobilfunkanbieter [22]. 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. Die Nutzung von mioty erfordert den Aufbau eines eigenen Netzes, da derzeit noch keine öffentlichen Netze existieren.

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, LoRaWAN⁴ und mioty an. Unter optimalen Bedingungen können Batterielaufzeiten von mehr als zehn Jahren erreicht werden. Sind höhere Datenraten sowie Echtzeitfähigkeit gefordert, bieten sich

LPWAN-Technologien ermöglichen Batterielaufzeiten von bis zu über zehn Jahre

⁴ Auch der Energieverbrauch hängt vom Spreading Factor ab: Mit höherem Spreading Factor (größerer Ausdehnung des Signals) steigt der Energieverbrauch [40].

LTE-M bzw. LTE-450 als Kompromiss an, allerdings mit höherem Energieverbrauch [21].

Skalierbarkeit

Skalierbarkeit beschreibt die Fähigkeit, eine große Anzahl von Endgeräten über einen einzelnen Antennenstandort zuverlässig und effizient anzubinden. Eine hoch skalierbare Technologie ermöglicht es, viele Geräte gleichzeitig zu betreiben, ohne dass es zu Engpässen bei der Datenübertragung, zu häufigen Kollisionen oder spürbaren Leistungseinbußen kommt. Entscheidend ist dabei nicht nur die Anzahl der unterstützten Geräte, sondern auch, wie viele Nachrichten pro Gerät und Tag zuverlässig und

fristgerecht übertragen werden können. Technologien mit geringer Skalierbarkeit stoßen bei wachsender Gerätedichte oder erhöhtem Kommunikationsaufkommen schnell an ihre Grenzen. In solchen Fällen sind zusätzliche Infrastrukturelemente wie weitere Antennenstandorte erforderlich, um die Kommunikation stabil aufrechtzuerhalten.

Gerade im Aufbau von Stadtnetzen werden auf begrenztem Raum zahlreiche Sensoren miteinander verbunden. Daher kommt der Skalierbarkeit eine besonders hohe Bedeutung zu, um die Anzahl benötigter Antennenstandorte möglichst gering zu halten. Die Skalierbarkeit ist daher ein zentrales Kriterium bei der Auswahl geeigneter Übertragungstechnologien. Drei Kenngrößen können hierfür herangezogen werden: die Gerätedichte (maximale Geräteanzahl pro km² oder pro Zelle), die Kapazitätsdichte (realistisch nutzbare Datenrate pro km², z. B. in Mbps/km²) und Nachrichten pro Antennenstandort und Tag. Alle Kennzahlen sind technologieübergreifend vergleichbar, hängen jedoch stark von Rahmenbedingungen ab, etwa der Anzahl und Größe der Nachrichten, der Zellgröße, der Netzarchitektur und weiteren Faktoren. Absolute Zahlen liefern daher nur grobe Richtwerte und müssen stets im konkreten Anwendungskontext interpretiert werden. Es sollte zudem zwischen kommerziellen Mobilfunknetzen (z. B. 4G/5G NB-IoT) und privaten Netzwerken unterschieden werden. Mobilfunknetze zeichnen sich prinzipiell durch eine hohe theoretische Geräte- und Kapazitätsdichte aus, jedoch hängt ihre tatsächliche Leistungsfähigkeit von der aktuellen Auslastung durch andere Nutzer in derselben Funkzelle ab. Statt der Frage, ob weitere eigene Antennenstandorte hinzugefügt werden müssen, stellt sich hier

Exkurs: Signalqualität

Die zugrunde liegende Signalstärke wird im Mobilfunk typischerweise durch den RSRP-Wert (Reference Signal Received Power) beschrieben, bei anderen Funktechnologien wie LPWAN dagegen meist durch den RSSI-Wert (Received Signal Strength Indication). Beide Größen werden in dBm (Dezibel bezogen auf 1 mW) angegeben und sind in der Regel negativ. Je näher der Wert an 0 dBm liegt, desto stärker ist das empfangene Signal.

Als Faustregel im Mobilfunk gilt: RSRP-Werte zwischen -50 und -80 dBm deuten auf gute Empfangsbedingungen hin, während Werte zwischen -100 und -140 dBm eine instabile oder kaum nutzbare Verbindung anzeigen [43].

Für LPWAN-Netze können aufgrund der hohen Empfindlichkeit der Empfänger und der geringen Bandbreite deutlich niedrigere Signalstärken genutzt werden. Abhängig vom Spreading-Faktor liegt die Untergrenze bei LoRa zwischen -120 und -140 dBm, bei mioty beträgt sie etwa -140 dBm. [25]



die Frage, ob der Netzanbieter bereit ist, bei Kapazitätsengpässen eine Nachverdichtung durch zusätzliche Antennenstandorte vorzunehmen.

In privaten Netzen gibt es keine Fremdnutzer im eigenen Netz, sodass die Auslastung grundsätzlich vom jeweiligen Use-Case abhängt. Allerdings gilt dies nur eingeschränkt bei der Nutzung lizenzfreier Frequenzen: Hier kann das Funkpektrum durch benachbarte Netze oder andere Funkanwendungen überlastet sein, sodass die Netzqualität trotz eigenem Netzbetrieb von äußeren Einflüssen abhängt. Im Falle einer Überlastung liegt es am Betreiber, durch eine gezielte Nachverdichtung die Netzstabilität zu verbessern. Die Planung privater Netze bietet damit mehr Kontrolle, erfordert aber auch eigene Verantwortung für die Skalierbarkeit. Dementsprechend ist die Wahl einer entsprechend skalierbaren Kommunikationstechnologie für den jeweiligen Use-Case als sinnvoll zu betrachten, um eine Nachverdichtung zu vermeiden.

Mobilfunktechnologien zeichnen sich grundsätzlich durch eine hohe Netzkapazität und Skalierbarkeit aus. Allen voran steht 5G, mit einer möglichen Gerätedichte von bis zu einer Million Geräten pro Quadratkilometer im Rahmen der mMTC-

Spezifikation [44]. 4G (LTE) folgt mit einer typischen Gerätedichte von bis zu 100.000 Geräten pro Quadratkilometer in dicht bebauten urbanen Szenarien [44]. Bei NB-IoT und LTE-M gelten Werte von etwa 50.000 Geräten pro Quadratkilometer als realistisch im regulären Netzbetrieb. Einige wissenschaftliche Studien zeigen jedoch, dass unter Idealbedingungen (z. B. bei geringer Nachrichtengröße, sporadischer Übertragung und optimalem Funkempfang) auch deutlich höhere Gerätedichten möglich sind, die sogar die 5G-mMTC-Anforderungen (eine Millionen Geräte/km²) erreichen können [45–47]. Für die vergleichende Einordnung der LPWAN-Technologien wird im Folgenden die Kenngröße „Nachrichten pro Tag und Basisstation“ herangezogen. Mioty liegt hier mit bis zu 3,5 Millionen Nachrichten pro Tag und Basisstation an der Spitze, gefolgt von LoRaWAN mit bis zu 100.000 Nachrichten pro Tag und Gateway [48, 49].

Eine hohe Gerätedichte erfordert skalierbare Netze, um die Stabilität der Datenübertragung zu gewährleisten

Kostenstruktur

Die Kostenstruktur verschiedener Kommunikationstechnologien ist ein zentrales Auswahlkriterium und reicht von Anschaffungs- und Betriebskosten bis hin zu netzspezifischen Faktoren wie Antennenstandorten. Ein systematischer Vergleich der Total Cost of Ownership (TCO) ermöglicht dabei fundierte Technologieentscheidungen.

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 [50, 51].

Mioty erfordert derzeit den Aufbau eines eigenen Funknetzes, eines sogenannten „lokalen privaten Netzwerks“. Im Gegensatz dazu kann LoRaWAN sowohl in einem eigenen Netz betrieben werden als auch in einem sogenannten „geteilten Netzwerks“ oder einem „Community-Netzwerk“. Im Folgenden werden diese Netztypen kurz definiert:

a. Geteiltes Netzwerk:

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 das bestehende Netz durch zusätzliche Gateways erweitert werden, um die Netzabdeckung und die Zuverlässigkeit der Übertragung zu verbessern.

b. Lokales privates Netzwerk:

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 (siehe Kapitel: Kosten eigener Infrastruktur). 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 sollte.

c. offenes Community Network:

Offene Community-Netze bieten freien Zugang zu einem LoRaWAN-Netz, sind aber aufgrund von Sicherheits- und Datenschutzrisiken für die

Eigene Netze bieten volle Datenhoheit, erfordern jedoch hohe Anfangsinvestitionen

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

Zielgruppe Energieversorger wenig geeignet.

Kosten eigener Infrastruktur

Ist die Entscheidung für den Aufbau eines eigenen privaten Netzes gefallen, stehen in der Regel zwei Kommunikationstechnologien zur Auswahl: LoRa und mioty. Deren Vor- und Nachteile wurden bereits im Kapitel Technologieauswahl ausführlich beleuchtet.

Der Fokus liegt auf einem weiteren zentralen Entscheidungskriterium: den Gesamtkosten, auch bekannt als Total Cost of Ownership (TCO). Auch wenn keine konkreten Kosten genannt werden, bietet die vorgestellte Struktur eine hilfreiche Grundlage für den Kostenvergleich der Technologien.

Die TCO eines privaten Netzes setzt sich im Wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen: den Anschaffungskosten (CapEx), etwa für IoT-Endgeräte, und den Betriebskosten (OpEx), zum Beispiel für Wartung, Reparatur und Instandhaltung. Für eine systematische Bewertung empfiehlt es sich zudem, zwischen Fixkosten – also den pauschalen Ausgaben, die unabhängig von der Netzgröße anfallen – und standortspezifischen Kosten zu unterscheiden. Letztere hängen von der Netzgröße und der Anzahl der er-

forderlichen Antennenstandorte ab. Ein relevanter Kostenfaktor ist die Anzahl der benötigten Antennenstandorte. Während die Anzahl der IoT-Endgeräte meist projektbedingt vorgegeben ist, hängt der Bedarf an Antennenstandorten stark von der Reichweite und der Netzcharakteristik der jeweiligen Technologie ab und kann somit gezielt beeinflusst werden. Durch eine strategische Technologieentscheidung lassen sich hier spürbare Einsparpotenziale durch eine Reduktion der Antennenstandorte realisieren. Eine vergleichende Coverage-Analyse liefert dafür belastbare Entscheidungsgrundlagen und unterstützt die Auswahl der kosteneffizientesten Netztechnologie. [50]

Abbildung 4
Kostenstruktur der
LPWAN- und LTE-
Technologien

Exkurs: IT-Sicherheit

Mit dem zunehmenden Vernetzungsgrad im Fernwärmebereich gewinnt auch die IT-Sicherheit immer mehr an Bedeutung. Moderne Kommunikationstechnologien wie NB-IoT und LTE-M, die in lizenzierten Frequenzbändern arbeiten, profitieren von den etablierten Sicherheitsmechanismen des Mobilfunks. Dazu zählen insbesondere die gegenseitige Authentifizierung zwischen Endgerät und Netz sowie die Verschlüsselung des Datenverkehrs mittels AES-128. Ein zentrales Sicherheitselement ist hierbei die SIM-Karte. Sie fungiert nicht nur als digitaler Ausweis des Geräts, sondern speichert kryptografische Schlüssel in einem speziell geschützten Hardware-Bereich. Dadurch wird das Auslesen dieser Schlüssel für Angreifer erheblich erschwert und die Manipulation der Geräteidentität verhindert. Ohne diesen Schutz könnten Angreifer beispielsweise Geräteidentitäten klonen oder Schlüssel extrahieren, um sich unbefugt Zugang zum Netz zu verschaffen.

Allerdings ist die Verschlüsselung im Mobilfunknetz in der Regel auf die Funkstrecke beschränkt. Im Kernnetz des Mobilfunkbetreibers können Daten häufig unverschlüsselt weiterverarbeitet werden. Um eine echte Ende-zu-Ende-Sicherheit - also eine durchgängige Verschlüsselung vom Sensor bis zur Zielanwendung - zu erreichen, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, wie etwa der Einsatz von Virtual Private Networks (VPN), privaten Access Point Names (APN) oder Datagram Transport Layer Security (DTLS). DTLS ist ein Sicherheitsprotokoll, das auf Transport Layer Security (TLS) basiert und speziell für die Verschlüsselung verbindungsloser Übertragungen, wie sie im Internet der Dinge (IoT) häufig verwendet werden, entwickelt wurde.

Auch Funktechnologien wie LoRaWAN und mioty integrieren Verschlüsselung - meist auf Basis von AES-128 - bereits im Standard. Bei LoRaWAN werden zwei Ebenen von Verschlüsselung verwendet: eine auf Netzwerkebene und eine auf Anwendungsebene. Entscheidend für die tatsächliche Sicherheit ist jedoch, wie die kryptografischen Schlüssel verwaltet und gespeichert werden. Ohne spezielle Hardware-Sicherheitsmodule besteht die Gefahr, dass Schlüssel ausgelesen oder manipuliert werden können. Besonders wichtig ist bei LoRaWAN das gewählte Aktivierungsverfahren. Bei der Over-The-Air-Activation (OTAA) werden die Schlüssel während der Inbetriebnahme dynamisch und sicher zwischen Gerät und Netzwerkservers ausgehandelt, was ein deutlich höheres Sicherheitsniveau bietet. Im Gegensatz dazu werden bei der Activation By Personalization (ABP) die Schlüssel fest im Gerät hinterlegt und bleiben über die gesamte Lebensdauer unverändert. Das macht sie anfälliger für Angriffe, da ein kompromittierter Schlüssel nur schwer ausgetauscht werden kann.

Ein kompromittierter Schlüssel ermöglicht es Angreifern, verschlüsselte Daten zu entschlüsseln, zu manipulieren oder sogar gefälschte Geräte im Netz zu registrieren - mit potenziell gravierenden Folgen für die Systemsicherheit. Ein sicheres Schlüsselmanagement, das den regelmäßigen Schlüsselwechsel, den Einsatz von Hardware-Sicherheitsmodulen sowie sichere Aktivierungsverfahren wie Over-The-Air-Activation (OTAA) umfasst, ist daher essenziell für den Schutz moderner, vernetzter Infrastrukturen. Dies gilt insbesondere beim Betrieb eigener Infrastruktur, der zwar mehr Kontrolle ermöglicht, aber auch höhere Sicherheitsanforderungen an die Betreiber stellt. [48–50]

Deepdive: Intelligente Messsysteme

Intelligente Messsysteme (iMSys) werden als Schlüsseltechnologie der Energiewende gesehen: Sie erfassen Strom-Verbrauchsdaten sicher, ermöglichen den steuernden Zugriff auf Energieanlagen und werden durch Mehrspartenlösungen auch im Bereich der Fernwärme neue Potenziale für eine sektorübergreifende Integration schaffen.

Intelligente Messsysteme bilden eine zentrale Grundlage für die Digitalisierung im Stromsektor. Sie bestehen aus zwei Komponenten: einer modernen Messeinrichtung (mME) und einem Smart Meter Gateway (SMGW), das als sichere Kommunikationseinheit dient. Über standardisierte Schnittstellen werden Messdaten erfasst und verschlüsselt an berechnete Marktakteure übermittelt, wie etwa an Messstellenbetreiber, Netzbetreiber oder Energielieferanten. Neben dem lesenden Zugriff auf Messwerte ermöglicht die iMSys-Infrastruktur auch einen steuernden Zugriff auf Energieanlagen, beispielsweise für Netzbetreiber. Für die Ansteuerung dieser "Controlable Local Systems (CLS)" wird ein CLS-Kommunikationsadapter benötigt, u.a. in Ausführung als Steuerbox nach VDE FNN Lastenheft [61]. Die Übertragung von Messwerten und Steuerbefehlen zwischen dem Messsystem und berechtigten Marktteilnehmern erfolgt über das Wide Area Network (WAN). Dafür werden in der Regel Breitband-Kommunikationstechnologien genutzt, wie LTE oder LTE-450. Diese werden im Kapitel „Vergleich der Kommunikationstechnologien“ näher beschrieben. Die Datenübertragung zwischen den Messeinrichtungen wie beispielsweise Strom- oder Gaszählern und dem SMGW findet hingegen über das

Local Metrological Network (LMN) statt - meist mithilfe des wireless Meter-Bus (wM-Bus) direkt vor Ort in der Liegenschaft. Die Kommunikation zwischen dem SMGW, dem Endverbraucher oder dem Servicetechniker erfolgt wiederum vor Ort über die Home Area Network (HAN)-Schnittstelle, die üblicherweise per Ethernet-Anschluss realisiert wird. Für den steuernden Zugriff sowie für weiterführende Mehrwertdienste, etwa im Bereich Submetering, stellt das SMGW einen sicheren Kommunikationskanal (CLS-Proxy-Kanal) bereit, der im oben genannten CLS-Kommunikationsadapter terminiert. In dieser Ausprägung wird die HAN-Schnittstelle auch als HAN CLS-Schnittstelle bezeichnet. Zukünftig ist zumindest für standardisierte Steueranweisungen eine direkte Funktionalität im SMGW geplant [52]. Eine ausführliche Einführung in die Thematik der iMSys-Infrastruktur und weitere Informationen bieten die [dena SET-Hub Kurzanalyse](#) und der SET-Hub Leitfaden [53, 54]. Der verpflichtende Einsatz der iMSys-Infrastruktur ist derzeit ausschließlich auf den Stromsektor beschränkt. Für diesen Bereich legen sowohl das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (GNDEW) als auch das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) klare Vorgaben für den Rollout und entsprechende Zeitpläne

iMSys verbinden
Messdatenerfassung
mit sicherer Steuerung
von Energieanlagen

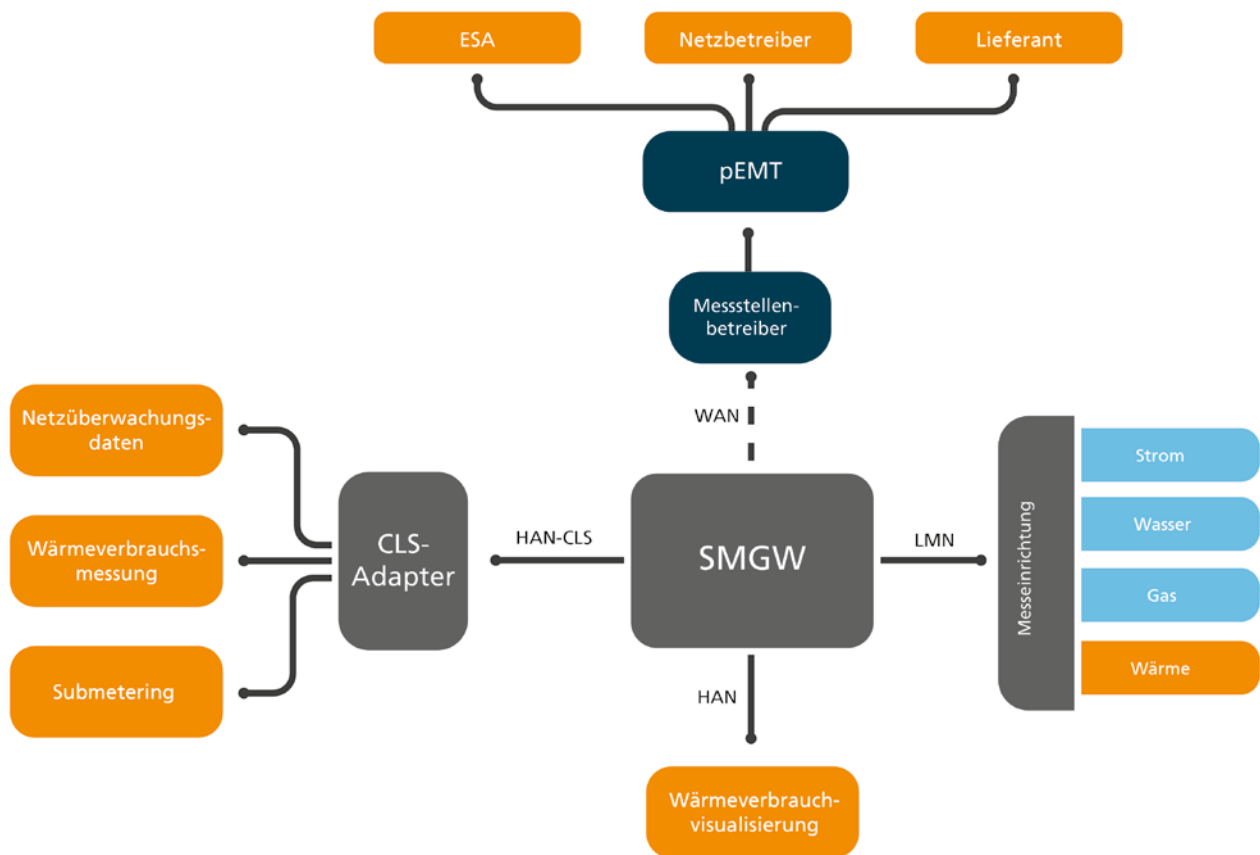


Abbildung 5
Nutzung der
iMSys-Infrastruktur
im Kontext Fernwär-
menetze (orange)

fest: Bis Ende 2025 sollen die grundzuständigen Messstellenbetreiber (gMSB) 20 % der verpflichtend zu installierenden SMGWs⁵ eingebaut haben [55]. Im vierten Quartal 2024 lag die Quote gMSB-übergreifend bei knapp 14 % [56]. Der Einsatz von iMSys ist auch im Bereich der Fernwärme technisch möglich, insbesondere im Rahmen von sogenannten Mehrspartenlösungen, bei denen Verbrauchsdaten aus verschiedenen Energiesektoren (Strom, Gas, Wärme, Wasser) über ein zentrales SMGW zusammengeführt werden. Für ein umfassendes Verständnis des Gesamtsystems ist es notwendig, die Datenverteilungs- und Steuerungsprozesse an berechnigte Marktteilnehmer zu betrachten. Der Messstel-

lenbetreiber (MSB) ist gemäß MsbG für den iMSys-Betrieb verantwortlich: Er installiert und betreibt das SMGW, verwaltet die Zugriffsrechte und erteilt berechtigten Dritten, den sogenannten externen Marktteilnehmern (EMT), Zugang zu Messdaten bzw. zur CLS-Proxy-Kanal-Funktionalität. Zudem ist er für die Administration und Konfiguration des Systems zuständig. Passive EMT (pEMT) empfangen ausschließlich spezifische Messdaten, haben jedoch keinen Zugriff auf Steuerkanäle, beispielsweise der Netzbetreiber oder der Energie-Service-Anbieter (ESA). Aktive EMTs (aEMT) hingegen dürfen über das SMGW auch Steuerbefehle senden, etwa zur netzorientierten Steuerung von steuerbaren Verbrauchern

⁵ Verbraucher mit mehr als 6000 kWh/a, Einspeiser ab 7 kW (§ 29 MsbG) sowie steuerbare Verbrauchseinrichtungen (§ 14a EnWG)

nach §14a EnWG oder erneuerbaren Erzeugern nach § 9 EEG [57, 58]. Die Mehrsparten-Nutzung von SMGW bietet Vorteile für Netzbetreiber und Infrastrukturunternehmen. Durch die gemeinsame Erschließung mehrerer Sparten im Rahmen des Rollouts lassen sich technische und organisatorische Synergien nutzen, um den Gesamtaufwand zu reduzieren. Eine einheitliche Dateninfrastruktur kann den bislang erforderlichen Parallelbetrieb verschiedener Kommunikationstechnologien ersetzen und so zu Kosteneinsparungen im laufenden Betrieb führen. Zudem können über das iMSys spartenübergreifend Mess- und Zustandsdaten an die Netzbetreiber für Fernwärmenetze bereitgestellt werden, wodurch eine effizientere und qualifiziertere Bewertung des Netzzustands und Erzeugereinsatzes möglich wird. Der Aufbau eines iMSys, einschließlich der Inbetriebnahme von SMGWs und CLS-Adaptern, ist deutlich komplexer als der Einsatz einfacher LPWAN-Zähler. Neben den technischen Herausforderungen bringt die Mehrsparten-Nutzung des iMSys auch strukturelle und prozessbedingte Komplexitäten mit sich. Besonders relevant sind dabei fehlende Standardisierungen, zum Beispiel in der Marktkommunikation (MaKo), sowie die Komplexität der damit verbundenen Prozesse. Die verschiedenen Sparten folgen bislang häufig eigenen Systemlogiken und Verantwortlichkeiten. Eine spartenübergreifende Integration erfordert daher abgestimmte Prozessabläufe und einheitliche Rollenmodelle. Rechtliche Rahmenbedingungen sowie die spartenübergreifende Standardisierung der Prozesse im Messwesen sind notwendig, um die Mehrspartennutzung des SMGWs effizient und zielführend umzusetzen. Derzeit entstehen in der Praxis erste Pilotprojekte, in denen die iMSys-Infrastruktur im Fernwärmesektor

erprobt wird. Ein Beispiel hierfür ist das „Wärme anbinden und netzdienlich nutzen“ (WARAN)-Projekt, das besonders die Sektorkopplung von Strom und Wärme sowie den iMSys-Einsatz im Wärmesektor untersucht [59, 60]. Im Rahmen des Projekts wurden drei konkrete Anwendungsfälle im Zusammenhang mit iMSys definiert:

- 1. die Übertragung abrechnungsrelevanter Verbrauchsdaten**
- 2. die Übermittlung von Netzzustands- und Netzbeobachtungsdaten sowie**
- 3. die aktive Steuerung von Erzeugungsanlagen und Wärmeregeln an Hausstationen.**

Die drahtlose Anbindung von Wärmehäusern über wM-Bus nach dem OMS-Standard an das intelligente Messsystem (Anwendungsfall 1 und 2) ist somit bereits heute möglich. Rechtlich ist der Einsatz eines SMGW in der Fernwärme jedoch bislang nicht verpflichtend. Nach der Fernwärme-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung (FFVAV) dürfen nur fernablesbare Messeinrichtungen eingesetzt werden, die interoperabel sind und den Anforderungen des BSI-Standes der Technik entsprechen [4]. Ob diese zwingend über ein SMGW erfolgen muss, lässt der Gesetzgeber bislang offen. Auch wenn eine verbindliche Anbindung von Submetering-Infrastrukturen im Bereich der Fernwärme an das iMSys derzeit noch kein fester Bestandteil der politischen oder regulatorischen Debatte ist, zeichnet sich diese Option als realistisches Zukunftsszenario ab. Vor diesem Hintergrund erscheint es für Fernwärmenetzbetreiber sinnvoll, sich frühzeitig mit den technischen und organisatorischen Anforderungen sowie den datenschutzrechtlichen Rahmenbedingungen vertraut zu machen.

Eine verbindliche SMGW-Anbindung in der Fernwärme ist bislang nicht vorgeschrieben

Deepdive: Open Metering System

Als offener Standard für die Fernauslesung von Zählern sorgt das Open Metering System (OMS) für herstellerunabhängige Interoperabilität, unterstützt verschiedene Übertragungswege wie wM-Bus und mioty und legt klare Anforderungen an Sicherheit und Datenintegrität fest.

Um Begriffe wie Open Metering System (OMS), wM-Bus oder mioty richtig einordnen zu können, ist es hilfreich, zwischen Funktechnologien, Kommunikationsprotokollen und Standards zu unterscheiden.

Funktechnologien wie wM-Bus oder mioty regeln die physikalische Übertragung der Daten, also wie sie per Funk gesendet werden. Dazu zählen technische Details wie Frequenzbereiche, Modulationsverfahren, Sendezeiten und der Zugriff auf das Funknetz. Kommunikationsprotokolle definieren dagegen, wie die Daten logisch aufgebaut, adressiert und übertragen werden. Sie sorgen beispielsweise dafür, dass Daten korrekt erkannt, sicher übertragen und richtig zugeordnet werden. Kommunikationsstandards wie das Open Metering System (OMS) sind verbindlich definierte Regeln und Schnittstellen, die sicherstellen, dass Geräte und Systeme unterschiedlicher Hersteller kompatibel und interoperabel miteinander kommunizieren können. Nur wenn Funktechnologie, Protokoll und Standard gut aufeinander abgestimmt sind, ist eine sichere und reibungslose Kommunikation zwischen Zählern, Sensoren und dem Backend-System möglich.

Das OMS ist ein offener Kommunikationsstandard zur Fernauslesung von

Strom-, Gas-, Wasser- und Wärmehäusern. Entwickelt wurde er von der herstellerunabhängigen OMS-Group e. V. und basiert auf der Norm DIN EN 13757 [61]. Ziel ist eine interoperable Kommunikation, bei der Geräte verschiedener Hersteller sicher und effizient über gemeinsame Schnittstellen Daten austauschen. Die Nutzung von OMS verhindert eine Abhängigkeit von einzelnen Anbietern und gewährleistet langfristige Zukunftssicherheit. OMS unterstützt mehrere physikalische Übertragungswege. Besonders relevant sind dabei folgende:

wM-Bus (wireless M-Bus)

Ein etabliertes Funkprotokoll, das in verschiedenen Modi hauptsächlich im Submetering und bei Walk-/Drive-by-Anwendungen zum Einsatz kommt (siehe Exkurs wM-Bus).

OMS LPWAN

Mit OMS 5.0 wurde erstmals ein eigenes Funkprofil für Low Power Wide Area Networks eingeführt. Es richtet sich an Anwendungen mit großen Distanzen und geringer Übertragungshäufigkeit, ideal für Zähler in abgelegenen oder funktechnisch schwierigen Umgebungen. Zwei Modi kommen zum Einsatz:

- Burst Mode: Sendet Daten effizient in einem oder wenigen

OMS ermöglicht interoperable Zählerkommunikation über verschiedene Übertragungswege



Paketen, geeignet für batteriebetriebene Gateways.

- Splitting Mode: Teilt Daten auf viele kleine Pakete auf, die zeitlich und frequenzmäßig verteilt gesendet werden. Dadurch verbessern sich Störsicherheit und Skalierbarkeit – ideal für funktechnisch schwierige Standorte wie Keller oder dicht bebaute städtische Gebiete. Dieser Modus basiert auf der Funktechnologie namens mioty und entspricht dem ETSI-Standard TS 103 357 [62, 63] (siehe Kapitel mioty).

heit an anerkannten Standards wie z. B. der BSI TR-03109, die für Smart-Meter-Gateways in Deutschland gilt. Zudem ist OMS vollständig konform mit der europäischen Normenreihe DIN EN 13757-7, auf deren technischer Grundlage das System entwickelt wurde [60].

Das OMS sorgt mit klaren Vorgaben dafür, dass Verbrauchsdaten sicher und zuverlässig übertragen werden. Das Ziel ist dabei, Manipulationen zu verhindern, die Vertraulichkeit der Daten zu gewährleisten und die Systemverfügbarkeit sicherzustellen [62]. Für die Funkkommunikation zwischen Zähler und Gateway (etwa über Wireless M-Bus oder LPWAN) ist eine Verschlüsselung der Daten verpflichtend. Hier wird beispielsweise das bewährte Verfahren AES-128 verwendet. Zusätzlich kann das System prüfen, ob die Daten tatsächlich vom richtigen Gerät stammen und unterwegs nicht verändert wurden. Dafür wird ein Message Authentication Code (MAC) verwendet. OMS orientiert sich bei der IT-Sicher-

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 PLC (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?

Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit:

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? Ist darüber hinaus eine hohe Skalierbarkeit des Netzes erforderlich, damit es künftig zusätzliche IoT-Geräte sowie ein höheres Datenaufkommen bewältigen kann, ohne die Systemstabilität zu beeinträchtigen?

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?

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?

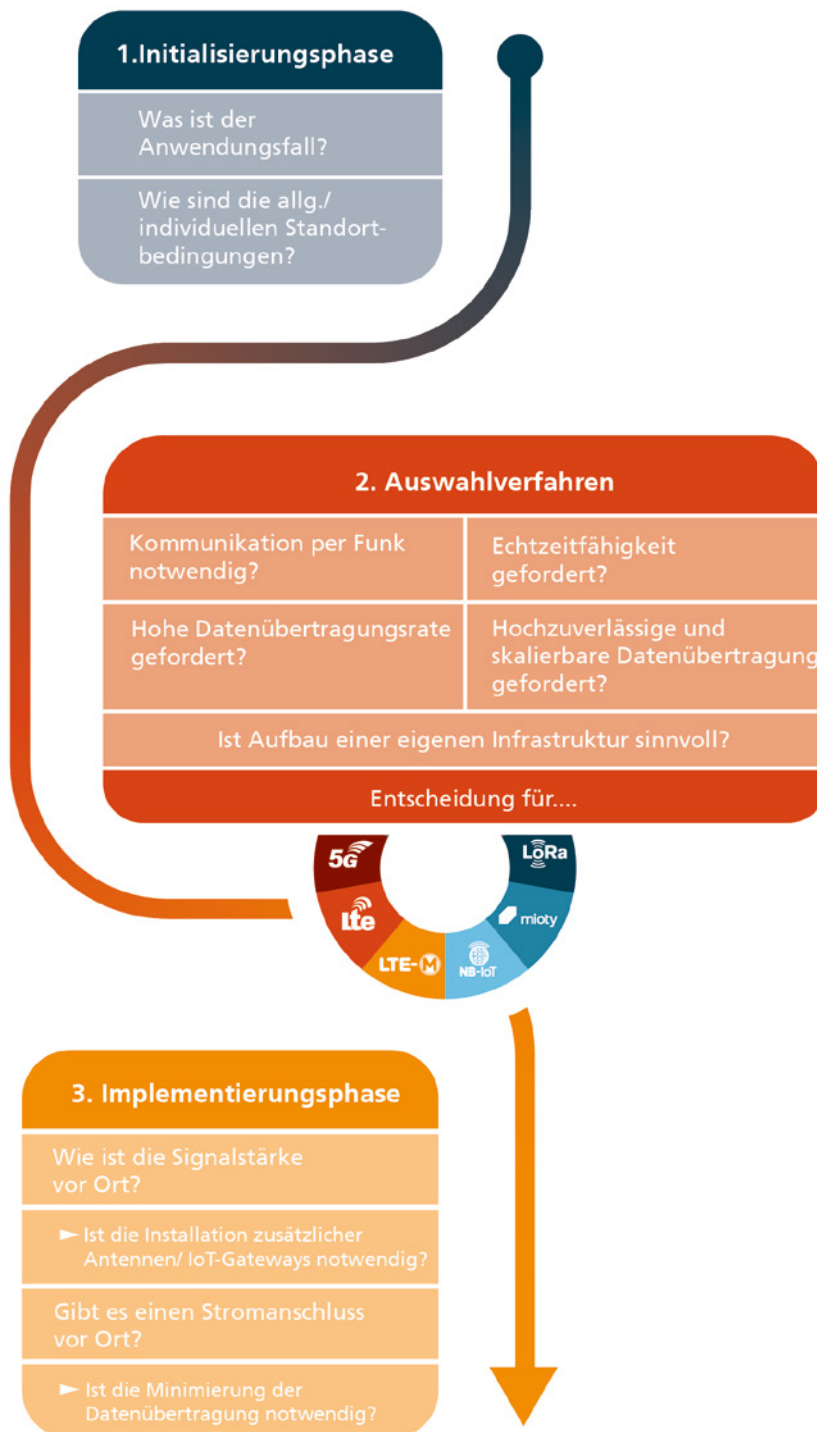


Abbildung 6
Die drei Phasen der Entscheidungsunterstützung mit ihren jeweiligen Leitfragen

Aufbau einer eigenen Infrastruktur:

Sind die Kosten pro Kommunikationsmodul aufgrund hoher Stückzahlen ein entscheidender Faktor? Gibt es spartenübergreifende Konzernrichtlinien und -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. Implementierungsvorbereitung

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 eine Signalstärkemessung am Standort durchzuführen. 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 können durch Abdeckungstests und Simulationen eine grafische 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 das 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 Wärmezählern ist eine Batterielaufzeit anzustreben, die mit der zugehörigen Eichfrist von sechs Jahren übereinstimmt.

Die Leitfragen aus Abbildung 6 und die daraus resultierenden Antworten sind im 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 7) entwickelt, an dessen Ende jeweils eine geeignete Kommunikationstechnologie steht.

Aus ökonomischer Sicht sind ergänzend zu den Leitfragen die folgenden Punkte zu berücksichtigen. Für einen kostengünstigen Betrieb empfehlen sich LPWAN-Technologien wie LoRaWAN sowie bei höheren Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Datenübertragung mioty und NB-IoT. Erst bei höheren technischen Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit sollte auf LTE-M oder LTE-450 sowie bei hohen Datenübertragungsraten auf 4G/5G zurückge-

Signalstärkemessungen und Abdeckungstests sichern optimale Netzplanung

griffen 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.

Ist bereits eine iMSys-Infrastruktur zur Verbrauchsmessung im Stromsektor vorhanden, kann die Anbindung an das SMGW zukünftig im Rahmen einer Mehrspartenlösung eine kosteneffiziente Option darstellen.

Das Kriterium der Gebäudedurchdringung sowie 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 sollte auch ein möglicher Technologiewechsels, z. B. aufgrund einer besseren Signalqualität, in Betracht gezogen werden. Hierzu bietet sich der Einsatz von Mess-equipment für die jeweilige Technologie an, z. B. ein Netztester für LTE oder ein Feldtester für LoRaWAN. Im Entscheidungsprozess tritt bei der Wahl von LoRaWAN ein Sonderfall auf, 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 der zukünftigen Datenmessstellen vorzunehmen 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 Sek-

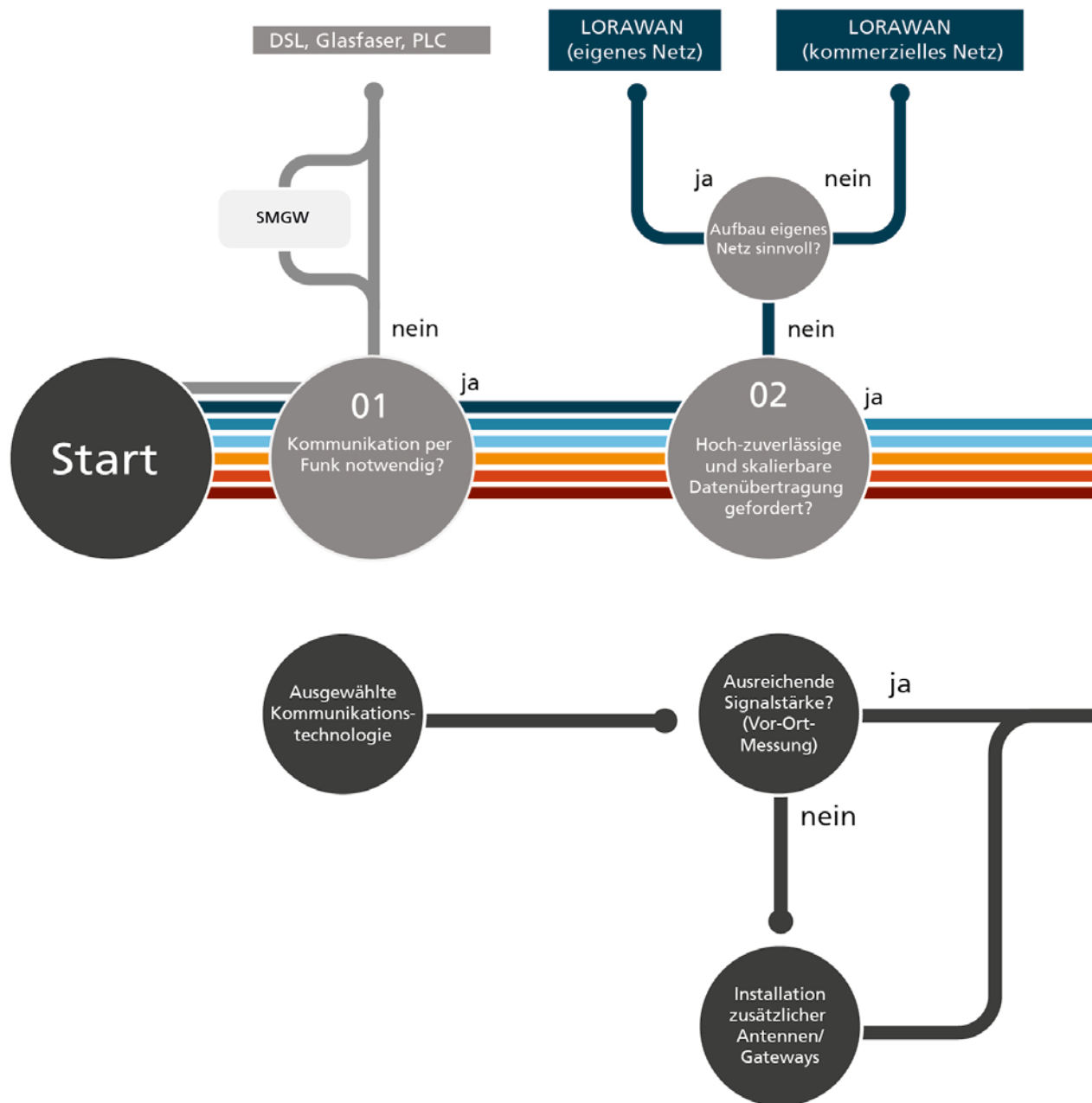
toren bietet sich der Aufbau einer eigenen Infrastruktur an. Dies kann durch Know-how und Ressourcenaufbau eigenständig oder durch die Beauftragung eines spezialisierten Dienstleisters geschehen. Alternativ kann die Nutzung einer bestehenden Infrastruktur eines LoRaWAN-Netzbetreibers eine sinnvolle Option darstellen. Diese ist insbesondere im Hinblick auf die Komplexitätsreduktion, bei Ressourcenengpässen und bei geringen wirtschaftlichen Vorteilen aufgrund einer zu geringen Anzahl von Messstellen relevant. Zu beachten ist, dass bei einer hohen Auslastung der LoRaWAN-Infrastruktur, die Wahrscheinlichkeit von Datenverlusten steigt (siehe Kapitel Skalierbarkeit). Wenn durch den potenziellen Ausbau der IoT-Infrastruktur eine höhere Netzauslastung zu erwarten ist, sollte der Einsatz von mioty aufgrund seiner hohen Skalierbarkeit in Erwägung gezogen werden.

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. der Messstelle darauf zu achten, dass die Übertragungsintervalle und die Nachrichtengröße auf ein Minimum reduziert werden.

Zur Veranschaulichung werden drei exemplarische Anwendungsfälle herangezogen, um den Auswahlprozess in seinen Phasen zu skizzieren. Die technischen Anforderungen dienen nur der Illustration: Sie orientieren sich teils an der Praxis, teils an einem fiktiven Stadtwerk, um mögliche künftige Entwicklungen einzubeziehen.

mioty ist bei wachsender Netzauslastung besonders skalierbar

Entscheidungsbaum



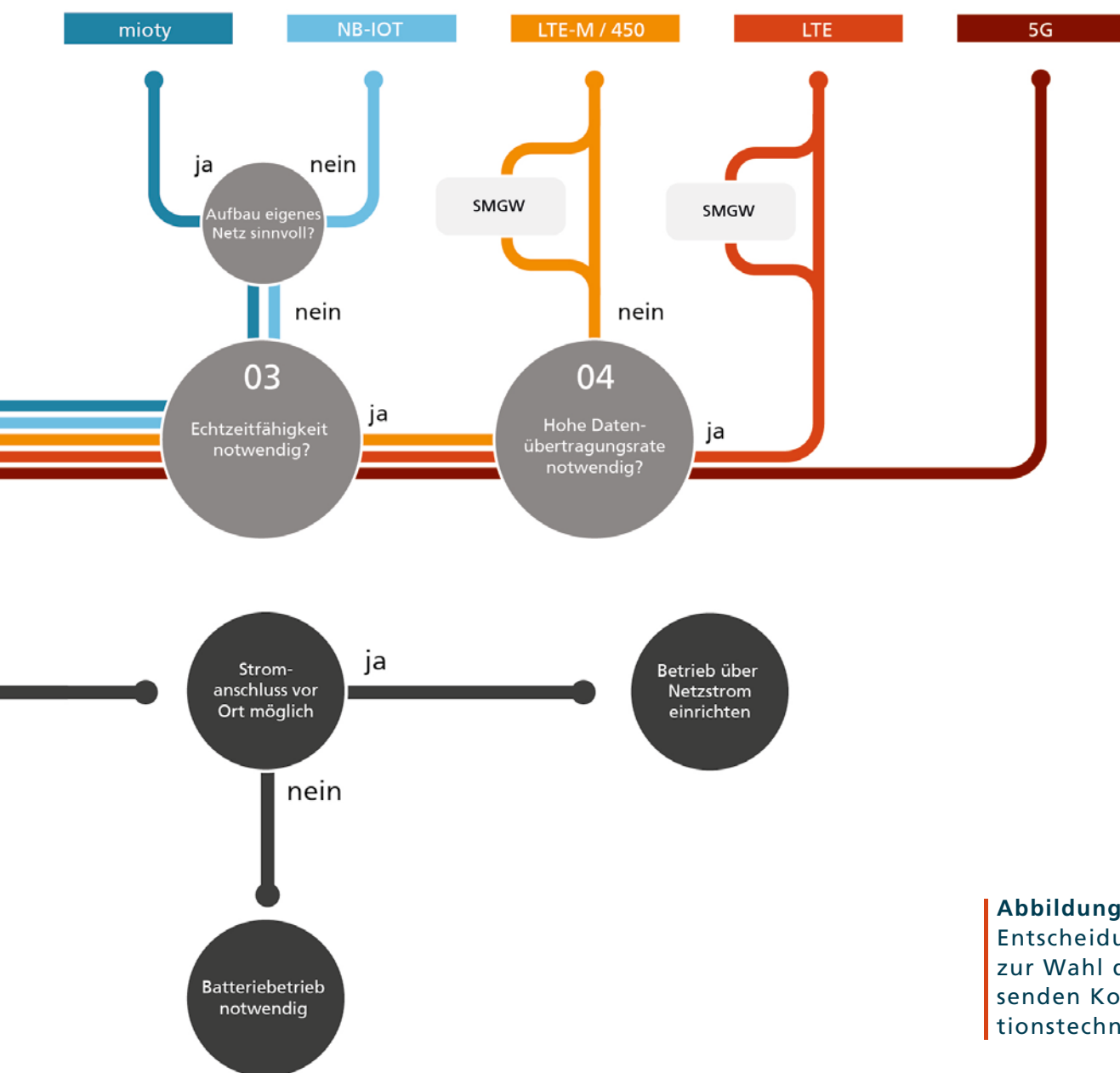
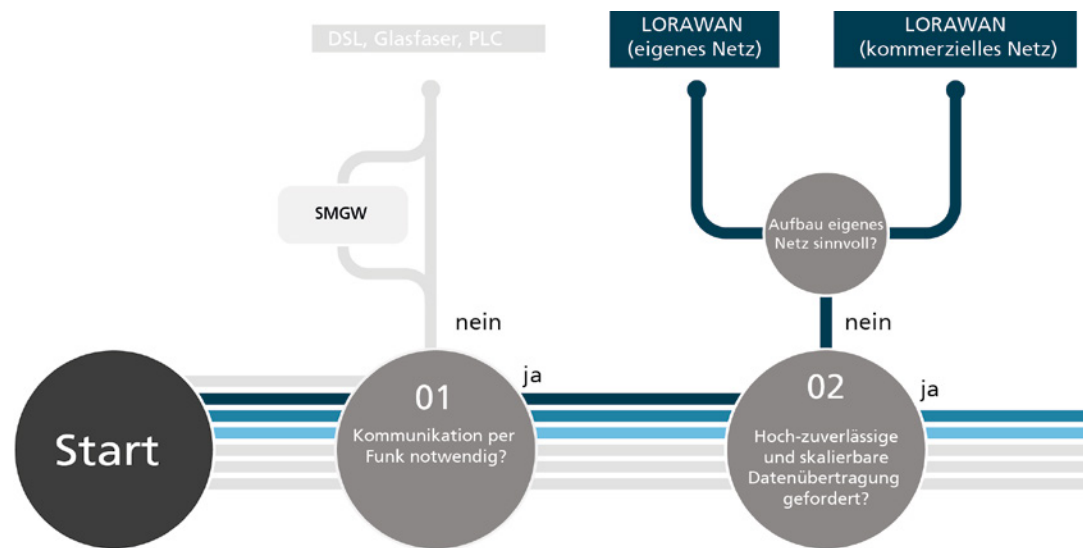


Abbildung 7
Entscheidungsbaum
zur Wahl der pas-
senden Kommunika-
tionstechnologie



Anwendungsbeispiel 1: Fernauslesung von Wärme- zählern

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 Nutzereinheiten 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 und 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 [64]. Ausnahme: die Hausstation befindet sich im Eigentum des Fernwärmeversorgungsunternehmens 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.

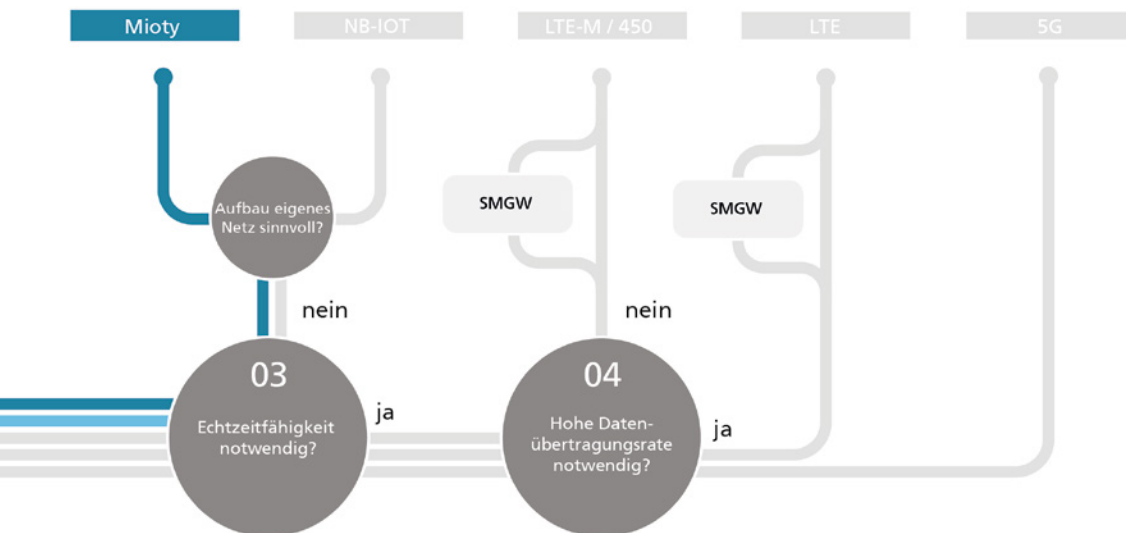


Abbildung 8
Entscheidungsbaum
zur Wahl der pas-
senden Kommunika-
tionstechnologie

- 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.

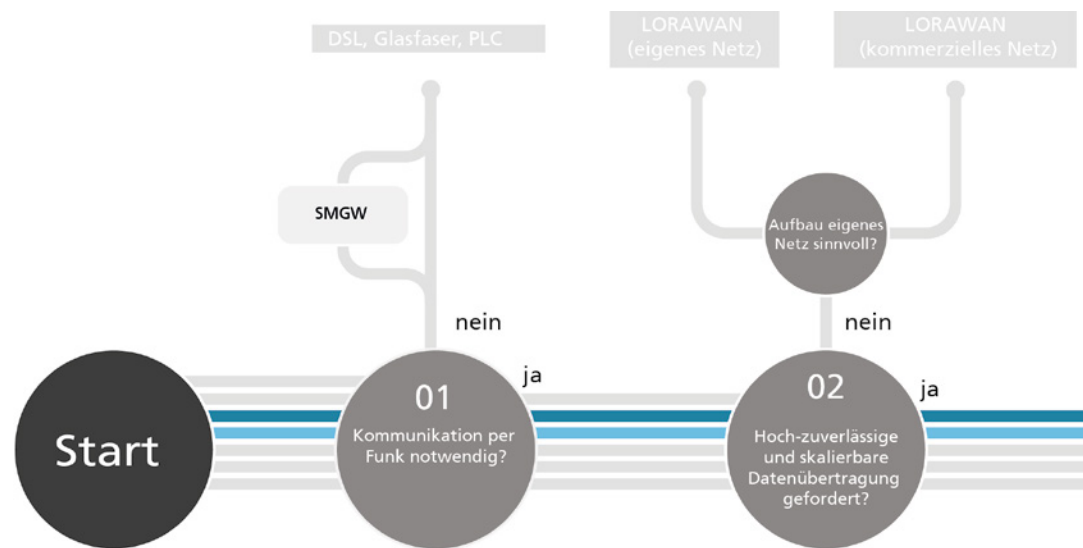
Technologiewahl

Für den hier beispielhaft skizzierten Anwendungsfall „Fernauslesung von Wärmezählern“ ist unter den angenommenen technischen Randbedingungen der Einsatz von LoRaWAN als auch von mioty zu empfehlen. Dies liegt, wie im nachfolgenden skizzierten Entscheidungsprozess (siehe Abbildung 8) dargestellt, an den geringen Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Echtzeitfähigkeit und Datenrate. 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- oder mioty-Infrastruktur in Kooperation mit einem erfahrenen Dienstleister. Dabei soll eine spartenübergreifende IoT-Datenplattform aufgebaut werden. In der Planungsphase wird parallel die optimale Platzierung potenzieller Gateways ermittelt. Dabei stellt sich heraus, dass für einige wenige entlegene Standorte zusätzlich die Nutzung von NB-IoT in Betracht gezogen werden sollte, da so 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 Netzschlecht- punkten

Kurzbeschreibung

Der hydraulische Netzschlecht-
punkt ist die Stelle mit dem niedrigsten Dif-
ferenzdruck zwischen Vor- und Rück-
lauf eines Fernwärmenetzes. Dieser
Netzschlecht-
punkt ist die Stelle im
Netz mit dem höchsten Risiko eines
Versorgungsengpasses. Das beispiel-
hafte Stadtwerk hat diese Differenz-
drücke bisher manuell abgelesen
und möchte sie zukünftig digital
erfassen und regelmäßig per Funk
übertragen. Ziel ist es, ein digitales
Monitoring der Netzschlecht-
punkte 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 Unterschied zu Anwen-
dungsbeispiel 3 manuell durch eine
technische Fachkraft.

Standortbedingungen und Anforde- rungen

- Messung der Differenzdrücke
an Erzeugungsstandorten, aber
auch in Schächten oder Über-
gabestationen in Kellerräumen
des Kunden, wodurch eine hohe
Gebäudedurchdringung erfor-
derlich ist. Eine kabelgebunde-
ne 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 Daten-
punkte hinzugefügt werden. Ein
Software-Update an der Mess-
stelle ist zukünftig nicht nötig
und 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

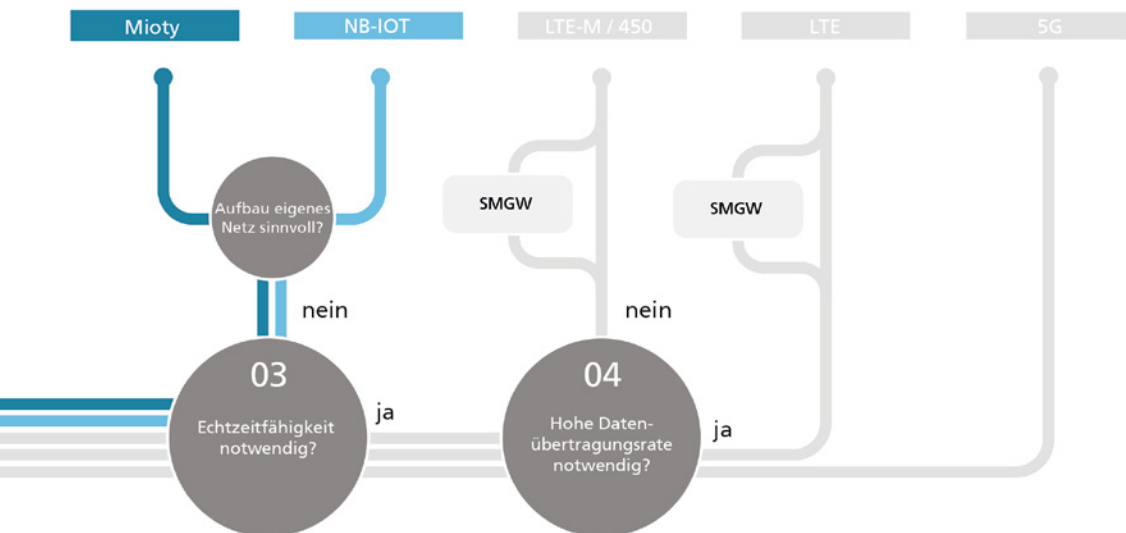


Abbildung 9
Entscheidungsbaum
für das Beispiel Fern-
auslesung von Wär-
mezählern

Fall wird eine Alarmfunktion ausgelöst und der Wert direkt übertragen. 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.

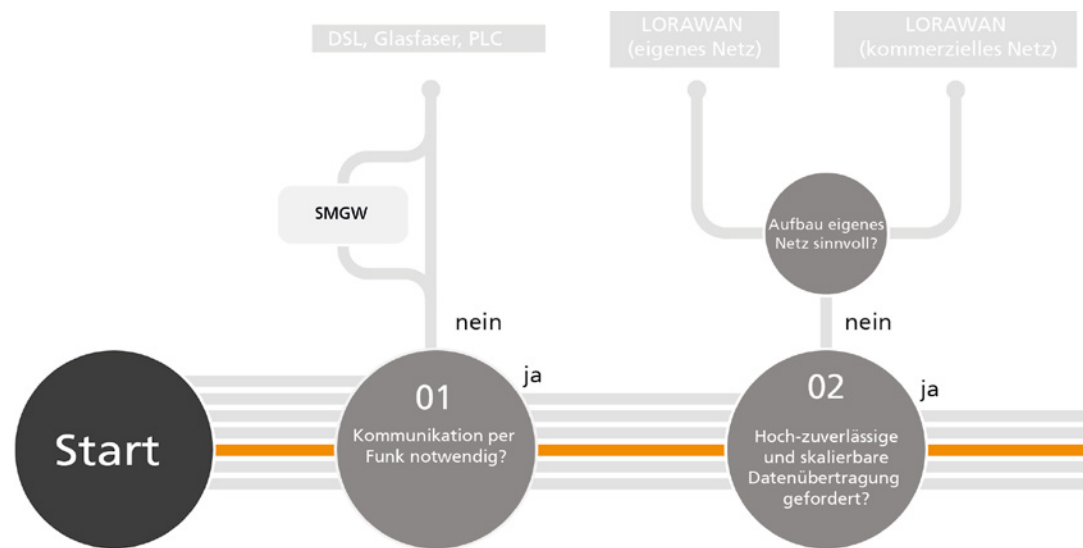
Technologiewahl

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 9). Sofern ein mioty-Netz für andere Anwendungsfälle bereits aufgebaut wurde oder dies geplant ist, kommt auch die Verwendung von mioty für die Schlechtpunktmessung in Betracht. In den nächsten Jahren erwägt das Stadtwerk zudem einen Wechsel zu LTE-450, um beispielsweise Störungen durch Überlastungen

des Mobilfunknetzes zu vermeiden. Der Mehrwert eines Technologiewechsels auf LTE-450 soll in exemplarischen Feldtests evaluiert werden.

Implementierungsvorbereitung:

An den für die Schlechtpunktmessung identifizierten relevanten Standorten (u. a. Schächte und Kellerräume an den Hausstationen) wurde von unserem Beispielstadtwerk eine Messung der Signalstärke durchgeführt. Aufgrund der ermittelten Signalqualität (siehe Exkurs: Signalqualität zu RSSI, RSRP) ist 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 Stromanschlüsse bereit.



Anwendungsbeispiel 3: Automatisierter Pumpenbetrieb

Kurzbeschreibung

Ziel des automatisierten Pumpenbetriebs ist die Echtzeitoptimierung der Netzpumpen auf Basis einer Differenzdruckvorgabe an Netzschlechtepunkten. Für das beispielhafte Fernwärmeversorgungsunternehmen erhöht sich die Komplexität des Netzbetriebs im Zuge der Dekarbonisierungsstrategie durch zusätzliche dezentrale Wärmeeinspeisung. Aus diesem Grund stattet es sein Fernwärmenetz mit einem umfangreichen Schlechtepunktmonitoring aus (siehe Anwendungsbeispiel 2). Es möchte den Betrieb der Pumpen zur Einhaltung eines vorgegebenen Minstdifferenzdrucks auf Basis der erfassten Daten automatisiert optimieren. Die Motivation für diese optimierte Fahrweise ist die Reduzierung der Stromkosten für den Pumpenbetrieb.

Standortbedingungen und Anforderungen

- Die Pumpen im Primärnetz sind dezentral auf die Stränge verteilt. Die Schlechtepunktmessungen erfolgen, wie in Beispiel 2 teilweise in Schächten und Kellern, weshalb eine hohe Gebäudedurchdringung erforderlich ist. Ein Stromanschluss für die Datenkommunikation sollte vorzusehen werden, eine leitungsgebundene Kommunikation ist jedoch in einigen Fällen nicht möglich.
- Bidirektionale Kommunikation erforderlich, d. h. Übertragung von Live-Daten von den Pumpen und Schlechtepunkten zur Leitwarte, Fernzugriff auf die Pumpen von der Leitwarte aus.
- Hohe Echtzeitfähigkeit mit kontinuierlicher Lieferung von Live-Daten alle 10 Sekunden, um ein ungünstiges Betriebsverhalten der Pumpen zu vermeiden. Übertragung nur von Differenzdrücken, ggf. ergänzt durch Temperaturmesswerte.

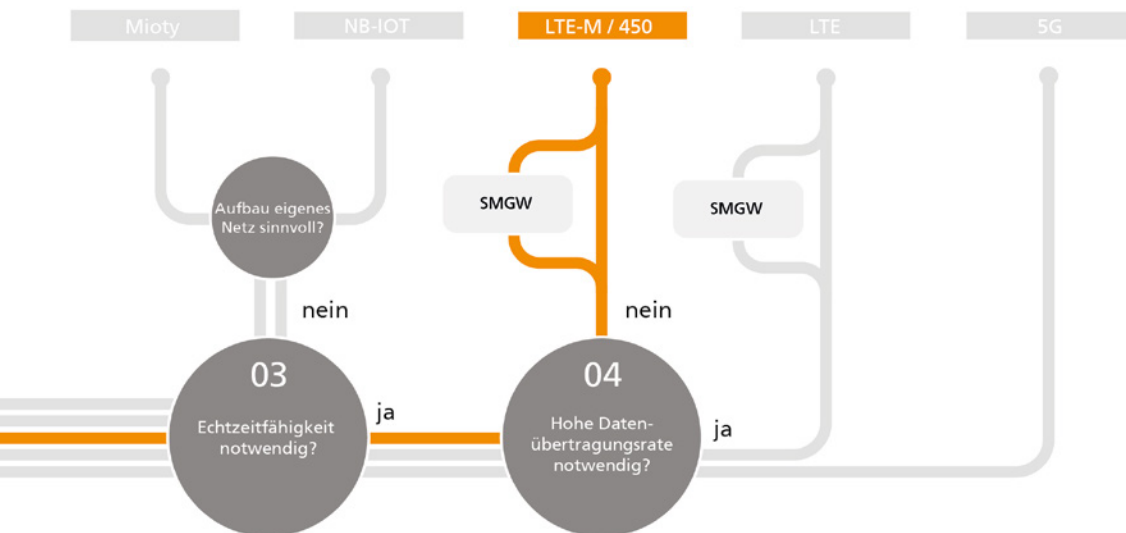


Abbildung 10
Entscheidungsbaum
für das Beispiel Mo-
nitoring von Netz-
schlechtpunkten

- Die Zuverlässigkeit der Kommunikationsverbindung ist entscheidend für einen effizienten Betrieb
- Moderater Kostendruck aufgrund geringer Stückzahlen, anschlussfähig an das Anwendungsbeispiel 2
- Implementierung der Steuerung und Messdatenintegration in die bestehende Leittechnik

Technologiewahl

Im Vergleich zu 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 (Abbildung 10). Zukünftig sieht das Fernwärmeunternehmen mit dem fortschreitenden Ausbau der 450 MHz Infrastruktur LTE-450 als Technologie der Wahl, aufgrund

der besseren Gebäudedurchdringung sowie einer Anwendungspriorisierung nach Kritikalität.

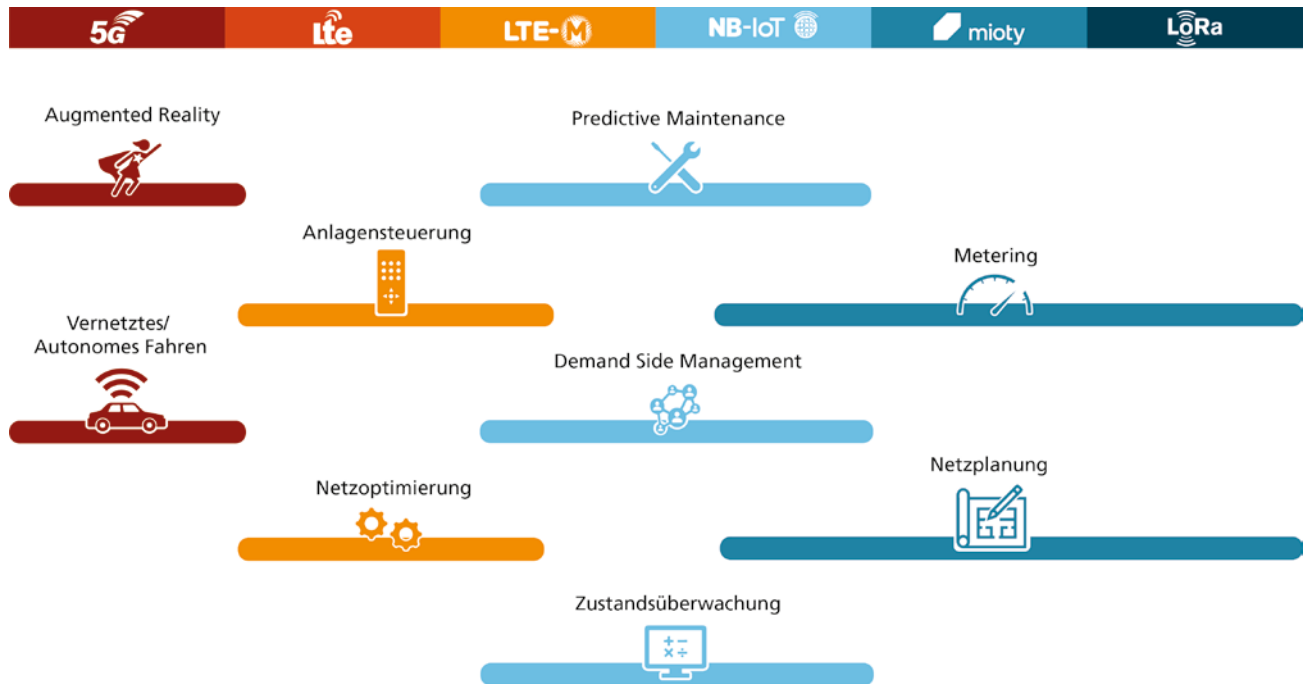
Implementierungsvorbereitung:

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 Technologieleitfaden, die bei der Entscheidung für eine geeignete drahtlose Kommunikationstechnologie im Kontext der Fernwärme berücksichtigt werden sollten:

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. Mioty und Mobilfunk zu berücksichtigen.
2. Bei den betrachteten Kommunikationstechnologien lag der Schwerpunkt auf den Funktechnologien mit hoher Reichweite und Marktreife in Deutschland. Eine leitungsgebundene Kommunikationslösung 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 in Echtzeit übertragen werden müssen. Geeignete Anwendungsfälle, wie z. B. die Unterstützung der Wartung durch Augmented Reality, sind mittelfristig denkbar.
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 oder LTE-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 Netzschlechtepunkten zur Vermeidung von Versorgungsengpässen oder für Anwendungen der prädiktiven Wartung. Je nach Datenmenge oder geforderter Energieeffizienz sind NB-IoT, LTE-M/450 und mioty eine gute Wahl.



6. Bei der Fernauslesung von Wärmezählern spielen aufgrund der hohen Geräteanzahl die Skalierbarkeit, 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 Wärmezählern bieten sich insbesondere die Technologien mioty und LoRaWAN an.

7. Bei der späteren Umsetzung können die Energieversorger in der Regel auf bestehende Infrastrukturen zurückgreifen - hierfür ist der Abschluss von Daten- bzw. Konnektivitätsabonnements erforderlich, bei Mobilfunk zusätzlich eine SIM-Karte.
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 11
Vergleich der Technologien hinsichtlich ihrer Eignung für verschiedene fernwärmespezifische Anwendungsfälle

Hintergrund zur Entstehung

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) 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 Energie (BMWE) fördert seit 2018 den National 5G Energy Hub (N5GEH). Das Projekt befasst sich mit der Einführung zukunftsweiser 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 energiewirtschaftliche Anwendungsfälle mit spezifischen Herausforderungen und Anforderungen zurückspeigeln.

Eines dieser Satellitenprojekte ist das BMWE 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 Energiewirt-

schaft 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 systema-



tisch 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 Energiesystemtechnik (IEE) hat dazu ein Technologiescreening mit Fokus auf drahtlose M2M-Kommunikations-

technologien 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, mioty und LoRaWAN untersucht. Das Endergebnis ist die vorliegende Projektbroschüre.

Weitere Informationen



fernwaerme-digital.de



n5geh.de



fraunhofer.de

Literaturverzeichnis

- [1] UMWELTBUNDESAMT: Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [2] AGFW E.V; DORNBERGER, Johannes (Mitarb.): AGFW Hauptbericht 2023. Frankfurt am Main, 12.2024
- [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) (in Kraft getr. am 09.2021) (09.2021). 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 – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [6] GUELPA, E. ; VERDA, V.: Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review. In: Energy 2021 (2021), Nr. 219. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220325470?via%3Dihub> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [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> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [8] 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> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [9] DEUTSCHE TELEKOM IOT GMBH: NarrowBand IoT / LTE-M : Die Maschinen- und Sensornetze. URL <https://iot.telekom.com/de/netze-tarife/narrowband-iot-lte-m> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [10] O2 BUSINESS: Mobilfunknetze für das Internet der Dinge – LPWAN. URL <https://www.o2business.de/iot/iot-wissen/iot-technologie/iot-lpwan/> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [11] 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/> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [12] LORA ALLIANCE: Technology Comparisons. URL <https://resources.lora-alliance.org/technology-comparisons> – Überprüfungsdatum 2025-07-29

- [13] POWUNITY: Sigfox, LoRa – Unabhängige Funknetze für den Datenaustausch? Das steckt dahinter! URL <https://powunity.com/sigfox-lora-unabhaengige-funknetze-fuer-den-datenaustausch> – Überprüfungsdatum 2025-07-29
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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
- [17] LINNEMANN, M. ; BROCKMANN, R. ; SOMMER, A. ; LEUFKES, R.: 450 MHz - Frequenz für kritische Infrastrukturen : Vorteile und Nutzen für Versorgungsunternehmen : Springer Vieweg, 2022 (essentials)
- [18] 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>. – Aktualisierungsdatum: 2025-08-02
- [19] 450CONNECT: Geschäftsmodell: Ein Kommunikationsnetz für Betreiber kritische Infrastrukturen. URL <https://www.450connect.de/ueber-450connect/geschaeftsmodell>. – Aktualisierungsdatum: 2025-08-02
- [20] SÖRRIES, B. ; LUCIDI, S.: Gutachten - Digitalisierung der Energiewende : TK-Netzinfrastuktur und TK-Regulierung. URL https://www.wik.org/fileadmin/files/_migrated/news_files/digitalisierung-der-energiewende.pdf
- [21] LINNEMANN, M. ; SOMMER, A. ; LEUFKES, R.: Einsatzpotentiale von LoRa-WAN in der Energiewirtschaft : Praxisbuch zu Technik, Anwendung und regulatorischen Randbedingungen : Springer Vieweg, 2019
- [22] TELEKOM: Karte zur Netzabdeckung von NB-IoT und LTE-M. URL <https://t-map.telekom.de/tmap2/mobileiot/> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [23] MIOTY ALLIANCE: mioty alliance - mioty alliance. URL <https://mioty-alliance.com/>. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-10 – Überprüfungsdatum 2025-06-26
- [24] DÜNKLER, René ; ROTH, Maximilian: mioty@ – LPWAN-Technologie für zukünftige Herausforderungen von Smart-Metering- und Smart-City-Anwendungen. In: ITG news 2025 (2025), Nr. 2, S. 16–18. URL <https://www.vde.com/resource/blob/2381806/ab153f179258df263afcafe06df04bb1/itg-news-april-2025-download-data.pdf> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [25] ROBERT, Joerg ; LAUTERBACH, Thomas: mioty Comperative Study Report. Ilmenau, 08/2023

- [26] VIVEK MOHAN: An Introduction to wireless M-Bus. URL <https://pages.silabs.com/rs/634-SLU-379/images/introduction-to-wireless-mbus.pdf>. – Aktualisierungsdatum: 2013 – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [27] ALERTING SOLUTIONS - BLUE LIGHT ORGANIZATIONS AND INDUSTRY - SWISSPHONE: m.BUTTON mioty®. URL <https://www.swissphone.com/de/product/sos-button-mioty/funktechnologie-mioty/>. – Aktualisierungsdatum: 2025-04-04 – Überprüfungsdatum 2025-09-01
- [28] MICHELE TOLLARDO: Wireless M-Bus : Discovering the European wireless standard for consumption monitoring and billing. URL https://www.gavazziautomation.com/fileadmin/docs/download_area/white_papers/WIRELESS_M-BUS_WP_21_07_EN.pdf. – Aktualisierungsdatum: 07/2021 – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [29] KOWAL, Michal ; STANIEC, Kamil: Investigations of the Wireless M-Bus System Resilience under Challenging Propagation Conditions. In: Electronics 12 (2023), Nr. 4, S. 907
- [30] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK: Technische Richtlinie BSI TR-03108-1 : Anlage III: Feinspezifikation „Drahtlose LMN-Schnittstelle“. URL https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-1_Anlage_Feinspezifikation_Drahtlose_LMN-Schnittstelle.html
- [31] OPEN METERING SYSTEM GROUP E.V.: Open-Metering-System-Specification_Annex-Q : OMS LPWAN Annex Q to Volume 2 Primary Communication Issue 5.0.1 Release A. 12.2023
- [32] SCHMIDIGER FUNKLÖSUNGEN: IoT (Internet of Things) – Welche Funktechnologien setzen sich durch? URL <https://www.schmidiger.ch/blog/funktechnologien-im-internet-of-things>
- [33] SAUTER, M.: Grundkurs mobile Kommunikationssysteme : 5G New Radio und Kernnetz, LTE-Advanced Pro, GSM, Wireless LAN und Bluetooth. 8. Auflage : Springer Vieweg, 2022
- [34] LORA ALLIANCE®: What is LoRaWAN® Specification - LoRa Alliance®. URL <https://lora-alliance.org/about-lorawan-old/>. – Aktualisierungsdatum: 2024-06-07 – Überprüfungsdatum 2025-07-06
- [35] FRAUNHOFER IIS: Mioty : Robuste IOT-Konnektivität. URL <https://www.iis.fraunhofer.de/content/dam/iis/de/doc/lv/ok/20180504-MIOTY-Flyer-DIN-lang-8S-de-WEB.pdf> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [36] BUNDESNETZAGENTUR: Allgemeinzuteilung 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. – Aktualisierungsdatum: 2025-08-02
- [37] Echtzeit, Echtzeitsysteme, Echtzeitbetriebssysteme. In: SCHOLZ, Peter (Hrsg.): Softwareentwicklung eingebetteter Systeme. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2005 (Xpert.press), S. 39–73

- [38] LIN, X. ; LEE, N.: 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>. – Aktualisierungsdatum: 2025-08-02
- [40] SEMTECH: LoRa Modulation Basics 2015 (2015). URL <https://www.frugal-prototype.com/wp-content/uploads/2016/08/an1200.22.pdf> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [41] Bundesnetzagentur - Presse - Bundesnetzagentur erweitert Mobilfunk-Karte um das leistungsstärkste 5G Standalone. URL https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240613_MoFu.html. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-23 – Überprüfungsdatum 2025-06-23
- [42] TELTONIKA: Mobile Signal Strength Recommendations. URL https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [43] PUTRA, Gubtha Mahendra ; BUDIMAN, Edy ; MALEWA, Yonatan ; CAHYADI, Dedy ; TARUK, Medi ; HAIRAH, Ummul: 4G LTE Experience: Reference Signal Received Power, Noise Ratio and Quality. In: 2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT) : IEEE, 2021, S. 139–144
- [44] STATISTA: 4G, 5G and 6G connection density| Statista. URL <https://www.statista.com/statistics/1183690/mobile-broadband-connection-density/>. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-26 – Überprüfungsdatum 2025-06-26
- [45] JORKE, Pascal ; GEBAUER, Tim ; BOCKER, Stefan ; WIETFELD, Christian: Scaling Dense NB-IoT Networks to the Max: Performance Benefits of Early Data Transmission. In: 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring) : IEEE, 2022, S. 1–7
- [46] LTE-M and NB-IoT meet the 5G performance requirements - Ericsson. URL <https://www.ericsson.com/en/blog/2018/12/lte-m-and-nb-iot-meet-the-5g-performance-requirements?>. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-26 – Überprüfungsdatum 2025-06-26
- [47] White-Paper-LTE-M-Performance-Towards-5G. URL <https://altair.sony-semicon.com/wp-content/uploads/2019/04/White-Paper-LTE-M-Performance-Towards-5G.pdf> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [48] FRAUNHOFER IIS: Press release : mioty® ̳ The all-around talent for industrial IoT applications handles 3.5 million messages per day. URL https://www.iis.fraunhofer.de/content/dam/iis/en/doc/pr/2022/20220524_mioty_industrial_iot.pdf. – Aktualisierungsdatum: 2022 – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [49] SEMTECH COOPERATION: LoRa® and LoRaWAN®. URL <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/lora-and-lorawan.pdf> – Überprüfungsdatum 2025-08-02

- [50] 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
- [51] 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 – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [52] Impuls “Steuerungsadministration bei der Steuerung aus dem SMGW“. URL <https://www.vde.com/de/fnn/aktuelles/weitere-steuerungsmoeglichkeit-erschliessen-direkte-steuerung-aus-dem-smart-meter-gateway> – Aktualisierungsdatum: 2025-07-04 – Überprüfungsdatum 2025-07-04
- [53] DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR: Intelligentes Messsystem - Grundpfeiler der Digitalisierung des Energiesystems des Energiesystems 2024 (2024). URL <https://www.dena.de/infocenter/intelligentes-messsystem-grundpfeiler-zur-digitalisierung-des-energiesystems/> – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [54] DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH: Regulatorische Vorgaben für externe Marktteilnehmer (EMT) : Status quo der Anforderungen für die Kommunikation mit intelligenten Messsystemen und die Nutzung der Smart Meter Gateway Infrastruktur in Deutschland (2024). URL https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Leitfaden_Regulatorische_Vorgaben_fuer_externe_Marktteilnehmer.pdf
- [55] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ: Smart-Meter-Rollout beschleunigen und entbürokratisieren. URL https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/230111_ueberblick-smart-meter-rollout.pdf?__blob=publicationFile&v=1 – Überprüfungsdatum 2025-07-03
- [56] Bundesnetzagentur - Quartalsweise Erhebungen iMSys. URL <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzzugangMesswesen/Mess-undZaehlwesen/iMSys/start.html>. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-12 – Überprüfungsdatum 2025-06-12
- [57] BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ: Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (in Kraft getr. am 02.2025) (02.2025). URL https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/EnWG.pdf – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [58] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) (in Kraft getr. am 02.2025) (02.2025). URL https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html – Überprüfungsdatum 2025-08-02
- [59] POWER PLUS COMMUNICATIONS AG: WARAN – Wärme anbinden und netzdienlich nutzen - Power Plus Communications AG. URL <https://www.ppc-ag.de/de/innovation/innovationsprojekte/waran-waerme-anbinden-und-netzdienlich-nutzen/>. – Aktualisierungsdatum: 2024-07-17 – Überprüfungsdatum 2025-07-04
- [60] FFE: WARAN – Wärme anbinden und netzdienlich nutzen - FfE. URL <https://www.ffe.de/projekte/waran-waerme-anbinden-und-netzdienlich-nutzen/>. – Aktualisierungsdatum: 2025-06-25 – Überprüfungsdatum 2025-07-07

[61] EFF, Ulrich: Sichere und standardisierte Kommunikation von Wärmezählern : AGFW Expertenforum Digital 2025. 2025

[62] OPEN METERING SYSTEM GROUP E.V.: Open Metering System Specification Vol.2 Annex Q : OMS LPWAN Release A. URL https://oms-group.org/wp-content/uploads/2024/10/OMS-Spec_Vol2_Primary_v501_01.pdf. – Aktualisierungsdatum: 12.2023 – Überprüfungsdatum 2025-08-02

[63] OPEN METERING GROUP E.V.: Open Metering System Specification : Volume 1 General Part. URL https://oms-group.org/wp-content/uploads/2024/05/OMS-Spec_Vol1_General_v241.pdf. – Aktualisierungsdatum: 12/2023 – Überprüfungsdatum 2025-08-02

[64] 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 – Überprüfungsdatum 2025-08-02

Bildnachweis



Titelbild: Adobe Stock

Adobe Stock: VI, 5, 7, 11, 13, 15, 23, 39, 47

Fraunhofer IEE: 3, 5, 8, 17, 20, 25, 28f, 30f, 32f, 34f, 37

