

---

# Energieeffizienz in öffentlichen Liegen- schaften steigern: Gute Beispiele für LoRaWAN-Anwendungen

Autorinnen:

Annette Hillebrand, Julia Wielgosch, Marina Happ

## Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für  
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH  
Rhöndorfer Str. 68  
53604 Bad Honnef  
Deutschland  
Tel.: +49 2224 9225-0  
Fax: +49 2224 9225-63  
E-Mail: [info@wik.org](mailto:info@wik.org)  
[www.wik.org](http://www.wik.org)

### Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Smart Cities/Smart Regions	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Stand: Juli 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>Summary</b>	<b>4</b>
<b>1 Energiesparpotenziale kommunaler Liegenschaften</b>	<b>5</b>
<b>2 Realisierung von digitalen Lösungen mit LoRaWAN</b>	<b>7</b>
2.1 LoRaWAN und das Internet der Dinge	7
2.2 LoRaWAN im Vergleich mit anderen LPWAN-Technologien	10
2.3 Abgrenzung zu Smart-Meter-Anwendungen	11
<b>3 Praxisbeispiele: LoRaWAN-Anwendungen für mehr Energieeffizienz in Kommunen</b>	<b>13</b>
3.1 Anwendungsspektrum	13
3.2 Beispiele aus Großstädten	16
3.3 Beispiele aus Mittelstädten	17
3.4 Beispiele aus Kleinstädten und Landgemeinden	18
<b>4 Kostenstruktur</b>	<b>19</b>
<b>5 Akteure und Betreibermodelle</b>	<b>21</b>
<b>6 Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in der Umsetzung</b>	<b>22</b>
<b>7 Schlussfolgerungen</b>	<b>23</b>
<b>8 Literaturverzeichnis</b>	<b>25</b>

## Abbildungen

Abbildung 1-1: Kommunale Nichtwohngebäude nach Nutzungsart (2011)	5
Abbildung 2-1: Netzwerkarchitektur LoRaWAN	8
Abbildung 2-2: Vergleich von verschiedenen Funktechnologien hinsichtlich Datenrate und Reichweite	8
Abbildung 3-1: Anzahl der untersuchten Projekte nach Stadt- und Gemeindetyp	14
Abbildung 3-2: Regionale Verteilung der untersuchten Projekte	14
Abbildung 3-3: Wortwolke zur Themenvielfalt der untersuchten Projekte	15



## Zusammenfassung

Seit etwa 2018 statten mehr und mehr Kommunen in Deutschland ihre Flächen und Gebäude mit Netzwerken aus, die auf LoRaWAN-Funktechnik basieren. Dies bietet viele Vorteile für Gemeinden, Städte und Kreise. Zum Beispiel können Grünflächen intelligent bewässert, der Wärmeverbrauch in Schwimmbädern und Schulen überwacht oder die Schließanlagen von öffentlichen Gebäuden kontrolliert werden. Dabei sind erste Versuche und Pilotprojekte in vielen Kommunen einer dauerhaften Einrichtung gewichen: nach ersten Tests hat eine vielversprechende Umsetzungsphase begonnen.

Anwender bauen eigene Netze auf oder nutzen die verfügbaren offenen Netze wie sie zum Beispiel The Things Network, Niederlande, weltweit bereitstellt und profitieren so von Netzwerkeffekten. Die gemeinnützige LoRa Alliance betreut den Standard. Jede Kommune kann die lizenzfreien Protokolle nutzen und ebenso die grundlegenden Softwaremodule, die als Open Source zur Verfügung stehen.

In dieser Studie aus dem WIK-Forschungsprogramm 2023 wird analysiert, wie mit guten Beispielen für LoRaWAN-Anwendungen die Energieeffizienz in öffentlichen Liegenschaften gesteigert werden kann. Auf Grundlage von 121 identifizierten LoRaWAN-Projekten wurden sechs Fallbeispiele in Hinblick auf ihren Beitrag zum Energiesparen ausgewählt und analysiert, Expertengespräche geführt und ein interaktiver Workshop veranstaltet.

Ein wichtiger Treiber für innovative LoRaWAN-Anwendungen in den letzten zwei Jahren war die Energiekrise, die viele Kommunen vor das Problem stellte, die Datenbasis für unmittelbare Steuerungen und längerfristige Investitionsentscheidungen zur energetischen Sanierung ihrer zahlreichen Liegenschaften zu verbessern.

Ein LoRaWAN-Sensornetzwerk bietet eine lizenzfreie, kurzfristig umsetzbare und kostengünstige Lösung, um Verbrauchswerte für Strom, Gas und Wärme digital zu erheben und zentral einsehbar zu machen. Das Netz kann mit Sensoren und Gateways beliebig erweitert werden. Es bildet eine Basis für Datenanalysen und damit für intelligentes Gebäude- und Energiemanagement. Da die Anlagen nicht dem Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) entsprechen, sind sie im Wesentlichen nicht für Abrechnungen nutzbar. Die Beispielkommunen führen jedoch erfolgreich ein Verbrauchsmonitoring durch und realisieren zum Teil Kosteneinsparungen im vier- bis fünfstelligen Bereich. LoRaWAN-Vorteile nutzen Kommunen jeder Größenklasse auch für weitere zukunftsgerichtete Smart-City-Anwendungen. Die Lösungen werden von Kommunen, Stadtwerken und spezialisierten IT-Dienstleistern ausgebaut. Die Kosten orientieren sich am Kundenbedarf in Bezug auf die Sensorauswahl und Gateways, den Installationsaufwand und die Angebote für Datenverarbeitung und -visualisierung, Wartung und weitere Maßnahmen. Häufig stützen sich die Initiatoren der Projekte zu Beginn auf Fördermittel. Der langfristige Betrieb ist meist noch offen. Geschäftsmodelle wie etwa abonnementbasierte Modelle können je nach den spezifischen Bedürfnissen und Prioritäten einer Kommune angepasst und mit anderen Serviceleistungen kombiniert werden.

## Summary

Since around 2018, more and more local authorities in Germany have been equipping their areas and buildings with networks based on LoRaWAN wireless technology. This offers many advantages for municipalities, cities, and districts. For example, green spaces can be watered intelligently, heat consumption in swimming pools and schools can be monitored and the locking systems of public buildings can be controlled. Initial trials and pilot projects in many municipalities have given way to permanent installations: following initial tests, a promising implementation phase has begun.

Users are setting up their own networks or using the available open networks, such as those provided worldwide by The Things Network, Netherlands, and thus benefiting from network effects. The non-profit LoRa Alliance manages the standard. Any municipality can use the license-free protocols and the basic software modules, which are available as open source.

This study from our research program 2023 analyses how energy efficiency in public properties can be increased with good examples of LoRaWAN applications. Based on 121 identified LoRaWAN projects, six case studies were selected and analysed regarding their contribution to energy saving, expert interviews were conducted, and an interactive workshop was held.

The energy crisis has been an important driver for innovative LoRaWAN applications in the last two years, which has presented many municipalities with the problem of improving the data basis for immediate control and longer-term investment decisions on energy refurbishment to save energy in their numerous properties.

A LoRaWAN sensor network is a license-free solution that can be implemented quickly and cost-effectively to digitally collect consumption data for electricity, gas and heat and make it centrally accessible. The network can be expanded as required with sensors and gateways. It forms a basis for data analysis and therefore for intelligent building and energy management. However, as the systems do not comply with the Act on Metering Point Operation and Data Communication in Smart Energy Networks in general, they cannot be used for billing. However, the example municipalities successfully monitor consumption and, in some cases, realise cost savings in the four to five-digit range. Municipalities of all sizes are also using the advantages of LoRaWAN for other future-oriented smart city applications. The solutions are being expanded by local authorities, municipal utilities, and specialised IT service providers. The costs are based on customer requirements in terms of sensor selection and gateways, installation costs and offers for data processing and visualization, maintenance, and further implementation of measures. Initially, the initiators of the projects often rely on subsidies. Long-term operation is usually still undefined. Business models such as subscription-based models can be customised according to the specific needs and priorities of a municipality and combined with other services.

## 1 Energiesparpotenziale kommunaler Liegenschaften

Die 11.014 Städte und Gemeinden und 294 Landkreise in Deutschland verwalten eine Vielzahl an Liegenschaften. Dies sind in erster Linie rund 176.000 Nichtwohngebäude, wie Schulen und Weiterbildungseinrichtungen, Kindertagesstätten, Gebäude für den Bereitschafts- und Rettungsdienst, Sport- und Schwimmhallen. Zusätzlich bewirtschaften Kommunen weitere Liegenschaften wie beispielsweise ca. 2,3 Mio. Wohnungen im Eigentum kommunaler Wohnungsunternehmen. Die Bewirtschaftung von Gebäuden ist bekanntermaßen sehr energieintensiv: Etwa 35 Prozent des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs entfallen auf Gebäude, davon 37 Prozent auf Nichtwohngebäude.<sup>1</sup>

Für den Energieverbrauch öffentlicher Liegenschaften ist leider keine durchgängige statistische Datenbasis verfügbar. Typische große Einzelposten sind jedoch Kläranlagen, Straßenbeleuchtung, Schulen und Kindertagesstätten sowie Sport- und Freizeiteinrichtungen.

Abbildung 1-1: Kommunale Nichtwohngebäude nach Nutzungsart (2011)



Quelle: Hebel, Jahn, Clausnitzer (2011).

Die Kosten der Strom- und Wärmeversorgung der kommunalen Liegenschaften belaufen sich auf ca. 3,8 Mrd. Euro jährlich, zusätzlich fallen ca. eine Mrd. Euro für die Straßenbeleuchtung an (Angaben aus dem Jahr 2018).<sup>2</sup> Der Deutsche Städte- und Gemeindebund schätzt, dass sich diese Kosten nach den hohen Preissteigerungen für Strom und Wärme in den Jahren 2022 und 2023 auf zehn bis 15 Mrd. Euro jährlich verdoppelt bis verdreifacht haben.<sup>3</sup> Gemäß einer nicht-repräsentativen Kommunalbefragung des Difu-Instituts (2022) stieg der Anteil der Kosten für Wärme, Strom und Treibstoff am kommunalen Haushalt spürbar von im Median 1,5 Prozent der Gesamtausgaben im Jahr 2020 auf im

<sup>1</sup> Dena (2018).

<sup>2</sup> Ebenda.

<sup>3</sup> Norddeutscher Rundfunk (2023).

Median zwei Prozent im Jahr 2022. Für rund die Hälfte der befragten Kommunen ist diese Belastung „nur schwer“ (46 %) oder sogar „gar nicht“ (5 %) zu schultern. Für fünf Prozent der Kommunen fallen die Mehrbelastungen hingegen nicht ins Gewicht, knapp 40 Prozent spüren diese zwar, halten sie aber für handhabbar.<sup>4</sup>

In der Energiekrise in Folge des russischen Überfalls auf die Ukraine im Februar 2022 reagieren viele Kommunen mit kurzfristigen Maßnahmen, um Energie und Kosten zu sparen. Zum Beispiel verkürzen sie die Leuchtzeiten der nächtlichen Straßenbeleuchtung, senken die Raumtemperaturen in Verwaltungsgebäuden, schränken Öffnungszeiten öffentlicher Gebäude ein und senken die Wassertemperatur in Schwimmbädern.<sup>5</sup> Gleichzeitig planen Kommunen langfristige Investitionen, um mit den steigenden Energiepreisen zukünftig besser umgehen zu können. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien zählt dazu insbesondere die Steigerung der Energieeffizienz, um Verbräuche zu senken.<sup>6</sup>

Eine wichtige Voraussetzung für einen effizienten Energieverbrauch in öffentlichen Liegenschaften ist es, Daten zu den aktuellen Verbräuchen zu haben. Allerdings kennen Kommunen oftmals nur die jährlichen Kosten aus den Abrechnungen der Versorger oder behelfen sich mit Zwischenablesungen und einem manuellen Gebäudemonitoring durch Hausmeister oder andere Verwaltungsmitarbeitende. Viele Kommunen betreiben zudem kein systematisches Energiemanagement, um eine Übersicht über die Verbräuche der verschiedenen Liegenschaften zu erlangen. Gemäß der nicht-repräsentativen Befragung des Difu-Instituts verfügen etwa 46 Prozent der befragten Kommunen über ein Energiemanagementsystem.<sup>7</sup> Gesetzliche Vorgaben existieren in diesem Bereich kaum: Die Länder Baden-Württemberg (erstmalig für das Jahr 2020) und Niedersachsen (erstmalig für das Jahr 2022) verpflichten alle Kommunen über das jeweilige Landes-Klimaschutzgesetz, die Energieverbräuche ihrer Liegenschaften zu erfassen und bereitzustellen. Für Berlin ergibt sich eine entsprechende Pflicht aus dem Berliner Klima- und Energiewendegesetz.

Für mehr Energieeffizienz in öffentlichen Liegenschaften kann LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) eingesetzt werden, um Daten aus Verbrauchszählern in kleinen Zeitintervallen automatisch zu übermitteln und zentral für die Liegenschaftsverwaltung vor Ort bereitzustellen. Weitere Sensoren können in das Netzwerk integriert werden, die beispielsweise Daten zu Raumtemperaturen, zur Belegung von Räumen und Schreibtischen oder zur Erfassung von Tür- und Fensteröffnungen liefern.

LoRaWAN ist eine Technologie, die es ermöglicht, Daten drahtlos über weite Strecken bei geringem Energieverbrauch der Sensorik zu übertragen.

Damit bietet LoRaWAN das Potenzial, eine digitale Datengrundlage zu Verbräuchen und für das Gebäudemonitoring zu schaffen, um die Bewirtschaftung zu verbessern, Störungen schneller zu erkennen und Investitionen in neue Anlagentechnik passgenauer zu dimensionieren. Dies kann gleichermaßen der Einsparung von Energie wie auch der finanziellen Entlastung der öffentlichen Hand dienen. Viele Kommunen und Regionen bauen auf dem Weg zur Smart City/Smart Region seit etwa fünf Jahren eigene LoRaWAN-Infrastrukturen auf und erproben in Pilotprojekten Anwendungsfälle in unterschiedlichen Bereichen, wie unter anderem im Energie- und Gebäudemanagement.

Ziel dieser Studie ist es, die Potenziale von LoRaWAN für mehr Energieeffizienz in öffentlichen Liegenschaften anhand von Fallbeispielen herauszuarbeiten. Der Fokus liegt dabei auf kommunalen

---

<sup>4</sup> KfW Research (2022).

<sup>5</sup> Norddeutscher Rundfunk (2022).

<sup>6</sup> KfW Research (2022).

<sup>7</sup> Ebenda.



Liegenschaften und Lösungen für einen effizienteren Strom-, Gas- und Wärmeverbrauch. Folgende Leitfragen stehen im Vordergrund:

- Welche Rolle spielen LoRaWAN andere Schmalband-Technologien zur digitalen Datenerfassung und -übertragung?
- Welche Praxisbeispiele gibt es für LoRaWAN-Anwendungen für mehr Energieeffizienz in öffentlichen Liegenschaften?
- Welche Potenziale und Grenzen bieten solche Anwendungen?
- Welche Kosten für Installation und Betrieb stehen dem gegenüber?
- Wie wird Installation und Betrieb solcher Lösungen in der Praxis organisiert? Welche Geschäftsmodelle ergeben sich für Stadtwerke und IT-Dienstleister?
- Was sind Erfolgsfaktoren und Herausforderungen in der Umsetzung?

Die Analyse baut auf einem Methodenmix auf. Es wurden Fachliteratur sowie Meldungen aus Kommunen und kommunalen Unternehmen ausgewertet und 121 Praxisbeispiele aus Kommunen unterschiedlicher Größenklassen tabellarisch erfasst und systematisch ausgewertet. Sechs Fallbeispiele wurden ausgewählt und in der Studie dargestellt. Am 26. September 2023 fand ein digitaler WIK-Expertenworkshop<sup>8</sup> mit vier Fachvorträgen aus Lübeck, Osnabrück, Schimberg in Thüringen und Wolfsburg sowie mit 40 Diskutanten aus Kommunen, Stadtwerken, IT-Unternehmen, Energie-/Klimaschutzagenturen und der Bundesnetzagentur statt. Zwölf strukturierte Experteninterviews mit Projektleitern aus Kommunen und Unternehmen, Agentur- und Behördenvertretern und Vertretern der Zivilgesellschaft sowie zwölf Hintergrundgespräche mit Kommunen, Stadtwerken, IT-Dienstleistern, der Bundesnetzagentur und Energie-/Klimaschutzagenturen ergänzten die Recherche.

## 2 Realisierung von digitalen Lösungen mit LoRaWAN

### 2.1 LoRaWAN und das Internet der Dinge

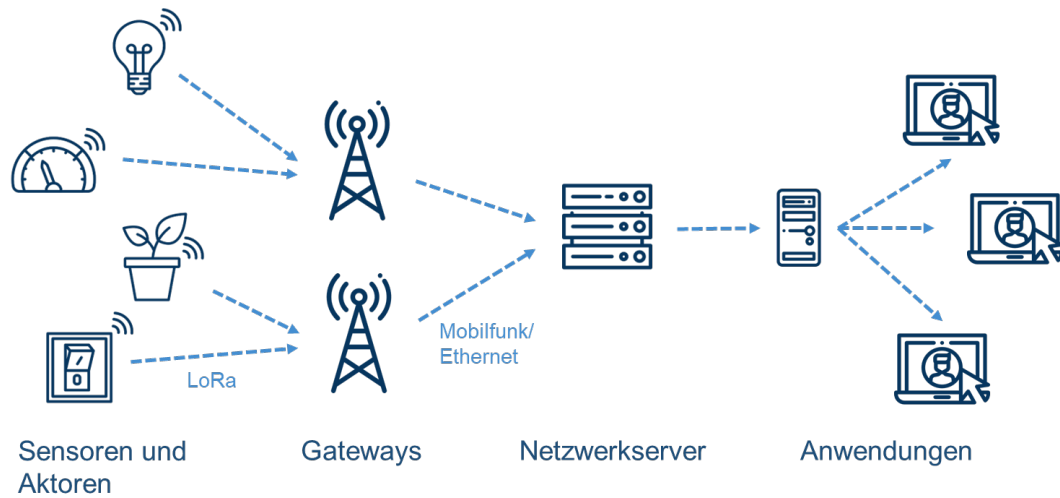
Das Internet der Dinge (Englisch: Internet of Things, kurz: IoT) ist ein Konzept, das sich auf die Vernetzung von physischen Objekten bezieht, um sie miteinander und mit dem Internet zu verbinden. Dadurch können diese Objekte automatisiert Daten sammeln, verarbeiten und miteinander kommunizieren. Der mögliche Anwendungsbereich umfasst intelligente Heimgeräte und vernetzte Fahrzeuge bis hin zu industriellen Anwendungen und verschiedensten Maßnahmen in smarten Städten und Regionen.

Eine Möglichkeit, diese Vernetzung zu realisieren ist LoRaWAN. LoRaWAN ist ein offenes Netzwerkprotokoll. Es legt fest, wie Daten mittels der physikalischen Übertragungsschicht LoRa übertragen werden. Der LoRaWAN-Standard wird durch die gemeinnützige LoRa Alliance definiert, weiterentwickelt und offen zur Verfügung gestellt und ist von der International Telecommunication Union (ITU) als LPWAN Standard (Low Power Wide Area Network) anerkannt. Die erste Version wurde im Jahr 2015 veröffentlicht. Die zugrundeliegende, proprietäre Funktechnik LoRa wird durch das Unternehmen Semtech entwickelt und lizenziert.

---

<sup>8</sup> Hillebrand, A.; Wielgosch, J. (2023).

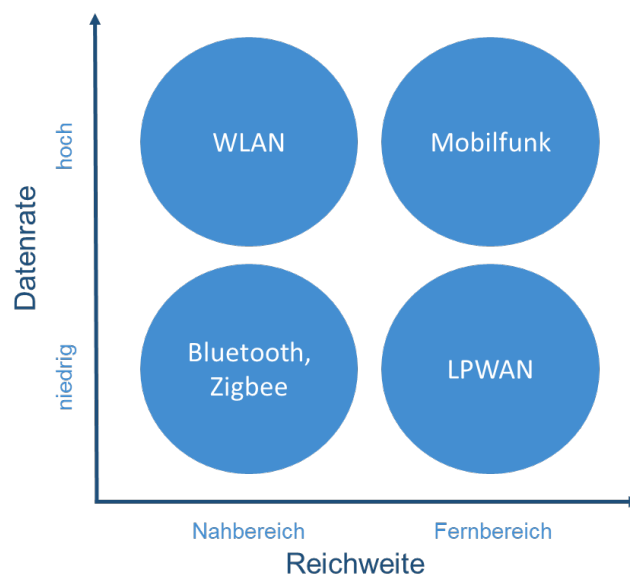
Abbildung 2-1: Netzwerkkonstruktion LoRaWAN



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Ein Netzwerk besteht aus Endgeräten mit vielfältigen Sensoren und Aktoren, die mittels LoRaWAN mit Gateways kommunizieren. Sensoren erfassen Daten und Aktoren empfangen Daten, um entsprechende Befehle umzusetzen, wie beispielsweise das Einschalten der Beleuchtung durch Bewegungsmelder. Die Gateways leiten die Daten über eine Internetverbindung weiter an Netzwerkservers. Der Netzwerkservers verwaltet die Daten und stellt sie für Anwendungen bereit. Das Netzwerk ist sternförmig aufgebaut: Alle Sensoren und Aktoren kommunizieren mit allen in Reichweite befindlichen Gateways. Die dadurch teilweise redundant gesendeten Daten werden vom Netzwerkservers aussortiert.

Abbildung 2-2: Vergleich von verschiedenen Funktechnologien hinsichtlich Datenrate und Reichweite



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

LoRaWAN gehört zur Familie der LPWAN (Low Power Wide Area Network) Netzwerke. Diese sind durch einen geringen Energieverbrauch, eine geringe Datenrate und Sendeleistung sowie eine hohe Reichweite auch innerhalb von Gebäuden in der Datenübertragung gekennzeichnet. Diese Merkmale unterscheidet LPWAN von anderen, verbreiteten Technologien der Datenübertragung, wie WLAN, Mobilfunk, Bluetooth und Zigbee.

LoRaWAN wurde entwickelt, um Daten aus Sensoren zu übertragen. Darüber hinaus ist es auch möglich, kleine Steuerungsbefehle über Aktoren umzusetzen (bidirektionale Kommunikation). Aufgrund der sehr geringen Sendeleistung, Sendedauer und typischen Entfernung hat die elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt bei LoRaWAN keine besondere Relevanz.

Die allgemeinen Merkmale von LoRaWAN lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Datenrate:** LoRaWAN eignet sich zur Übertragung von kleinen Datenmengen. Bis zu 50 Kilobyte pro Sekunde sind möglich. Damit richtet sich LoRaWAN an die Übertragung von Messwerten aus Sensoren. Große Datenpakete, wie Bild- und Videodateien, können nicht übertragen werden.
- **Energieverbrauch:** LoRaWAN ist für einen niedrigen Energieverbrauch ausgelegt, sodass die Sensoren und Aktoren per Batterie und ohne Stromanschluss betrieben werden können. Je nach Sensortyp, Standort und Konfiguration können Batterielaufzeiten von bis zu 10 Jahren erreicht werden.<sup>9</sup> Sofern sie nicht senden, versetzen sich die Sensoren in einen energiesparenden Ruhemodus. Es existieren drei Sensorklassen (A, B und C). Sie unterscheiden sich darin, wie oft sie Daten empfangen können. Klasse A kann dies nur zu wenigen, festgelegten Zeitpunkten, Klasse B öfter und Klasse C kann kontinuierlich Daten empfangen. Sollen über LoRaWAN kontinuierlich Daten gesendet oder Steuerungsbefehle empfangen werden, steigt der Energieverbrauch. Typischerweise werden LoRaWAN-Endgeräte je nach Bedarf so konfiguriert, dass sie in einem 15-Minuten-Takt bis hin zu einmal täglich Daten senden oder empfangen.
- **Reichweite und Durchdringung:** LoRaWAN ermöglicht es, Datenpakete über eine große Entfernung zu übertragen. Etwa 12 Kilometer können abgedeckt werden, wenn keine Wände, Wälder oder sonstige Hindernisse den Empfang beeinträchtigen. Eine große Entfernung führt allerdings bei LPWAN-Technologien zu vermehrtem Paketverlust, also einer geringeren Übertragungsqualität. Auch der Energieverbrauch der Sensoren steigt mit zunehmender Entfernung vom Gateway. In der Praxis ist daher in der Regel ein engeres Netz erforderlich. Die Gebäudedurchdringung ist sehr gut, sodass sich LoRaWAN beispielsweise für die Datenübertragung aus (Heizungs-)Kellerräumen und Tiefgaragen eignet.
- **Frequenzband:** Für LoRaWAN sind in Europa die frei zugänglichen Frequenzbänder 433,05 bis 434,79 MHz im ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band) und 863 bis 870 MHz im SRD-Band (Short Range Device-Band) nutzbar, sodass keine Lizenzkosten für die Frequenznutzung anfallen. Die Frequenzbänder unterliegen allerdings Einschränkungen hinsichtlich der erlaubten Sendeleistung und der maximalen Sendezeit pro Stunde (Duty Cycle), um Störungen innerhalb der Bänder zu verhindern.

---

<sup>9</sup> LineMetrics (o. J.).

## 2.2 LoRaWAN im Vergleich mit anderen LPWAN-Technologien

Neben LoRaWAN sind eine Reihe weiterer LPWAN-Technologien am Markt verfügbar, die je nach Anwendungsfall Vor- und Nachteile bieten. Neben LoRaWAN gehören NarrowBand-IoT (NB-IoT) und Sigfox zu den in deutschen Kommunen am häufigsten genutzten LPWAN-Technologien. Zu den erfolgsversprechenden neueren Entwicklungen im Bereich LPWAN gehört zudem die Funktechnologie Mioty.

Narrowband-IoT wurde durch die Standardisierungsorganisation 3GPP entwickelt und standardisiert. NB-IoT nutzt lizenzierte Frequenzen, die über Mobilfunknetze verfügbar gemacht werden. Da NB-IoT an die bestehende Mobilfunkinfrastruktur gebunden ist, ist es für interessierte Akteure nicht möglich, ein eigenes Netz aufzubauen und zu betreiben. Roaming zwischen verschiedenen Netzbetreibern ermöglicht es allerdings, netz- und länderübergreifende Anwendungen umzusetzen. Jeder angeschlossene Sensor oder Aktor benötigt eine SIM-Karte. Da LoRaWAN auf lizenzfreien Frequenzen basiert, kann eine zunehmende Nutzung dieser Frequenzen durch verschiedene Anwendungen zu Störungen in der Datenübertragung führen. LoRaWAN nutzt ein spezielles Modulationsverfahren (Chirp-Spread-Spektrum), um diese Interferenzen zu vermeiden. Dennoch bietet LoRaWAN keine garantierte Übertragungsqualität. Andere Technologien, die wie beispielsweise NB-IoT lizenzierte Frequenzen nutzen, können hier Vorteile bieten.

Sigfox wurde durch das gleichnamige französische Unternehmen entwickelt und wird seit 2022 durch das Unternehmen UnaBiz angeboten. Sigfox nutzt ebenso wie LoRaWAN lizenzfreie Funkbänder. Die Netzinfrastruktur wird durch UnaBiz bereitgestellt und global betrieben; für die Nutzung der proprietären Technologie fallen Lizenzkosten an. In Deutschland und einigen angrenzenden europäischen Ländern ist eine nahezu vollständige Netzabdeckung verfügbar<sup>10</sup>. Im Vergleich zu LoRaWAN kann eine größere Reichweite erzielt werden.

Mioty wurde durch das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) entwickelt und im Jahr 2020 erstmals öffentlich vorgestellt. Wie bei LoRaWAN ist es auch bei Mioty erforderlich, ein eigenes Netz aufzubauen. Auch Mioty nutzt freie Frequenzen; es fallen allerdings Kosten für die Lizenzierung der Mioty-Plattform an. Im Vergleich zu LoRaWAN ist die Datenübertragung mit Mioty weniger stör anfällig: Interferenzen durch andere Netze im gleichen Frequenzband sowie Kollisionen unterschiedlicher Sensoren werden verhindert. Dadurch ist auch eine größere Zahl von Sensoren und Aktoren im Netz möglich. Da die Technologie noch jung ist, wird bisher wenig spezifische Hardware angeboten.

Aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik im LPWAN-Markt ist noch unklar, welche Technologien sich langfristig durchsetzen werden. Die verfügbaren Technologien bieten Stärken und Schwächen in unterschiedlichen Anwendungsszenarien, sodass die Lösungswahl anhand des konkreten Anwendungsfalls abgewogen werden sollte.<sup>11</sup>

Der Markt für LPWAN-Technologien weltweit wird dominiert von LoRaWAN und NB IoT: Statista zufolge basierten 44 Prozent aller LPWAN-Verbindungen im Jahr 2020 auf NB IoT und 41 Prozent auf LoRa.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> UnaBiz Holdings (o. J.).

<sup>11</sup> Vgl. Popli et al. (2019); Ahmad et al. (2021); Almuhaaya et al. (2022); Naumann, Oelers (2021).

<sup>12</sup> Statista (2020).

Eine explorative Befragung der TU München unter deutschen Städten ergab, dass etwa die Hälfte LPWAN-Technologien nutzt. Dabei dominiert die Verwendung von LoRaWAN deutlich vor Sigfox und NB-IoT: 34 von 106 Städten nutzen seit mindestens sechs Monaten LoRaWAN, sechs nutzen NB-IoT und drei Sigfox.<sup>13</sup> Als Gründe für das besondere Interesse der Kommunen an LoRaWAN führt die Studie an, dass die Kommunen die Unabhängigkeit von Dritten, die geringen initialen und laufenden Kosten sowie den niedrigen Energieverbrauch der Sensoren schätzen. Für LoRaWAN ist zudem eine hohe Anzahl an marktreifen Hardware- und Softwarelösungen für ein breites Anwendungsspektrum verfügbar.

## 2.3 Abgrenzung zu Smart-Meter-Anwendungen

LoRaWAN wird in Kommunen unter anderem genutzt, um Sensordaten aus unterschiedlichsten Bereichen zu sammeln. Dazu gehören auch Verbrauchsdaten aus Strom-, Wasser und Wärmezählern, die bisher nicht digital fernausgelesen werden können. Mit dem Rollout intelligenter Messsysteme (Smart Meter) werden sukzessive Verbrauchszähler installiert, die selbst digitale Daten senden und empfangen können. Es stellt sich die Frage, wie Smart Meter und LoRaWAN sich künftig ergänzen.

Das am 2. September 2016 in Kraft getretene und mit Wirkung zum 27. Mai 2023 novellierte Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) regelt das Mess- und Zählwesen in Deutschland. Es ist wesentlicher Bestandteil des Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (GNDEW). Das MsbG regelt die Durchführung des Messstellenbetriebs für Strom und Gas und enthält Vorgaben für den bundesweiten Einbau (Rollout) intelligenter Messsysteme und moderner Messeinrichtungen.

Eine moderne Messeinrichtung ist ein digitaler Verbrauchszähler, der für Strom, Gas, Wasser und Wärme eingesetzt werden kann. Verbrauchsdaten können über das digitale Display abgelesen, aber nicht fernausgelesen werden. Ein intelligentes Messsystem bezeichnet dagegen eine moderne Messeinrichtung, die an ein Smart-Meter-Gateway angebunden sind. Dieses ermöglicht es, die Daten sicher zu verarbeiten und per Funk zu versenden.

Ein verpflichtender Rollout von modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsystemen ist nur in der Sparte Strom vorgesehen. Hier gilt, dass Verbraucher, abhängig von ihrem Stromverbrauch, verpflichtend spätestens ab 2025 (Normalverbraucher ab 6.000 kWh) beziehungsweise ab 2028 (Großverbraucher ab 100.000 kWh) mit einem intelligenten Messsystem ausgestattet werden müssen. Bis 2030 beziehungsweise 2033 müssen 95 Prozent aller Messstellen ausgestattet sein. Es obliegt dem Messstellenbetreiber zu entscheiden, wo die Zähler zuerst ausgetauscht werden. Ab 2025 können Verbraucher allerdings verlangen, mit einem intelligenten Messsystem ausgestattet zu werden. Stand 2021 sind insgesamt ca. 158.000 Systeme installiert, bei insgesamt ca. 53 Mio. Messstellen in Deutschland.<sup>14</sup>

Installierte Gaszähler müssen nicht verpflichtend ausgewechselt werden. Werden neue Zähler eingebaut, müssen diese allerdings kompatibel mit Smart-Meter-Gateways sein und zukünftig verbunden werden können. Perspektivisch sollen über das Smart Meter Gateway zudem auch Wärme- und Wasserzähler übertragen werden, sodass spartenübergreifend Verbrauchsdaten gebündelt bereitgestellt

---

<sup>13</sup> Technische Universität München (2022).

<sup>14</sup> Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt (2022).

werden können. Bisher bieten dies allerdings nur wenig Unternehmen an; das MsbG macht hierfür keine Vorgaben.<sup>15</sup>

Endkunden haben ein Recht darauf, aktuelle und historische Verbrauchsdaten innerhalb von 24 Stunden einsehen zu können; entweder über die HAN-Schnittstelle (Home Area Network) des Gateways oder über ein geschütztes Online-Portal (§§ 61 und 62). Verbrauchsdaten werden im 15-Minuten-Takt erfasst.

Für Einbau und Nutzung eines intelligenten Messsystems legt das MsbG Preisobergrenzen von 20 bis 120 Euro jährlich fest; bei einem Großverbraucher mit über 100.000 kWh kann ein „angemessenes Entgelt“ erhoben werden. Für die Datenvisualisierung können zusätzliche Entgelte erhoben werden. Es ist denkbar, dass Messstellenbetreiber, Energieversorger oder andere Dienstleister in Zukunft nutzerfreundliche Datenvisualisierungen als Teil ihres Geschäftsmodells anbieten – gegen zusätzliches Entgelt oder um ihr sonstiges Angebot attraktiver zu machen.

Der Rollout intelligenter Messsysteme zielt insbesondere darauf, Stromverbrauch und -erzeugung – auch in Hinblick des Ausbaus erneuerbarer Energien – im Netz besser zu steuern. Darüber hinaus sollen Transparenz und Energieeffizienz gesteigert sowie neue Energiedienstleistungen und erneuerbare Energien gefördert werden.<sup>16</sup> Entsprechend gelten für Smart-Meter-Gateways hohe Sicherheitsanforderungen, die das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) festlegt. Werden Verbrauchsdaten über LoRaWAN übertragen, dürfen diese laut MsbG nicht für die Stromabrechnung genutzt werden.

LoRaWAN ermöglicht eine Ende-zu-Ende verschlüsselte Datenübertragung und wird mittels 128 Bit AES abgesichert. In manchen LoRaWAN-Versionen wurden Schwachstellen gefunden, die durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Protokolls durch die LoRa Alliance adressiert werden.<sup>17</sup> Eine Herausforderung ist allerdings, dass einmal installierte LoRaWAN-Geräte in der Praxis oftmals keine Updates erhalten, da dies großen Aufwand bedeuten würde.<sup>18</sup> Ein Kritikpunkt ist, dass LoRaWAN nicht das TLS-Protokoll unterstützt, das vom Bundesamt für Informationssicherheit für Smart Meter Gateways gefordert wird. Es ist allerdings fraglich, ob das sehr hohe Sicherheitsniveau des TLS-Protokolls für die meisten pragmatisch angelegten LoRaWAN-Anwendungen notwendig ist. TLS erfordert zudem eine hohe Datenrate, was dem Konzept von LoRaWAN entgegensteht. Dennoch gibt es in diesem Bereich Fortschritte. Beispielsweise setzt Gelsenwasser AG, ein Wasser-, Gas- und Stromversorger, der mehrheitlich im Besitz der Wasser und Gas Westfalen GmbH ist, seit 2020 einen neu entwickelten digitalen Trinkwasserzähler ein, der Verbrauchsdaten über LoRaWAN mit TLS-Verschlüsselung überträgt.<sup>19</sup>

---

<sup>15</sup> Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt (2022).

<sup>16</sup> EY (2013).

<sup>17</sup> Kuntke et al (2022).

<sup>18</sup> Ebenda.

<sup>19</sup> Gelsenwasser (o. J.).

## 3 Praxisbeispiele: LoRaWAN-Anwendungen für mehr Energieeffizienz in Kommunen

### 3.1 Anwendungsspektrum

Für LoRaWAN werden vielfältige Sensoren angeboten, unter anderem zur Messung der Temperatur, Feuchtigkeit, Lichtintensität und Luftqualität, des Drucks und von Bewegungen. Zusätzlich sind Aktoren verfügbar, die beispielsweise Antriebe oder Schalter fernsteuern können. Daraus ergibt sich ein breites Spektrum von Anwendungen für Kommunen, wie die folgenden Beispiele verdeutlichen:

- Die Stadt Lübeck setzt an bestimmten Straßenbereichen Parkplatzsensoren ein, um schnell reagieren zu können, wenn Feuerwehrezufahrten und Kreuzungsbereiche widerrechtlich zugeparkt werden.<sup>20</sup>
- Die Stadt Herrenberg hat Mülleimer mit Ultraschallsensoren ausgestattet. Die Daten ermöglichen es dem Bauhof, besser Routen zu planen und die Mülleimer bedarfsgerecht zu entleeren. Bodenfeuchtesensoren geben Aufschluss, ob auf der Fahrbahn Glatteis möglich ist. Mit Hilfe dieser Informationen kann der Winterdienst seine Routen komfortabler planen und den Streumittleinsatz optimieren.<sup>21</sup>
- Die Stadt Wolfsburg setzt LoRaWAN unter anderem ein, um die Wasserqualität des Grundwassers und sowie von Gewässern kontinuierlich zu überprüfen.<sup>22</sup>
- Die Pflege von Stadtgrün kann durch LoRaWAN verbessert werden: Beispielsweise pilotiert die Stadt Pforzheim gemeinsam mit den örtlichen Stadtwerken Feuchtigkeits- und Temperatursensoren im Erdreich, um die Baumbewässerung zu optimieren.<sup>23</sup>
- Stadtwerke nutzen LoRaWAN, um interne Prozesse zu optimieren und die eigenen Infrastrukturen zu überwachen. Beispielsweise verwendet in Osnabrück SWO Netz LoRaWAN zur kontinuierlichen Überwachung des Fernwärmenetzes. Bei schwer zugänglichen Schachtzählern kann LoRaWAN die aufwändige Ablesung vor Ort ersetzen.<sup>24</sup>

LoRaWAN kann zudem für das Gebäude- und Energiemanagement kommunaler Liegenschaften genutzt werden.

Die Auswertung von 121 Projekten<sup>25</sup> in Deutschland hat einige wesentliche Trends aufgezeigt. LoRaWAN-Projekte finden sich in Kommunen jeder Größenklasse, wobei mit 48 Prozent ein Schwerpunkt der untersuchten Projekte auf Großstädten liegt. In der Mehrzahl der untersuchten Projekten waren kommunale Unternehmen, zumeist Energieversorger, an den Projekten zusammen mit der Kommune beteiligt (74 Prozent der Projekte).

---

<sup>20</sup> Quelle: WIK-Workshop vom 26.09.2023.

<sup>21</sup> Stadt Herrenberg (2018).

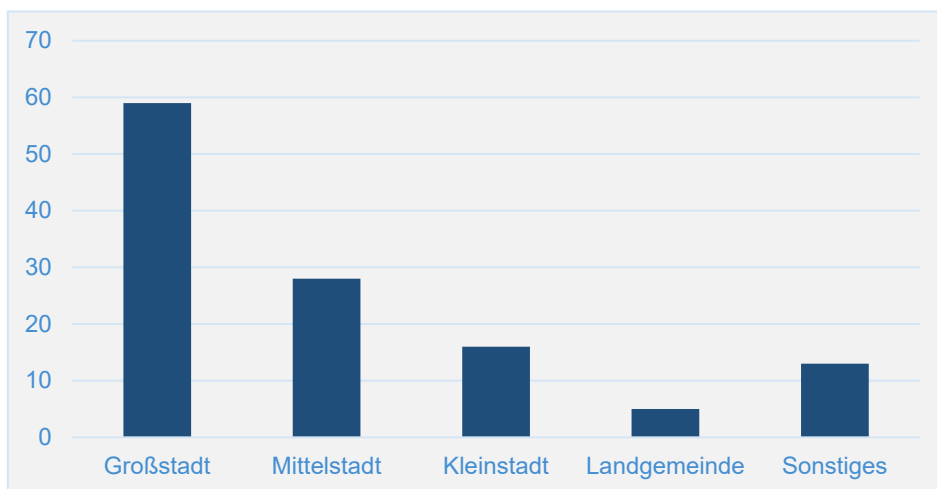
<sup>22</sup> Quelle: WIK-Workshop vom 26.09.2023.

<sup>23</sup> Stadt Pforzheim (2023).

<sup>24</sup> Quelle: WIK-Workshop vom 26.09.2023.

<sup>25</sup> Die Auswertung beruht auf umfassenden Fachpresse- und Web-Recherchen im Jahr 2023.

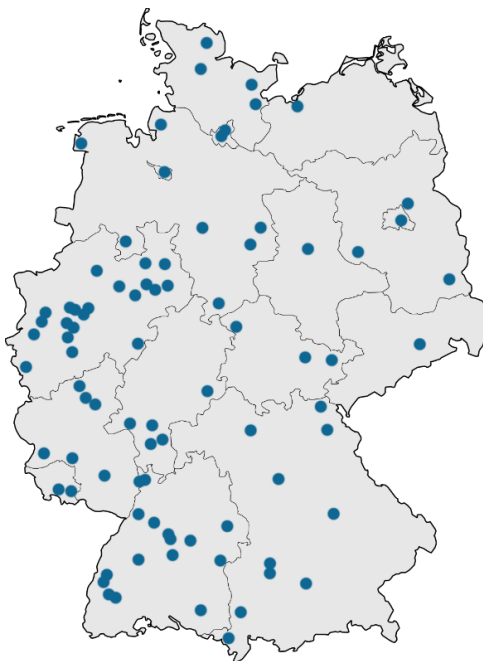
Abbildung 3-1: Anzahl der untersuchten Projekte nach Stadt- und Gemeindetyp



Quelle: WIK Recherche (Basis: Stadt- und Gemeindetyp des BBSR<sup>26</sup>). „Sonstiges“ umfasst Projekte in Landkreisen, Regionen sowie ohne kommunale Beteiligung.

Die regionale Verteilung lässt sich anhand der folgenden Deutschlandkarte ablesen.

Abbildung 3-2: Regionale Verteilung der untersuchten Projekte



Quelle: WIK Recherche. Punkte können mehrere Projekte einer Kommune kennzeichnen. Bildnachweis Deutschlandkarte: David Liuzzo / commons.wikimedia.org, CC BY-SA 2.0 de.

Die untersuchten LoRaWAN-Projekte verfolgen mehrere Ziele und lassen sich verschiedenen Kategorien zuordnen. Die folgende Wortwolke spiegelt die Vielfalt der Themen wider.

<sup>26</sup> Stadt- und Gemeindetypen in Deutschland 2023

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp.html> (Abrufdatum 18.12.2023)





## 3.2 Beispiele aus Großstädten

### Energiemanagement im Bäderbereich der Stadt Osnabrück<sup>27</sup>

Beteiligte: SWO Netz GmbH (ein Tochterunternehmen der Stadtwerke Osnabrück AG), zusammen mit den Bädern der Stadtwerke Osnabrück AG

Projektbeschreibung:

Die von SWO Netz seit 2019 installierte und laufend optimierte LoRaWAN-Infrastruktur in Osnabrück bietet eine gute Abdeckung im gesamten Stadtgebiet. Auch im Landkreis sind erste Standorte bereits erschlossen. Ein Anwendungsfall ist das Energiemanagement der drei großen städtischen Bäder. Bäder und Saunen haben einen hohen Energiebedarf, der die öffentliche Hand vor finanzielle Herausforderungen stellt. Die Stadtwerke Osnabrück nutzen LoRaWAN, um Strom- und Wärmeverluste im Bäderbereich zu identifizieren und Maßnahmen abzuleiten. Dazu erfassen Sensoren unter anderem Wärme-, Gas- und Stromverbrauch, Temperaturen in den Saunen und auch, ob Türen offen oder geschlossen sind. Anhand der Daten konnten wirksame Maßnahmen abgeleitet werden, sodass die Bäder nun energetisch zukunftssicher betrieben werden können. Im Ergebnis konnten Einsparungen im fünf- bis sechsstelligen Bereich erreicht werden.

Kosten und Finanzierung: Die Finanzierung erfolgte durch SWO Netz GmbH.

Die Kosten für den erstmaligen Aufbau des flächendeckenden LoRaWAN-Netzes in Osnabrück beliefen sich auf rund 70.000 Euro.<sup>28</sup>

### Heizungsmonitoring im kommunalen Wohnungsbestand in Frankfurt/Main<sup>29</sup>

Beteiligte: Energiedienstleister Mainova AG zusammen mit der kommunalen Wohnungsbaugesellschaft AGB Frankfurt Holding GmbH

Projektbeschreibung:

Heiz- und Technikanlagen in älteren Wohngebäuden werden bisher entweder gar nicht oder nur rudimentär fernüberwacht. Bisher verfügbare, nachträglich aufrüstbare Lösungen sind oftmals für Immobilienbetreiber nicht wirtschaftlich darstellbar. Ziel des Projekts Heatral ist es, die Energieeffizienz der Wohngebäude zu steigern und eine schnellere Reaktionszeit bei Störfällen zu erreichen. Dazu wurden Liegenschaften der AGB in Frankfurt/Main mit Unterstützung der Mainova als Pilotprojekte umfangreich mit verschiedenen, am Markt erhältlichen LoRaWAN-Sensoren ausgestattet; unter anderem zur Überwachung der Heizungs- und raumluftechnischen Anlagen. Zusätzlich werden Strom-, Gas- und Wärmeverbräuche erfasst. Die Daten werden gemeinsam aufbereitet und in einer App der Mainova verfügbar gemacht, welche von den Liegenschaftsmanagern genutzt wird. Beispielsweise können so die Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizungsanlagen überwacht und optimiert werden. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz können hinsichtlich ihrer Wirkung objektiv bewertet werden. Mittlerweile wurden bei der ABG über einhundert Liegenschaften mit der Sensorik ausgestattet. Die entwickelte Lösung soll zukünftig am Markt angeboten werden.

Kosten und Finanzierung: Die Sensorik und Konfiguration dieser für ein Wohngebäude kostet in etwa 1.000 Euro. Zusätzlich fallen laufende Betriebskosten, insbesondere für die Datenübertragung und -verarbeitung, an.

---

<sup>27</sup> Quelle: WIK-Workshop vom 26.09.2023.

<sup>28</sup> Vgl. BMWK (2021).

<sup>29</sup> Quelle: Expertengespräch vom 08.09.2023.

### 3.3 Beispiele aus Mittelstädten

#### LoRaWAN in Delbrück<sup>30</sup>

Beteiligte: Stadt Delbrück zusammen mit dem kommunalen IT-Dienstleister regio IT GmbH

Projektbeschreibung:

Die Stadt Delbrück baut seit 2018 ein kommunales Sensornetz auf. Insgesamt werden 25 Anwendungsfälle, unter anderem in den Bereichen Wasser/Abwasser, Verkehr, Energiemonitoring und Gebäudeüberwachung, umgesetzt. Für das Energiemonitoring wurden beispielsweise LoRaWAN-fähige Gas- und Stromzähler bzw. Sensoren zum Auslesen bereits digitaler Zähler in den kommunalen Liegenschaften angebracht. In Kühlkammern für den Kantinenbetrieb in Schulen werden Temperatur- und Stromverbrauchsdaten erfasst. Temperatursensoren überwachen die Vor- und Rücklauftemperaturen von Heizungen. Zudem wurde getestet, ob LoRaWAN eingesetzt werden kann, um Fenster aus der Ferne zu öffnen oder zu schließen. Aufgrund des hohen Aufwands für diesen Anwendungsfall bei gleichzeitig geringem Nutzen wird diese Lösung allerdings nicht weiterverfolgt. Zur Darstellung der Sensordaten kommt ein von regio IT entwickeltes Energiemonitoringsystem zum Einsatz. Im Ergebnis konnten durch LoRaWAN Arbeitsaufwände verringert werden (z. B. für personalintensive Grundwasserpegelmessungen und die Ablesung von Zählerständen). Nach Angabe von regio IT können bei konsequentem Energiemonitoring jährlich bis zu 5 - 10 Prozent der Energiekosten eingespart werden. Bereits im Pilotprojekt konnte mithilfe des Monitorings ein nicht notwendiger Wasserverbrauch in einer Schule entdeckt und der Defekt behoben werden. Das Netz wird durch die Stadt Delbrück betrieben und soll perspektivisch über die Stadtgrenzen hinaus verfügbar gemacht bzw. mit Nachbarkommunen verbunden werden, um ein zusammenhängendes Netz für überregionale Anwendungsfälle zu schaffen. Die Stadt betreibt neben dem internen Netz für die eigenen Anwendungen ein offenes Netzwerk für Bürgerinnen und Bürger.

Kosten und Finanzierung: Das Projekt „LoRaWAN 2.0“ wurde durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW gefördert. Das Projektvolumen beträgt ca. 1,34 Millionen Euro (80 Prozent Förderquote). Nach Ende der Förderzeit sollen laufenden Kosten aus dem kommunalen Haushalt finanziert werden. Für das Jahr 2024 wurden 9.000 Euro Betriebs- und Beratungskosten im Entwurf des Haushaltsplans festgeschrieben.

#### Energiemonitoring in Cottbus<sup>31</sup>

Beteiligte: Stadt Cottbus, deZem GmbH

Projektbeschreibung:

Für die über 80 kommunalen Objekte der Stadt Cottbus fallen Energie- und Wasserkosten in Höhe von über 3,5 Mio. Euro jährlich an. Mit einem Energiemonitoring in möglichst allen größeren Liegenschaften sollen Kosten eingespart werden. Seit 2021 wird das Energiemonitoring schrittweise auf alle Schulgebäude, Kindertagesstätten und Verwaltungsgebäude ausgedehnt. Ziel ist es, Zählerstände für Strom, Wärme, Wasser sowie Messwerte für Temperatur, Luftqualität und Luftfeuchte digital zu erfassen. Die Datenerfassung erfolgt über das in einigen Gebäuden vorhandene kabelgebundene System. In Gebäuden ohne Verkabelung wird LoRaWAN eingesetzt. Für die Datenvisualisierung und -analyse wird die Analysesoftware von Dezem verwendet. Ziel ist es, dass Energiemanager, Energietechniker

---

<sup>30</sup> Stadt Delbrück, regio IT (o. J.); Stadt Delbrück, regio IT (2019).

<sup>31</sup> DigitalAgentur Brandenburg (2023); VDI Fachmedien (2023); Dr. Häusler, T. (2022).

und Hausmeisterpersonal entsprechend der Datenauswertungen Anlagen- und Betriebsoptimierungen umsetzen.

Kosten und Finanzierung: Das Energiemanagement ist ein Teilprojekt des durch das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) geförderten „Modellprojekt Smart City Cottbus“ (2019-2024).

### 3.4 Beispiele aus Kleinstädten und Landgemeinden

#### **Energiemanagement im Schulzentrum und in der Friedhofskapelle der Gemeinde Altenbeken<sup>32</sup>**

Beteiligte: Gemeinde Altenbeken zusammen mit Energielenker Solutions GmbH und Westfalen Weser Energie GmbH & Co. KG

Projektbeschreibung:

Als größter Treibhausgasemittent bietet das Schulzentrum der Gemeinde Altenbeken ein großes Potenzial für mehr Klimaschutz. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Energielenker hat die Gemeinde eine Lösung entwickelt und umgesetzt, um die Energieverbräuche des Schulzentrums und anderer kommunaler Gebäude zu ermitteln und zu analysieren. Das sogenannte Lastprofil schafft die Voraussetzung, um wirkungsvolle Maßnahmen für mehr Energieeffizienz umzusetzen. Dazu erfassen LoRaWAN-Sensoren unter anderem Strom-, Wasser- und Wärmeverbräuche, Anlagenstörungen sowie Vor- und Rücklauftemperaturen. Störmeldungen der Heizungsanlagen werden automatisch per SMS und E-Mail an die zuständigen Hausmeister kommuniziert. Im Zuge der Corona-Pandemie wurden zusätzlich Sensoren implementiert, die die Luftqualität überwachen. Alle Daten werden über ein Datenportal der Westfalen Weser bereitgestellt. Zukünftig sollen sie über eine automatische Schnittstelle direkt in das Gebäudeleitsystem eingespeist werden. LoRaWAN wird auch für das Raummonitoring der strombeheizten Friedhofskapellen genutzt, was zu erheblichen Energieeinsparungen führte: Temperatur-, Nutzungs-, Heizungsdaten werden überwacht und mit dem Buchungskalender der Kapelle verknüpft. Bei einem Termin werden die Thermostatköpfe der Heizung über LoRaWAN passend ferneingestellt. Im Ergebnis konnte der Energieverbrauch von 60.000 kWh auf 15.000 kWh im Jahr gesenkt werden.

Kosten und Finanzierung: Bisher hat die Gemeinde Altenbeken in etwa 10.000 Euro für Sensoren investiert. Die Gateways werden durch Westfalen Weser betrieben. Der Aufbau und Betrieb der Anwendungen wird maßgeblich durch den Betriebsleiter des Abwasserwerks geleistet, der über die erforderliche Expertise verfügt. Mithilfe von Fördermitteln soll das LoRaWAN-Netzwerk und das sensorgestützte Energiemanagement weiter ausbreitet werden.

#### **Smarte Straßenbeleuchtung in Martinfeld (Gemeinde Schimberg)<sup>33</sup>**

Beteiligte: Gemeinde Schimberg zusammen mit Alpha-Omega Technology GmbH & Co. KG

Projektbeschreibung:

Im Projekt SMARTinfeld erprobt das IT-Unternehmen Alpha-Omega Technology gemeinsam mit dem Dorf Martinfeld (ein Ortsteil der Gemeinde Schimberg, Thüringen) vielfältige digitale, vernetzte Lösungen. Seit 2016 wurde dazu eine LoRaWAN-Infrastruktur aufgebaut und als erster Anwendungsfall die Straßenbeleuchtung mit LED-Leuchten und einer optimierten Steuerung ausgerüstet. LoRaWAN bietet eine Möglichkeit, das verbreitete und zunehmend veraltete Steuerungssystem der Tonfrequenz-

---

<sup>32</sup> Quelle: Experteninterview vom 15.09.2023.

<sup>33</sup> BMWK (2020) und Vortrag im Workshop vom 26.09.2023.

Rundsteueranlagen zu ersetzen. Die rund 100 Leuchten in Martinfeld können nun über LoRaWAN individuell sowie in Gruppen ferngeschaltet werden. Bei besonderen Ereignissen, beispielsweise Volksfesten, können abweichende Schaltzeiten eingestellt werden. Sensoren überwachen den Zustand einer jeden Leuchte, sodass die Gemeinde bei einem Defekt schnell reagieren kann. Zu Projektbeginn wurde die Meinung der Bürgerinnen und Bürger zu verschiedenen Leuchtenmodellen mit Hilfe von Feedback-Knöpfen eingeholt, die an den Leuchten angebracht waren und deren Ergebnisse ebenfalls mittels LoRaWAN übertragen wurden. Sukzessive testen und etablieren Martinfeld und Alpha-Omega Technology weitere Anwendungsfälle. Beispielsweise soll künftig das Energiemanagement in kommunalen Gebäuden mittels Fernauslesung von Zählerständen in Zusammenarbeit mit dem örtlichen Netzbetreiber unterstützt werden.

**Kosten und Finanzierung:** Die Umrüstkosten für LED-Leuchten und LoRa-Technologie beliefen sich auf rund 50.000 Euro. Die jährlichen Betriebskosten sanken nach dem Umbau von rund 6.600 Euro auf rund 3.000 Euro. Auch die Wartungskosten konnten gesenkt werden. Der Großteil der Betriebskostensenkung ergibt sich aus der Umrüstung auf LED-Leuchten.

Deutsche Kommunen wenden rund 30 bis 50 Prozent ihres jährlichen Stromverbrauchs für die Straßenbeleuchtung auf, sodass sich ein großes Einsparpotenzial ergibt.<sup>34</sup> Das größte Potenzial für Energieeinsparungen liegt in der Umrüstung von alten Leuchtmitteln auf LED-Technik. Durch ihren hohen Wirkungsgrad können durch eine Umrüstung auf LED-Technik gegenüber einer Anlage mit Halogen-Metalldampflampen bis zu 60 Prozent Strom- und Betriebskosten eingespart werden.<sup>35</sup> Bei zusätzlicher Umsetzung eines modernen Lichtmanagements sind insgesamt bis zu 80 Prozent Energieeinsparung möglich.<sup>36</sup> In der Praxis ist die Steuerung über LoRaWAN bisher wenig verbreitet. Großstädte wie Berlin, Hamburg, Stuttgart und Frankfurt/Main setzen bei der Umrüstung von der bisher verbreiteten, technisch veralteten Tonfrequenzrundsteuerung oftmals auf die Europäische Funkrundsteuerung. Zudem gibt es Kommunen, die LoRaWAN als Steuerungstechnik für bestimmte Gebiete oder Straßenabschnitte einsetzen oder pilotieren.<sup>37</sup> Straßenbeleuchtung bietet darüber hinaus Potenzial als Träger für Smart-City-Lösungen. Beispielsweise können moderne Leuchten oder Niederspannungsverteiler als Standort für LoRaWAN-Gateways, Mobilfunkantennen, WLAN-Hotspots und Sensorik (beispielsweise für die Lärmkartierung, die Erhebung von Verkehrsdaten, oder das Parkraummanagement) genutzt werden.

## 4 Kostenstruktur

Bei der Umsetzung von LoRaWAN-Anwendungen fallen Kosten für die erstmalige Einrichtung sowie den laufenden Betrieb der Lösungen an.

Als Hardware sind im Wesentlichen Sensoren/Aktoren sowie Gateways erforderlich. Die Preisspanne für Sensoren/Aktoren reicht von ca. 20 Euro (beispielsweise für einen einfachen Temperatursensor) bis über 1.500 Euro (beispielsweise für einen hochgenauen Niederschlagssensor) und richtet sich nach Funktionsumfang, Messgenauigkeit und Qualität der Geräte. Die Expertengespräche ergaben,

<sup>34</sup> Dena (2016).

<sup>35</sup> licht.de (o. J.).

<sup>36</sup> Ebenda.

<sup>37</sup> Vgl. Wuppertal, Wohnquartier Schöller-Dornap <https://www.wsw-online.de/digitale-loesungen/wsw-digital/infrastrukturen/lorawan/>; Saarbrücken, Saarpromenade <https://energie.blog/intelligente-strassenbeleuchtung-in-saarbruecken-erhoeht-sicherheit-im-oeffentlichen-raum-und-senkt-energiekosten/>; Überlinger Stadtgraben <https://www.stadtwerk-am-see.de/intelligenteleuchte>.

dass in der Praxis Anschaffungskosten von in der Regel 100 - 200 Euro pro Gerät zu kalkulieren sind. Für die Anschaffung von Gateways fallen in der Regel 250-800 Euro pro Gerät an. Dabei sind Gateways zur Installation innerhalb von Gebäuden preiswerter als robuste Outdoor-Gateways.

Zusätzlich zu den Hardwarekosten entsteht zeitlicher Aufwand für die Identifikation und Beschaffung geeigneter Modelle sowie die Installation der Geräte. Die Installation der Sensoren und Gateways erfolgt in der Praxis durch Installateure, IT-Fachleute oder auch geschulte Verwaltungsmitarbeitende. Der Aufwand und die Komplexität ist dabei abhängig vom gewählten Modell und dem Installationsort. Darüber hinaus fällt Aufwand für die Identifizierung geeigneter Standorte an. Für die Installation eines Gateways durch einen externen Dienstleister können nach Angaben aus den Expertengesprächen Kosten von etwa 2.000 - 4.000 Euro entstehen.

Die Gesamtkosten für den Aufbau eines kommunalen LoRaWAN-Netzwerkes variiert. Eine Befragung von 18 Kommunen der TU München ergab einen Spielraum von 2.000 Euro bis 500.000 Euro. Die durchschnittlichen Investitionsaufwände liegen im Bereich von unter 0,5 Euro pro Einwohner.<sup>38</sup> Ein wichtiger Faktor ist die Anzahl der installierten Gateways, die stark entsprechend dem spezifischen Anwendungsfall und der abzudeckenden Gebietsgröße variiert. Beispielsweise verfügt die Gemeinde Altenbeken über vier Gateways, SWO Netz betreibt in Osnabrück über 30 Gateways und in Lübeck betreibt TraveKom 230 Gateways.<sup>39</sup>

Laufenden Kosten fallen für den Betrieb des Netzwerks sowie für Anwendungssoftware an. Die Gateways benötigen eine Stromversorgung (etwa 10 Watt)<sup>40</sup> und eine Internetanbindung. Diese kann via Mobilfunk, WLAN oder Ethernet erfolgen, sodass je nach verfügbarer Verbindung laufende Kosten anfallen. Die Sensoren und Aktoren haben einen sehr geringen Stromverbrauch. Sie werden in der Regel mit Batterien betrieben, die bis zu zehn Jahre halten können. Darüber hinaus sind autarke Modelle erhältlich, die aus dem Messsignal gespeist werden. Kosten fallen daher vor allem für den Arbeitsaufwand des Batteriewechsels oder für die Behebung von Störungen an. Die Expertengespräche ergaben, dass die Sensoren in der Praxis in der Regel wenig Wartungsaufwand verursachen. Für die laufende Netzwartung und technische Betreuung der Anwendungsfälle ist nach Angaben aus den Expertengesprächen mit Personalaufwand in Höhe von 0,5 Personenstellen und mehr in der Kommunalverwaltung zu rechnen.

Für die Geräteverwaltung und Datenverarbeitung ist ein Netzwerkserver erforderlich. Ein möglicher Anbieter dafür ist The Things Network (TTN). Kleineren Projekten ermöglicht TTN eine unentgeltliche Nutzung ihrer Server. Sollen mehr als zehn Gateways und zehn Sensoren angebunden werden, fallen entsprechend der Serviceleistung monatliche Gebühren von 190 bis 300 Euro an.<sup>41</sup> Für die Nutzung der freien Frequenzen zur Datenübertragung fallen keine Kosten an.

Die Studie der TU München ergibt eine Spannweite von 50 bis 100.000 Euro jährlicher Betriebskosten für LoRa-Netzwerke, wobei 82 Prozent der befragten Kommunen Kosten von weniger als 20.000 Euro und 53 Prozent weniger als 10.000 Euro jährlich angeben.<sup>42</sup>

Dashboards und andere Anwendungen zur Datenverarbeitung und -visualisierung stehen einerseits als kostenlose Open-Source-Lösungen zur Verfügung, die für die jeweiligen Anwendungszwecke

---

<sup>38</sup> Technische Universität München (2022).

<sup>39</sup> Quelle: Expertengespräche und WIK-Workshop vom 26.09.2023.

<sup>40</sup> Sherazi, H. et al. (2018).

<sup>41</sup> The Things Industry (o. J.).

<sup>42</sup> Technische Universität München (2022).

adaptiert und implementiert werden können. Dies erfordert grundlegende, jedoch keine speziellen IT-Kenntnisse. Andererseits bieten IT-Dienstleister Programmierleistungen oder fertige Softwarelösungen mit Wartungs- und Beratungsverträgen in diesem Bereich an. Diese Softwarelösungen werden abhängig vom jeweiligen Geschäftsmodell mit einmaligen oder regelmäßigen Lizenzkosten abgerufen. Diese richten sich oftmals nach der Größe der Kommune sowie der Anzahl der eingebundenen Sensoren. Zusätzlich ist Personalaufwand für die Projektsteuerung und Konzeption in der Kommune, das Datenmonitoring und die Ableitung von Maßnahmen erforderlich, beispielsweise durch einen kommunalen Mitarbeitenden im Bereich Liegenschaften, einen Energiemanager oder Chief Digital Officer (CDO).

Wird Bereitstellung und Betrieb der Sensoren und Gateways durch einen Dienstleister organisiert, fallen in der Regel monatliche Nutzungskosten (Abonnementmodell) an. In der Praxis können gemäß den Angaben aus den Expertengesprächen pro Sensor 0,50 - 0,90 Euro sowie 25 Euro pro Gateway monatliche Kosten anfallen.

## 5 Akteure und Betreibermodelle

Die Implementierung von LoRaWAN-Anwendungen für mehr Energieeffizienz in öffentlichen Liegenschaften kann durch verschiedene Betreibermodelle erfolgen, wobei die Wahl des Modells Einfluss auf den Aufbau, Betrieb und die Kontrolle der Infrastruktur hat.

Eine Möglichkeit ist der Aufbau und Betrieb der Sensorik, Gateways und Anwendungen durch die Kommune in Eigenregie. Dies ermöglicht der Kommune die volle Kontrolle über ihr Netzwerk, die gesammelten Daten und die Anwendungen. Es fallen initiale und laufende Kosten für Aufbau und Betrieb an. Das Betriebsrisiko, beispielsweise der Umgang mit Störfällen, liegt bei der Kommune. Dieses Modell eignet sich besonders für interne, nicht-kommerzielle Anwendungen. Eine wesentliche Voraussetzung ist, dass ausreichend Personal mit entsprechenden Kompetenzen und Fähigkeiten vorhanden ist, das dauerhaft den Betrieb sicherstellt.

Alternativ kann die Kommune in Zusammenarbeit mit einem kommunalen Unternehmen, z. B. den Stadtwerken, oder externen Dienstleistern das Projekt realisieren. In diesem Fall übernehmen diese den Aufbau und Betrieb der Sensorik, Gateways und die Einrichtung von Anwendungen, möglicherweise in einem integrierten Ansatz. Beispielsweise bieten spezialisierte Dienstleister Komplettlösungen für das Energiemonitoring in Liegenschaften an. Die Kosten für Aufbau und Betrieb sowie eventuelle Einrichtungs-, Nutzungs- und Lizenzgebühren werden entsprechend vertraglicher Vereinbarungen geteilt. Gemäß den vertraglichen Bestimmungen erhält die Kommune Zugang und Kontrolle über das Netzwerk, die Daten und Anwendungen. Die festgelegten Services und Preise ermöglichen der Kommune eine höhere Sicherheit über die Kostenbelastung und die Netzverfügbarkeit. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Expertise des Dienstleisters genutzt werden kann, was den Bedarf an Personal und Wissen in der Kommune reduziert. Für Stadtwerke oder Dienstleister stellt dieses Modell die Möglichkeit dar, LoRaWAN für sowohl für interne als auch für kommerzielle oder öffentliche Anwendungen anzubieten. Viele Stadtwerke nutzen LoRaWAN bereits für eigene Anwendungsfälle und zur internen Prozessoptimierung und haben dadurch entsprechende Kompetenzen aufgebaut.

In vielen Regionen existieren ehrenamtliche Initiativen für LoRaWAN mit viel Expertise, beispielsweise in lokalen Freifunkvereinen oder lokalen Gruppen des The Things Network. Eine Zusammenarbeit mit der ehrenamtlichen Community bietet Kommunen das Potenzial, die eigene Expertise zu erweitern und Bürgerinnen und Bürger in die digitale Transformation der Kommune einzubeziehen.

LoRaWAN kann als offenes und geschlossenes Netzwerk betrieben werden. Teilweise kann dies sogar über die gleichen Gateways erfolgen. The Things Network (TTN) ist eine communitybasierte LoRaWAN-Initiative aus den Niederlanden mit dem Ziel, Gateways weltweit zu einem offenen, kostenlosen Netz zu verbinden. Stand November 2023 sind in Deutschland 3.492 Gateways im TTN integriert. Offene Netzwerke, wie beispielsweise durch TTN, eröffnen einen Zugang für alle interessierten Akteure zur Technologie, darunter Kommunen, Unternehmen und die Zivilgesellschaft. Dies fördert eine breite Beteiligung und Zusammenarbeit unterschiedlicher Stakeholder. Geschlossene Netzwerke ermöglichen die Schaffung eines definierten Nutzerkreises mit spezifischen Anforderungen und Zugriffsrechten.

## 6 Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in der Umsetzung

Eine zentrale Herausforderung der Umsetzung von LoRaWAN-Lösungen für mehr Energieeffizienz sind die oftmals unzureichenden finanziellen und personellen Ressourcen in den Kommunen.

Insbesondere in kleinen Kommunen sind in der Regel nur in geringem Maße IT-Kompetenzen vorhanden, die für Umsetzung und Betrieb von LoRaWAN hilfreich sind. Zusätzlich zu IT-Kenntnissen sind Kompetenzen im Umgang mit den erfassten Daten und Datenanwendungen erforderlich, damit effektive Maßnahmen für mehr Energieeffizienz abgeleitet und umgesetzt werden können. Der Weggang zentraler Wissensträger kann dazu führen, dass etablierte Lösungen eingestellt oder nicht mehr effektiv genutzt werden.

Ein wichtiger Erfolgsfaktor stellt die Benennung einer verantwortlichen Person für LoRaWAN-Anwendungen in der Kommune dar. Als zentraler Ansprechpartner und interner Projektleiter ist es Aufgabe dieser Person, die Möglichkeiten von LoRaWAN zu konzeptionieren, auszuloten und in (weiteren) Fachabteilungen zu bewerben. Sie treibt die Planung, Umsetzung und Weiterentwicklung sowie die Zustimmung in den Gremien und die Fördermittelakquise der Kommune für die Anwendungen voran.

Die Kooperation mit bzw. Beauftragung von Stadtwerken oder Dienstleistern sowie die Einbeziehung der Zivilgesellschaft und der lokalen Wirtschaft stellt eine Möglichkeit dar, zusätzliche Expertise und Ressourcen für kommunale LoRaWAN-Projekte zu mobilisieren. Darüber hinaus kann die Einbeziehung der verschiedenen Gruppen zu einer breiteren gesellschaftlichen Unterstützung der Projekte und seiner übergeordneten Ziele des Energiesparens beitragen.

Die Nutzung von Fördermitteln stellt eine Möglichkeit dar, die initialen Kosten für LoRaWAN zu finanzieren. Beispielsweise fördert die Kommunalrichtlinie der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundes die Implementierung und Erweiterung eines Energiemanagements, inklusive digitaler Messtechnik und Anwendungssoftware. Zusätzlich bieten Smart-City-Förderungen von Bund und Ländern eine Möglichkeit, LoRaWAN-Anwendungen zu pilotieren und umzusetzen. Die langfristige Finanzierung der Betriebskosten und die Sicherstellung von Wissen über die Förderlaufzeit hinaus stellt allerdings eine Herausforderung für den kommunalen Haushalt dar. Die Bereitstellung einer offenen LoRaWAN-Infrastruktur für Bürgerinnen und Bürger, Wirtschaft und Stadtverwaltung kann zudem als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge verstanden werden.

Zudem bietet die Verwendung der LoRaWAN-Infrastruktur für vielfältige Smart-City-Projekte die Möglichkeit, Synergieeffekte zu nutzen und die Ressourcen für Aufbau und Betrieb der Infrastruktur effizient einzusetzen.



Die Akzeptanz und das Interesse der Nutzergruppen, darunter insbesondere Hausmeister und Mitarbeitende aus den relevanten Fachabteilungen der Kommune, sind entscheidend dafür, dass die digitalen Anwendungen ihre Potenziale für mehr Energieeffizienz einlösen können. Viele der befragten Experten berichten, dass die Ablehnung von neuen Lösungen oftmals eine Herausforderung darstellt. Die Schulung von Mitarbeitenden stellt eine Möglichkeit dar, mit dieser Herausforderung umzugehen.

Des Weiteren gilt es, das Potenzial von LoRaWAN-Anwendungen deutlich aufzuzeigen, um einen kommunalen Beschluss über Investitionsvorhaben und den langfristigen Betrieb zu erleichtern. Dies erfordert eine klare Kommunikation der Vorteile und Möglichkeiten, die sich aus der konkret angedachten Anwendung ergeben. Eine Möglichkeit stellt die Durchführung kleiner Pilotprojekte (beispielsweise mit einzelnen Sensoren für die Zählerstandserfassung oder die Baumbewässerung), mit denen erste, schnelle Erfolge sichtbar gemacht werden können.

## 7 Schlussfolgerungen

In dieser Studie steht die Frage im Mittelpunkt, welchen Beitrag ein LoRaWAN Netzwerk zu kommunalen Energiesparprojekten und Investitionen in energieeffiziente Gebäude leisten kann.

Die zahlreichen Praxisbeispiele zeigen, dass Kommunen jeder Größenklasse von LoRaWAN profitieren können. Das breite Anwendungsspektrum umfasst das Parkraummanagement, die Grünpflege, das Überwachen von Gewässern oder die interne Prozessoptimierung von Energieversorgern. Nicht zuletzt kann LoRaWAN für das Gebäude- und Energiemanagement kommunaler Liegenschaften genutzt werden.

In den 121 untersuchten Beispielen war dies zwar nicht der Haupttreiber für den Ausbau der Sensornetze, aber das Anwendungsfeld mit den höchsten Einsparungseffekten im vier- bis fünfstelligen Eurobereich; im Bereich Schwimmbäder können die Einsparungen noch höher ausfallen. Neben Kostensenkungen bei Beleuchtung und Wärme und nachhaltigen Energieeinsparungen ergeben sich für Kommunen viele weitere positive Auswirkungen, zum Beispiel eine einfachere Erfüllung gesetzlicher Auflagen (Berichtspflichten im Bereich Energie) und ein positives Smart City Image. Die Kommunalverwaltung hat auch konkrete Vorteile durch die Automatisierungen wie etwa Personaleinsparungen sowie Verbesserungen im Betriebsablauf und bei der Arbeitsqualität im Liegenschaftsmanagement. Zum Beispiel entfällt das händische Erfassen der Zählerstände bei Gebäudebegehungen. Viele LoRaWAN-Projekte stehen in den Kommunen noch am Anfang, sodass Aussagen zu langfristigen Einspareffekten noch abzuwarten bleiben. In den Expertengesprächen konnten noch keine Aussagen zu den langfristigen Einsparungen gemacht werden.

Aus Expertensicht sind LoRaWAN-Anwendungen aus der Experimentier- und Pilotphase herausgewachsen und bieten den Kommunen ausreichend sichere, zuverlässige und kostengünstige Lösungen, um die Datenbasis für ihr Energiemonitoring zu verbessern. Die bestehenden Angebote, die Kommunen entweder selbst oder mit kommunalen Unternehmen (Stadtwerken) und IT-Dienstleistern aufbauen, bestehen neben dem zurzeit laufenden Smart-Meter-Rollout. Zwar sind die mit LoRaWAN-Sensoren gewonnenen Daten für Strom und Gas nicht abrechnungsrelevant, LoRaWAN bietet aber die Voraussetzungen für Datenmonitoring, Datenanalyse und Fernsteuerung. Spezialisierte Anbieter haben LoRaWAN-basierte Komplettlösungen im Programm. Die gewonnenen Daten können für Energie- und Gebäudemanagementsoftware genutzt werden. Die befragten Anwender nennen die pragmatische und kurzfristige Umsetzbarkeit des Datenmonitorings als einen wichtigen Vorteil.

In den meisten Fällen startet die LoRaWAN-Nutzung in einer Kommune im Rahmen eines von Bund oder Land geförderten Smart-City-Projekts. Der langfristige Betrieb wird dann aus dem kommunalen Haushalt bestritten. Möglicherweise hat die Förderfähigkeit als Open-Source-Lösung zu der Beliebtheit von LoRaWAN in deutschen Städten beigetragen.

Geschäftsmodelle orientieren sich an üblichen IT-Dienstleistungsmodellen und beinhalten die Hardware (Sensoren/Aktoren, Gateways), die Installation und den laufenden Betrieb, der in der Regel in einem monatlichen Abo-Modell abgerechnet wird, abhängig von der Anzahl der Sensoren und Gateways, die vom Dienstleister betrieben und gewartet werden (z. B. Grundpreis plus Preis pro Messpunkt).

Die Kosten für die Kommune hängen von der Größe des Netzwerks, der Funktion, Qualität und Anzahl der Sensoren sowie der Art und Anzahl der Gateways ab (indoor/outdoor). Aufwände entstehen in der Kommune außerdem für Konzeption, interne Projektleitung und ggf. Fördermittelakquise. Einige Kommunen setzen die Maßnahmen auch selbst um und betreiben ein internes Sensornetz in Eigenregie. Gateways erlauben eine sehr große Anzahl an Sensoren und Aktoren bei gleichzeitig geringen Anschaffungs- und Wartungskosten. Die vergleichsweise geringen Kosten nehmen die Kommunen als wichtigen Vorteil wahr.

Außerdem kann auf frei verfügbare Gateways des weltweiten The Things Network zurückgegriffen werden. Öffentliche und private Netze parallel zu betreiben ist eine der Stärken von LoRaWAN. Da LoRaWAN Ende-zu-Ende verschlüsselt ist, beeinträchtigen offene Gateways nicht die IT-Sicherheit und mehrere Akteure können das gleiche Gateway gemeinsam nutzen. So profitiert die Kommune gleich zu Beginn ihrer ersten Projekte von positiven Netzeffekten und kann eine geplante Anwendung rasch umsetzen. Diese Möglichkeit wird auch von ehrenamtlichen Akteuren der Zivilgesellschaft häufig genutzt. In manchen Kommunen arbeiten Community und Kommune in Hackathons, Maker Spaces oder Reallaboren erfolgreich zusammen an neuen Ideen.

Herausforderungen bestehen aus Sicht der Kommune im langfristigen Betrieb des Sensornetzes über die Projektphase hinaus und dem Aufbau bzw. der Schulung von Personal, insbesondere im Bereich der Fähigkeiten zur Datenanalyse. Schätzungsweise wird eine halbe Personalstelle dauerhaft für ein größeres LoRaWAN-Projekt benötigt. Kommunen stellen dagegen kaum die Anforderung, die technische Qualität der Netze zu verbessern und auf andere Schmalband-Technologien umzusteigen. Verbräuche erstmals sichtbar zu machen, steht für die Kommunen im Vordergrund, und weniger die Forderung nach Echtzeitsystemen oder Abrechnungsinformationen. Eine Ausnahme bilden erfahrene Kommunen mit großen Anwendungsfeldern, die technische Kapazitätsgrenzen erreicht haben.

In der derzeitigen Energiekrise und vor dem Hintergrund von Klimaschutz und Klimafolgenanpassung zählen zu den wichtigsten Energiesparmaßnahmen heute das Senken der Energieverbräuche in den kommunalen Liegenschaften und die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden. Insgesamt kann als Ergebnis festgehalten werden, dass digitale Lösungen auf Basis von LoRaWAN sehr gut dazu geeignet sind, auf einer breiten Datenbasis Potenziale für eine ressourceneffizientere Bewirtschaftung öffentlicher Liegenschaften aufzuzeigen und die langfristigen Sanierungsmaßnahmen in Zeiten knapper öffentlicher Haushalte zu priorisieren.

## 8 Literaturverzeichnis

- Ahmad, Zaid et al. (2021): LPWAN State of the Art: Trends and Future Directions.
- Almuhaya, Mukarram A. M. et al. (2022): A Survey on LoRaWAN Technology: Recent Trends, Opportunities, Simulation Tools and Future Directions.
- BMWK (2020): SMARTinfeld – Intelligente Straßenleuchten mit LoRaWAN. URL: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Smart-City-Navigator/Projekte/smart-infeld.html> (Abrufdatum 19.9.2023).
- BMWK (2021): Interview mit Heinz-Werner Hölscher, Geschäftsführer SWO Netz GmbH, Stadt.Land.Digital Newsletter 1/2021. URL: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Newsletter/Stadt.Land.Digital/NL-Elemente/nl-01-21-interview.html> (Abrufdatum 14.12.2023).
- Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt (2022): Monitoringbericht 2022. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. URL: <https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/monitoringberichtenergie2022.pdf>.
- Dena (2016): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. Einsparpotenziale identifizieren und erschließen. URL: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1435\\_Broschuere\\_Energieeffiziente\\_Straassenbeleuchtung.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1435_Broschuere_Energieeffiziente_Straassenbeleuchtung.pdf).
- Dena (2018): Energie- und Klimaschutzmanagement. Zertifizierung als dena-Energieeffizienz-Kommune. URL: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Zertifizierung\\_als\\_dena\\_Energieeffizienz-Kommune.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Zertifizierung_als_dena_Energieeffizienz-Kommune.pdf).
- DigitalAgentur Brandenburg (2023): Smartes Energiemanagement Brandenburg. Am Beispiel Energiemonitoring in Cottbus/Chosebuz. URL: [https://www.digital-agentur.de/fileadmin/09\\_Publikationen/Transferpapier\\_No2\\_Smartes\\_Energiemanagement\\_Brandenburg.pdf](https://www.digital-agentur.de/fileadmin/09_Publikationen/Transferpapier_No2_Smartes_Energiemanagement_Brandenburg.pdf).
- EY (2013): Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler. URL: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Studien/kosten-nutzen-analyse-fuer-einen-flaechendeckenden-einsatz-intelligenter-zaehler.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Studien/kosten-nutzen-analyse-fuer-einen-flaechendeckenden-einsatz-intelligenter-zaehler.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- Gelsenwasser (o. J.): Smartes Messwesen. Digitale Zähler & Messstellenbetrieb. URL: <https://www.gelsenwasser.de/b2b-loesungen/digitale-loesungen-services/digitale-zaehler-und-messstellenbetrieb> (Abrufdatum 20.11.2023).
- Häusler, Dr., Tobias (2022): Energiemanagement Stadt Cottbus. URL: <https://cottbus-digital.de/de/aktuelles/artikel-netzwerktreffen-der-regionalen-energie-und-klimaschutzmanagerinnen.html>.
- Hebel, Elisabeth von; Jahn, Karin; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2011): Der energetische Sanierungsbedarf und der Neubaubedarf von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur.
- Hillebrand, Annette; Wielgosch, Julia (2023): LoRaWAN-Anwendungen in Kommunen helfen beim Energiesparen, Ergebnisse des WIK-Workshop 23. September 2023, WIK-Schlaglicht, Oktober 2023.

- KfW Research (2022): Kommunen spüren steigende Energiepreise und reagieren vielfältig darauf. URL: <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/1d0cde78-9014-4184-8cdd-eccf951a84aa/content>.
- Kommune21 (2021): Kreis Ludwigsburg: Gemeinsam für LoRaWAN. URL: [https://www.kommune21.de/meldung\\_36446\\_Gemeinsam+f%C3%BCr+LoRaWAN.html](https://www.kommune21.de/meldung_36446_Gemeinsam+f%C3%BCr+LoRaWAN.html) (Abrufdatum 19.10.2023).
- Kuntke, Franz et al. (2022): LoRaWAN security issues and mitigation options by the example of agricultural IoT scenarios. In: Trans Emerging Tel Tech. 2022;e4452. doi: 10.1002/ett.4452. URL: [https://www.peasec.de/paper/2022/2022\\_KuntkeRomanenkoLinsnerSteinbrinkReuter\\_LoRaWANsecurityAgriculture\\_ETT.pdf](https://www.peasec.de/paper/2022/2022_KuntkeRomanenkoLinsnerSteinbrinkReuter_LoRaWANsecurityAgriculture_ETT.pdf).
- licht.de (o. J.): Energieeffizienz: Moderne Lichttechnik spart. URL: <https://www.licht.de/de/lichtthemen/licht-und-umwelt/energieeffizienz> (Abrufdatum 9.11.2023).
- LineMetrics (o. J.): Batterielaufzeit bei LoRa-Sensoren: Was ist in der Praxis realistisch? Wovon hängt sie ab? URL: <https://www.linemetrics.com/de/bis-zu-10-jahre-batterielaufzeit-bei-lora-sensoren-soschaut-es-in-der-praxis-aus/> (Abrufdatum 1.11.2023).
- Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2034), zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. Mai 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 133) geändert.
- Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein (2023): Smarte Funktechnik für Schleswig-Holstein. URL: [https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden//\\_startseite/Artikel2023/IV/231107\\_cds\\_lorawan.html](https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden//_startseite/Artikel2023/IV/231107_cds_lorawan.html) (Abrufdatum 9.11.2023).
- Naumann, Harald; Oelers, Wilhelm (2021): Smart City. Umsetzung mit öffentlichen oder privatem LPWAN.
- Norddeutscher Rundfunk (2022): Licht aus. Wie Kommunen Energie einsparen. URL: <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/kommunen-energie-101.html> (Abrufdatum 9.11.2023).
- Norddeutscher Rundfunk (2023): Die Energiesparvorgaben greifen. Städte und Gemeinden. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/staedte-gemeinden-energiesparverordnung-potenzial-101.html> (Abrufdatum 9.11.2023).
- Popli, Sakshi et al. (2019): A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NBloT): Architecture, Application and Challenges. In: IEEE Access 7.
- RP Digital (2021): Neues Funknetz wird im Rhein-Kreis Neuss aufgebaut. URL: [https://rp-online.de/nrw/staedte/rhein-kreis/rhein-kreis-neuss-neue-funknetz-infrastruktur-wird-lorawan-aufgebaut\\_aid-57702883](https://rp-online.de/nrw/staedte/rhein-kreis/rhein-kreis-neuss-neue-funknetz-infrastruktur-wird-lorawan-aufgebaut_aid-57702883) (Abrufdatum 19.10.2023).
- Sherazi, Husnain et al. (2018): When Renewable Energy Meets LoRa: A Feasibility Analysis on Cable-Less Deployments. In: IEEE Internet of Things Journal, May 2018. doi: 10.1109/JIOT.2018.2839359. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325146395\\_When\\_Renewable\\_Energy\\_Meets\\_LoRa\\_A\\_Feasibility\\_Analysis\\_on\\_Cable-Less\\_Deployments](https://www.researchgate.net/publication/325146395_When_Renewable_Energy_Meets_LoRa_A_Feasibility_Analysis_on_Cable-Less_Deployments).
- Stadt Delbrück, regio IT (2019): Konzept zum Aufbau eines nachhaltigen IoT-Netzes für die Stadt Delbrück unter Berücksichtigung der Übertragbarkeit auf andere Kommunen. URL: [https://www.stadt-delbrueck.de/de-wAssets/docs/rathaus-online/delbrueck-digital/LoRaWAN\\_Abschlusskonzept.pdf](https://www.stadt-delbrueck.de/de-wAssets/docs/rathaus-online/delbrueck-digital/LoRaWAN_Abschlusskonzept.pdf).

Stadt Delbrück, regio IT (o. J.): Übertragbarkeitsleitfaden der Stadt Delbrück zum Projekt „LoRaWAN 2.0“. URL: [https://www.stadt-delbrueck.de/de-wAssets/docs/rathaus-online/delbrueck-digital/LoRaWAN-2.0\\_Uebertragbarkeitsleitfaden\\_FINAL.pdf](https://www.stadt-delbrueck.de/de-wAssets/docs/rathaus-online/delbrueck-digital/LoRaWAN-2.0_Uebertragbarkeitsleitfaden_FINAL.pdf).

Stadt Herrenberg (2018): Grundlagenpapier: Smart Herrenberg. Mit IoT und LoRaWAN zum digitalen Pionierstandort. URL: [https://tug-herrenberg.de/wp-content/uploads/2019/03/lorawan\\_juli-2018.pdf](https://tug-herrenberg.de/wp-content/uploads/2019/03/lorawan_juli-2018.pdf).

Stadt Pforzheim (2023): Smarte Bäume für Pforzheim. URL: <https://www.smartcity-pforzheim.de/news-ansicht/article/detail/News/smart-e-baeume-fuer-pforzheim.html> (Abrufdatum 7.12.2023).

Stadt+Werk (2020): SWTE Netz: Smarte Signale aus luftiger Höhe. URL: [https://www.stadt-und-werk.de/meldung\\_34507\\_Smart-e+Signale+aus+luftiger+H%C3%B6he.html](https://www.stadt-und-werk.de/meldung_34507_Smart-e+Signale+aus+luftiger+H%C3%B6he.html) (Abrufdatum 19.10.2023).

Statista (2020): Share of LPWA connections worldwide in the first half of 2020 and 2025, by technology. URL: <https://www.statista.com/statistics/1244778/lpwa-market-share-by-technology/> (Abrufdatum 19.10.2023).

Technische Universität München (2022): Smart Cities in Deutschland 2022. Technologien, Anwendungsfälle und Partizipation.

The Things Industry (o. J.): Pricing Plans. URL <https://www.thethingsindustries.com/stack/plans/> (Abrufdatum 29.10.2023).

UnaBiz Holdings (o. J.): 0G Network Coverage. URL: <https://www.sigfox.com/coverage/> (Abrufdatum 19.10.2023).

VDI Fachmedien (2023): Stromsensoren der nächsten Generation. URL: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/digitalisierung/stromsensoren-der-naechsten-generation/> (Abrufdatum 1.11.2023).

Wir danken den Experten für ihre Bereitschaft, für Experteninterviews zur Verfügung zu stehen:

- Caspar Armster, Experte und Berater, u. a. dasdigidings e.V.
- Christian Borg-Krebs, Leiter Business Development Smart City, Mainova AG
- Jan Bose, Geschäftsführer, Alpha-Omega Technology GmbH & Co. KG
- Jan Cramer, Projektleiter IoT, Energielenker Solutions GmbH
- Thomas Erfert, Geschäftsführer, SRM Straßenbeleuchtung Rhein – Main GmbH
- Dr. Sascha Hemmen, Referatsleiter Digitalisierung und Wirtschaft, Stadt Wolfsburg
- Martin Lempfert, CTO / Leitung Smart City Services, TraveKom GmbH
- Torsten Löhrhoff-Knobe, Senior Sales Manager, co.met
- Ralf Niemann, Leiter Abwasserwerk, Gemeinde Altenbeken
- Nick Stowasser, Referent Kommunales Energiemanagement, Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH
- Simon Weckmann, IoT Solutions Engineer, OE 1154 IoT & Urban Data, SWO Netz GmbH
- BNetzA