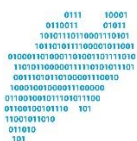




ÜBERTRAGBARKEITSLFITFADEN

der Stadt Delbrück

zum Projekt „LoRaWAN 2.0“



DIGITALES
NORDRHEIN-WESTFALEN
MODELLREGION OWL

gefördert durch:

Ministerium für Heimat, Kommunales,
Bau und Digitalisierung
des Landes Nordrhein-Westfalen



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Beschreibung des Projektes	7
3	Kurz-Zusammenfassung der technischen Voraussetzungen	9
4	Projektstruktur, Aufgaben und weitere Beteiligte	10
4.1	Projektstruktur	10
4.2	Personelle Besetzung, Aufgaben und Verantwortlichkeiten	12
4.3	Assoziierte Partner	14
4.4	Weitere Beteiligte / Partner	14
5	Projektvorgehen	16
5.1	Die Förderanträge	16
5.2	Das Pilotprojekt	16
5.3	Technische Voraussetzungen / Rahmenbedingungen	18
5.3.1	Standards und Schnittstellen	19
5.3.2	Architektur	21
5.4	Der Netzaufbau	21
5.4.1	Netzausbauszenarien	22
5.4.2	Standortvorbereitung	23
5.4.3	Gatewayreichweite, -installation und -inbetriebnahme	23
5.4.4	Netzabdeckungstest	24
5.5	Umsetzung der Anwendungsfälle	26
6	Netzzusammenschluss	27
6.1	Motivation	27
6.2	Vorgehen	27
6.2.1	Ansprache der potenziellen Teilnehmenden	27
6.2.2	Evaluation möglicher Anwendungsfälle	28
6.2.3	Evaluation der aufgebauten Netze	28
6.2.4	Evaluation der technischen Möglichkeiten	30
6.2.5	Klärung wirtschaftlicher und rechtlicher Fragen	33
6.2.6	Konzipierung der technischen Umsetzung	33
6.2.7	Pilotumsetzung und Testphase	33
6.2.8	Umsetzung mit allen Teilnehmenden	33
7	Datenbereitstellung	34
7.1	Bereitstellung eines öffentlichen LoRaWAN Netzes	34
7.2	City Dashboard Delbrück	35
7.3	Fachanwendungen	35
7.3.1	e2watch	35
7.3.2	Prozessleitsystem Aquasys	36

7.3.3	Divera 24/7	36
7.4	Unterstützte externe Projekte	36
8	Datenerfassung per Drohne	37
8.1	Rahmenbedingungen	37
8.2	Technischer Aufbau	38
8.3	Testflug und Ergebnisse.....	38
8.3.1	Allgemeine Übersicht	40
8.3.2	Allgemeine Statistiken	42
8.3.3	Trendanalyse	47
8.3.4	Detailanalyse von ausgewählten Sensoren	47
8.3.5	Fazit	48
9	Projektdokumentation.....	50
10	Betreibermodell.....	51
10.1	Architektur	51
10.2	Aufgabenübersicht und Verantwortlichkeiten.....	52
10.3	Prozesse	55
10.4	Netzanmeldung und Netzbetrieb	57
10.4.1	Ist eine Netzanmeldung bei der BNetzA erforderlich?	57
10.4.2	Ist es sinnvoll den Netzbetrieb an eine/n externe/n Dienstleister/in auszulagern?.....	58
11	Kostenmodell.....	60
11.1	Projektkosten	60
11.1.1	Dienstleistung regio iT.....	60
11.1.2	Betriebskosten	62
11.1.3	Netzaufbau: Gateways, Montage und Kleinmaterial	62
11.1.4	Investition: Sensoren, Aktoren, Zähler.....	64
11.1.5	Personalkosten Delbrück	65
11.2	Folgekosten.....	66
11.2.1	IoT-Plattform und Visualisierungsplattform	66
11.2.2	Sonstige Betriebskosten.....	66
12	Anwendungsfallbewertung	68
12.1	Pumpwerküberwachung.....	73
12.2	Grundwasserpegelmessung.....	73
12.3	Wasserschäden	73
12.4	Regenrückhaltebecken.....	74
12.5	Flusspegelüberwachung	74
12.6	Kanalfüllstandüberwachung	74
12.7	Rechenüberwachung	75
12.8	Wasserrohrnetzüberwachung.....	75
12.9	Wasserverbrauchsmessung	75
12.10	Ölfüllstandsmessung	76

12.11	Gasverbrauchsmessung	76
12.12	Stromverbrauchsmessung	76
12.13	Kühlkammerüberwachung	77
12.14	Heizungsüberwachung	77
12.15	Tür- / Fensterkontaktüberwachung	77
12.16	Überwachung durch Bewegungsmelder	78
12.17	Rauchmelder	78
12.18	Regelung von Oberlichtern	78
12.19	Überwachung von Rettungswegen	78
12.20	Überwachung von Behindertenparkplätzen.....	79
12.21	Glatteisüberwachung	79
12.22	Wetterstationen.....	80
12.23	Luftgütemessung	80
12.24	Personenzählung.....	80
12.25	Schwefelwasserstoffmessung.....	80
12.26	Überwachung von EDV Schränken.....	81
12.27	Druckmessung in Wasserleitungen.....	81
13	AnsprechpartnerInnen und weitere Informationen.....	82
14	Anlagen	83
14.1	Checkliste Gatewaystandortbegehungen	83
14.2	Vorlage für Personalrat: Netzabdeckungstest.....	84
14.3	Projektstatusbericht.....	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vor- und Nachteile des Eigenbetriebes eines LoRaWAN Funknetzes.....	59
Tabelle 2	Eingekaufte Sensorik inkl. Kostenangabe	65
Tabelle 3	Stellenanteile der Projektmitarbeitenden	66
Tabelle 4	Ergebnisse der Anwendungsfallbewertung in Tabellenform	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ostwestfalen-Lippe	6
Abbildung 2	Vereinfachte und allgemeine Darstellung einer IoT-Dateninfrastruktur.....	21
Abbildung 3	Gatewaystandorte im Pilotprojekt (grünes Quadrat).....	22
Abbildung 4	Outdoor-Netzabdeckung im Pilotprojekt.....	25
Abbildung 5	Outdoor-Netzabdeckung im Folgeprojekt.....	25
Abbildung 6	Überblick Gateway-Standorte (Stand: Herbst 2022; exklusive der Standorte der Stadtwerke Bielefeld).....	29

Abbildung 7 Reichweitensimulation, Höhenannahme 10m (exklusive der Standorte der Stadtwerke Bielefeld).....	30
Abbildung 8 Auszug aus der INSPIRE.app: Wasserpegel Ems in Delbrück (Quelle: safety innovation center gGmbH).....	36
Abbildung 9 Drohne mit LoRaWAN Gateway	39
Abbildung 10 Drohnenflug mit LoRaWAN Gateway	39
Abbildung 11 Übersicht über alle von den Sensoren empfangenen Pakete pro Höhe	41
Abbildung 12 Übersicht empfangener Pakete und Sensoren pro Minute	42
Abbildung 13 Übersicht empfangener Pakete und Sensoren pro Minute von Sensoren mit hoher Sendefrequenz	43
Abbildung 14 Mittlerer RSSI Wert von Sensoren mit hoher Sendefrequenz.....	44
Abbildung 15 Mittlere Empfangsleistung (RSSI) der empfangenen Sensoren bei 25m Gatewayhöhe. Grün signalisiert gute Empfangsqualität. Rot signalisiert schlechte Empfangsqualität.....	45
Abbildung 16 Mittlere Empfangsqualität (RSSI) der empfangenen Sensoren bei 125m Gatewayhöhe. Grün signalisiert gute Empfangsqualität. Rot signalisiert schlechte Empfangsqualität.....	45
Abbildung 17 Vergleich der Mittleren Empfangsqualität auf 25m und 125m Gatewayhöhe...	46
Abbildung 18 RSSI Mittelwerte bei verschiedenen Gatewayhöhen.....	47
Abbildung 19 Anzahl empfangener Pakete pro Minute bei verschiedenen Gatewayhöhen...	48
Abbildung 20 Gesamtarchitektur der betriebenen Komponenten.....	52
Abbildung 21 Übersicht der relevanten Aufgaben und Zuständigkeiten	52
Abbildung 22 Kommunikationswege im Supportfall	53
Abbildung 23 Detailbeschreibung aller Aufgaben des Netzbetriebes.....	54
Abbildung 24 Detailbeschreibung der Aufgaben des Applikationsbetriebes.....	54
Abbildung 25 Prozess „FachanwenderIn stellt einen Fehler fest“	56
Abbildung 26 Prozess „Sensor durch Diebstahl oder Vandalismus beschädigt/entfernt/nicht auffindbar“	56
Abbildung 27 Prozess „Standort hat keine Netzabdeckung“	57
Abbildung 28 Prozess „regio iT stellt Sensorausfall fest“	57
Abbildung 29 Verteilung der Aufwände der regio iT auf alle Arbeitspakete	62
Abbildung 30 Auswertung in Bezug auf Kosten und Nutzen. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.	69
Abbildung 31 Auswertung in Bezug auf Kosten/Nutzen vs. Skalierbarkeit. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.	70
Abbildung 32 Auswertung in Bezug auf Kosten/Nutzen vs. Zuverlässigkeit. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.	71

1 Einleitung

Das Land Nordrhein-Westfalen hat im Jahr 2018 im Rahmen eines mehrjährigen Förderprogramms fünf Regionen zu **Digitalen Modellregionen** ernannt. Als erste Modellregion wurde **Ostwestfalen-Lippe** (OWL) mit der Leitkommune Paderborn, dem Kreis Paderborn, der kreisfreien Stadt Bielefeld und der **Stadt Delbrück** ausgewählt.

Als Teil der Digitalen Modellregion OWL hat sich die Stadt Delbrück im Jahr 2018 mit dem Projektantrag „**LoRaWAN**¹ – Konzept zum Aufbau eines nachhaltigen IoT²-Netzes für die Stadt Delbrück“ und im Jahr 2019 mit dem Projektantrag „**LoRaWAN 2.0** – Ausbau des IoT-Netzes in der Stadt Delbrück und flächendeckende Implementierung der im Pilotprojekt erfolgreich erprobten Anwendungsfälle“ auf eine Förderung beim Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW (MWIDE) beworben.



Abbildung 1 Ostwestfalen-Lippe

Beide Förderanträge wurden genehmigt, so dass die Stadt Delbrück in der Zeit von **Dezember 2018 bis Februar 2019** das Pilotprojekt „LoRaWAN“ und von **Januar 2020 bis April 2023** das Folgeprojekt „LoRaWAN 2.0“ durchführen konnte. Bei der Projektumsetzung wurde die Stadt Delbrück durch die regio iT GmbH aus Aachen unterstützt.

Um die **Übertragbarkeit der Projektergebnisse** auf andere Kommunen zu erleichtern, hatte es sich die Stadt Delbrück im Rahmen des Projektes zur Aufgabe gemacht, diesen umfangreichen Übertragbarkeitsleitfaden zu entwickeln. Er steht allen Interessierten kostenlos zur Verfügung und beschreibt die Inhalte und Ergebnisse des Projektes. Die Anhänge dieses Leitfadens sind ebenfalls frei nutzbar.

¹ LoRaWAN steht für Long Range Wide Area Network

² IoT = Internet of Things (Internet der Dinge)

2 Beschreibung des Projektes

Viele Tätigkeiten und Prozesse in der öffentlichen Verwaltung werden noch immer händisch durchgeführt und sind dadurch mit einem hohen Personal-, Zeit- und somit **Kostenaufwand** verbunden. Einige Beispiele hierfür sind die Messung von Wasserpegelständen, das Ablesen von Wasserzählerständen sowie das Öffnen von Oberlichtern zur Belüftung. Diese Tätigkeiten erfordern einen unverhältnismäßig hohen Zeitaufwand in einer Zeit, in der Personal knapp ist und der Umfang an Aufgaben in der öffentlichen Verwaltung stetig zunimmt. Durch die **großen Messintervalle**³, erhält man zudem nur eine sehr geringe Messwertauflösung. Anomalien können so nicht erkannt und kurzfristige Effekte nicht analysiert werden.

Mit Hilfe moderner Sensoren lassen sich viele dieser **Prozesse** mit geringem Aufwand digitalisieren und **automatisieren**. Dadurch wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit erhöht, sondern auch die Fehleranfälligkeit verringert, da es nicht mehr zu Ablese- und Übertragungsfehlern kommt. Neben der Automatisierung lassen sich in vielen Fällen sogar neue Prozesse gestalten. Die moderne Sensorik ist zudem in der Lage, **dauerhafte Messungen** durchzuführen, was die Transparenz erhöht und ermöglicht, Optimierungspotentiale zu erkennen.

Um diese **Optimierungspotentiale** zu bergen, hat die Stadt Delbrück ein LoRaWAN-Funknetz im gesamten Stadtgebiet aufgebaut. Das Funknetz besteht aus sogenannten Gateways, welche die Sensordaten empfangen und an einen Netzwerkservers weiterleiten. Mithilfe einer Visualisierungsplattform⁴ werden die Sensordaten veranschaulicht und stehen für die weitere Bearbeitung / Analyse bereit. Das LoRaWAN-Funksignal hat – im Vergleich zu z.B. WLAN oder Bluetooth – eine sehr hohe Reichweite von mehreren Kilometern. Die Sensoren sind batteriebetrieben und müssen somit nicht per Kabel mit Strom versorgt werden, was die Installation an jedem noch so schlecht zugänglichen Standort ermöglicht.

Die Stadt Delbrück hat sich u.a. aufgrund folgender weiterer **Vorteile** für den Einsatz von LoRaWAN entschieden:

- die Batterielebensdauer beträgt je nach konfigurierterm Sendeintervall mehrere Jahre, was den Wartungsaufwand minimiert
- als offener Standard ermöglicht die Technologie den Aufbau und Betrieb eigener Netze, unabhängig von den Infrastrukturen großer Telekommunikationskonzerne
- das einmal aufgebaute Netz kann prinzipiell von Jedem genutzt werden (Stadtverwaltung, Betriebe, Gewerbe, Industrie, Bürgerinnen und Bürger, Vereine, Bildungssektor etc.)
- die Anwendungsfälle sind unbegrenzt skalierbar: man kann in kleinem Maßstab testen und erfolgreiche Konzepte großflächig ausrollen (Investitionen und Risiken bleiben dadurch kalkulierbar)
- aufgrund der verhältnismäßig kostengünstigen Hardware ist der Einsatz der LoRaWAN-Technologie auch für kleine Kommunen geeignet; es sind keine millionenschweren Investitionen erforderlich, sondern Anwendungsfälle können sukzessive ausgerollt werden
- durch konsequente Umsetzung des Energiemonitoring inkl. Verbrauchsoptimierung, lassen sich jährlich signifikante Energiekosten einsparen⁵, wodurch Investitionskosten kompensiert werden können

³ Viele Messungen finden monatlich oder sogar nur jährlich statt. Dabei wird jedes Mal nur ein Messwert pro Standort bzw. Anlage erhoben.

⁴ Die Stadt Delbrück setzt die Plattform „e2watch“ der regio iT GmbH ein.

⁵ Kunden der regio iT welche das Energiemonitoringsystem e2watch konsequent einsetzen, sparen jährlich im Durchschnitt 5-10% ihrer Energie- und Wasserkosten (Angabe der regio iT GmbH)

Da es sich bei LoRaWAN um eine – zumindest in Deutschland – noch nicht sehr verbreitete Technologie handelte, hatte sich die Stadt Delbrück dazu entschieden, vor dem großen Umsetzungsprojekt ein **Pilotprojekt** zu starten. Im Pilotprojekt „LoRaWAN“ wurde ein rudimentäres Funknetz im Stadtgebiet aufgebaut und darin zwölf ausgewählte Anwendungsfälle in kleinem Umfang getestet. Darüber hinaus wurden in zielgruppenspezifischen Workshops die Wünsche und Bedarfe von Verwaltungsmitarbeitenden, Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen, Dienstleistenden und LandwirtInnen der Stadt Delbrück abgefragt.

Die Ergebnisse aus dem Pilotbetrieb und den Workshops sind in einem [Abschlusskonzept](#) zusammengefasst und analysiert worden. Basierend auf der Analyse der Machbarkeit, Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit der durchgeführten und neu entwickelten Anwendungsfälle, wurden 25 Anwendungsfälle für die Umsetzung im Folgeprojekt „LoRaWAN 2.0“ definiert.

Im Projekt „LoRaWAN 2.0“ ging es vorrangig darum, das LoRaWAN-Funknetz flächendeckend auszubauen und die geplanten **25 Anwendungsfälle** zu skalieren bzw. implementieren. Zusätzlich wurde ein Betreiber- und Kostenmodell entwickelt, um den Betrieb und die Finanzierung des Netzwerks nachhaltig sicherzustellen. Ein anderes Arbeitspaket befasste sich mit dem Netzzusammenschluss (Roaming) und ein weiteres mit der Schaffung eines öffentlichen Netzes.

3 Kurz-Zusammenfassung der technischen Voraussetzungen

Moderne Lösungen für **zukunftsorientierte Städte** benötigen immer eine entsprechende Infrastruktur. Ein großer Fokus liegt dabei heutzutage auf der **Datenverarbeitung**. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Werkzeuge für leistungsfähige Datenverarbeitung entwickelt und sind kommerziell verfügbar. Ein wesentlicher Schwachpunkt in vielen Anwendungen ist jedoch die Datenübertragung vom Ort des Geschehens hin zum Datenverarbeitungswerkzeug. Die etablierten Lösungen (WLAN, Ethernet oder diverse BUS-Systeme) scheitern in der Realität oft an unterschiedlichen Herausforderungen: hohe Kosten (z.B. für die Verkabelung), zu hoher Stromverbrauch, zu geringe Abdeckung bzw. Reichweite.

LPWAN (Low Power Wide Area Network) ist daher in den letzten Jahren immer stärker in den Fokus gerückt. Die Eigenschaft des geringen Energieverbrauchs und der hohen Durchdringung und Reichweite der Signale, ermöglichen neue Anwendungen, welche vorher nicht möglich oder aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll waren. In diesem Feld wird aktuell ein Konkurrenzkampf von im Wesentlichen drei Technologien (LoRaWAN, Sigfox und NB IoT) ausgetragen auf den hier nicht näher eingegangen werden soll. Im Web finden sich ausreichend Vergleiche und Beschreibungen. Die Stadt Delbrück hat sich für den **Einsatz der LoRaWAN Technologie** entschieden (siehe Kapitel 5.3.1.1). Im Vergleich zu den konkurrierenden Technologien spricht für diese Technologie insbesondere die Möglichkeit, die Infrastruktur selbst aufzubauen und zu betreiben bzw. diese Dienstleistung an einen kommunalen Dienstleister zu übertragen. Vorteil ist dabei, dass die **Datensouveränität** bei der Kommune bleibt. Im Detail bedeutet dies, dass die Stadt Delbrück für die Planung des LoRaWAN Netzes, den Aufbau der Gateways und IT-Infrastruktur, sowie für deren Betrieb selbst verantwortlich ist.

4 Projektstruktur, Aufgaben und weitere Beteiligte

In diesem Kapitel wird unter anderem dargelegt, wie das Projekt personell strukturiert war. Darüber hinaus werden die Rollen, Aufgaben und Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten erläutert.

4.1 Projektstruktur

Das Delbrücker LoRaWAN-Projekt war personell folgendermaßen gegliedert:

Kernteam

- regio iT: Projektleitung und stellv. Projektleitung
- Stadt Delbrück: Projektleitung, stellv. Projektleitung, Elektroniker für den Hardware-Rollout

Erweiterte Projektgruppe

regio iT:

- Technische Beratung und Durchführung (Sensoren)
- Netzplanung, Beratung und Konzeption (Gateways)
- IntegrationsspezialistInnen
- Technischer Betrieb (Server und Anwendungen)

Stadt Delbrück:

- Leitung Abwasserwerk
- Mitarbeiter Wasserwerk
- Leitung Fachbereich Tiefbau
- Leitung Bauhof
- Hausmeister Gesamtschule
- Mitarbeiterin Öffentlichkeitsarbeit / Marketing
- Mitarbeiter Fachbereich Bauen & Planen / Vertretung des Personalrats

Bürgermeister und Fachbereichsleitungen

- Bürgermeister
- übrige Fachbereichsleitungen

Im Kernteam hat eine etwa wöchentliche, innerhalb der Stadt Delbrück sogar oft tägliche Abstimmung der Aktivitäten stattgefunden. Die erweiterte Projektgruppe leistete u.a. inhaltliche Zuarbeit und unterstützte bei der Vorbereitung und Implementierung einzelner Anwendungsfälle vor Ort. Der Bürgermeister und die Fachbereichsleitungen wurden über den Projektfortschritt regelmäßig informiert und trafen bei Bedarf Entscheidungen, um den reibungslosen Projektablauf sicherzustellen.

Um eine effiziente Umsetzung der 25 Anwendungsfälle sicherzustellen, wurde durch die Projektgruppe entschieden, dass zusätzlich **themenbezogene Arbeitsgruppen** (AG) gebildet werden, die sich anlassbezogen treffen bzw. abstimmen sollten:



Arbeitsgruppe „Wasser“

- Kernteam von Seiten Stadt Delbrück
- zzgl.
- Leitung Wasserwerk
- Mitarbeiter Wasserwerk
- Leitung Tiefbau



Arbeitsgruppe „Abwasser“

- Kernteam von Seiten Stadt Delbrück
- zzgl.
- Leitung Abwasserwerk
- Leitung Tiefbau



Arbeitsgruppe „Gebäudemanagement“

- Kernteam von Seiten Stadt Delbrück
- zzgl.
- Leitung FB Bildung / Sport / Kultur
- Mitarbeiter FB Bauen & Planen
- Hausmeister Gesamtschule



Arbeitsgruppe „Verkehr / Personenzählung“

- Kernteam von Seiten Stadt Delbrück
- zzgl.
- Leitung Ordnungsamt
- 2 Mitarbeitende vom Ordnungsamt

Wenn nötig, wurde die Projektleitung der regio iT zu den Arbeitsgruppentreffen eingeladen⁶.

Es ist zu empfehlen – wo möglich – die Fachbereichsleitungen als Teil der Arbeitsgruppe aufzunehmen. Dadurch wird nicht nur der Kommunikationsfluss sichergestellt, es fördert auch die Akzeptanz und Unterstützung des Projekts innerhalb des Fachbereichs. Nicht zu vernachlässigen ist auch der Vorteil, dass durch die Teilnahme der Fachbereichsleitung an den AG-Treffen, Entscheidungen schneller getroffen werden können und sich so der Abstimmungsaufwand verringern lässt.

⁶ Die Teilnahme an AG-Treffen oder allgemeinen Abstimmungen erfolgte i.d.R. über eine Telefon- oder Videokonferenz. Vor-Ort-Termine waren nur selten erforderlich.

4.2 Personelle Besetzung, Aufgaben und Verantwortlichkeiten

Welche personelle Besetzung das Projekt benötigt, hängt selbstverständlich vom Umfang und konkreten Inhalt ab. Die Erfahrung der Stadt Delbrück zeigt, dass es sich empfiehlt, zumindest eine Projektleitung, eine stellvertretende (technische) Projektleitung sowie eine Fachkraft für die Installation von Gateways und Sensorik zu haben. Über die Besetzung des Projekts von Seiten eines Dienstleisters kann an dieser Stelle – über die in Kapitel 4.1 hinausgehenden Informationen – keine Angabe gemacht werden, da dies der Einschätzung des jeweiligen Unternehmens obliegt.

Im folgenden Abschnitt werden die **drei zentralen Rollen** im Delbrücker LoRaWAN-Projekt in Bezug auf ihre Aufgaben und Verantwortlichkeiten näher skizziert. Dies kann als Orientierung für die Besetzung eines eigenen Projekts sowie für eine mögliche Stellenausschreibung dienen.

Projektleitung

Die Projektleitung sollte neben Erfahrung in der Strategiebildung, Projektleitung und –umsetzung ebenfalls Erfahrung in Konzeption und Management von Innovationsprojekten vorweisen können. Als Schnittstelle zwischen Projektteam, Behördenleitung, Stakeholdern und Öffentlichkeit sollte sie über Moderations- und Organisationskompetenz, Kommunikationsstärke und Präsentationsgeschick verfügen.

Zu den Aufgaben der Projektleitung zählt u.a.

- umfassende und eigenständige Projektleitung, inkl. Steuerung und Kontrolle des Projektes
- Überwachung des Projektablaufs, inkl. Risikomanagement und Dokumentation von Planabweichungen und Ergebnissen
- allgemeine Verwaltungs- und Managementaufgaben, insb. Koordination der Zusammenarbeit der Projektbeteiligten
- Netzwerkarbeit und Kommunikation mit Fachabteilungen / Eigenbetrieben und Rat der Stadtverwaltung
- Öffentlichkeitsarbeit / Kommunikation, u.a. Verfassen von Presseberichten und Organisation sowie Durchführung von Pressekonferenzen / Infoveranstaltungen / Arbeitsgruppentreffen
- AnsprechpartnerIn für das Projekt und Vertretung des Projektes in regionalen (und überregionalen) Veranstaltungen

Stellvertretende (technische) Projektleitung

Es bietet sich an eine stellvertretende Projektleitung einzusetzen, um den Projektfortschritt in Abwesenheitszeiten der Projektleitung sicherzustellen. Auch die stellvertretende Projektleitung sollte Erfahrung in Konzeption und Management von Innovationsprojekten vorweisen. Darüber hinaus ist es wichtig, dass sie Kenntnisse im Bereich Elektroinstallation und Energiemonitoring mitbringt und Erfahrung in der technischen Organisation und Umsetzung von Digitalisierungsprojekten hat. Durch diese Fähigkeiten ergänzt sie die Projektleitung optimal, welche vorwiegend die Organisation und das Controlling des Projektes übernehmen muss.

Die stellvertretende Projektleitung nimmt ergänzend vornehmlich technische Aufgaben wahr, u.a.:

- Spezifikation von Anwendungsfällen, (Unterstützung bei der) Beschaffung von Hardware, Vorbereitung der Sensorik für die Installation

- Sichtung der Installationsorte mit dem Dienstleistungsunternehmen
- Abstimmung mit Dienstleistungsunternehmen, Betreibenden, Fachabteilungen / Eigenbetrieben / HausmeisterInnen bzgl. des Rollouts von Gateways und Sensoren
- Überprüfung der implementierten Anwendungsfälle in der Visualisierungsplattform

ElektronikerIn für den Hardware-Rollout

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Pilotprojekt war, dass die Einstellung einer Elektronikerin / eines Elektrikers für die Implementierung der Anwendungsfälle notwendig ist, da der Arbeitsaufwand nicht allein durch vorhandenes Personal abgedeckt werden konnte. Um den erforderlichen Stellenumfang für das Folgeprojekt LoRaWAN 2.0 zu ermitteln, wurde der zeitliche Aufwand einer Elektronikerin / eines Elektrikers pro Arbeitspaket kalkuliert und auf die Projektlaufzeit hochgerechnet. Dabei wurde geschätzt, dass für die Zeit der Projektdurchführung ein/e Elektroniker/in mit einem **Stellenanteil von 0,92** benötigt wird. Unmittelbar nach Bescheidübergabe wurde eine entsprechende Stellenausschreibung veröffentlicht.

Die Vergütung der Stelle richtete sich nach der Entgeltgruppe 7 TVöD. Vorausgesetzt wurde:

- eine erfolgreich abgeschlossene Berufsausbildung zur Elektronikerin/ zum Elektriker für Geräte und Systeme oder ein vergleichbarer Abschluss
- fundierte Kenntnisse im Bereich der Elektroinstallation
- gute EDV-Kenntnisse
- Führerschein Klasse B

Wünschenswert war eine mehrjährige Berufserfahrung im Bereich der Steuerungs-, Regelungs- und / oder Automatisierungstechnik.

Als Aufgaben wurden definiert:

- Initiierung, Umsetzung und Betreuung der Anwendungsfälle für das LoRaWAN-Projekt
- Beschaffung, Vorbereitung und Installation der Sensorik
- Sichtung und Vorbereitung der Installationsorte
- Abstimmungen in Bezug auf die Projektarbeiten
- Dokumentationsarbeiten im Rahmen des Projektcontrollings
- Ansprechperson innerhalb der Stadtverwaltung für die Anwendungsfälle

Neben diesen drei zentralen Rollen im Projekt, trägt es wesentlich zum Erfolg bei, wenn **Vertretungen aus anderen Fachbereichen** direkt im Projekt beteiligt sind (vgl. Auflistungen in Kapitel 4.1). Welche Fachbereiche vertreten sind, hängt davon ab, welche Anwendungsfälle umgesetzt werden bzw. für welche Bereiche die erhobenen Daten anschließend eine Rolle spielen. Die Aufgaben dieser „zuarbeitenden“ KollegInnen bestehen unter anderem darin, bei der Definition der Anwendungsfälle inkl. Umsetzungsplanung und Sensorspezifikation zu unterstützen sowie den Rollout (ggf. begleitend) und die Datenanalyse vorzunehmen.

Darüber hinaus sollte bedacht werden, dass die übrige Belegschaft, insbesondere aber der Bereich **Marketing**, der **Personalrat** und selbstverständlich die / der **BürgermeisterIn** und ihre / seine Fachbereichsleitungen in die Projektarbeit eingebunden werden. Sie sollten regelmäßig über Projektfortschritte informiert werden. Bei auftretenden Risiken hat die / der BürgermeisterIn Entscheidungen über das weitere Vorgehen zu treffen. Der Personalrat muss ebenfalls gelegentlich in Entscheidungen eingebunden werden, wie z.B. ob ein Netztest durch eigenes Personal durchgeführt werden darf. Ergänzend zur Projektarbeit begleiten Mitarbeitende des Marketings die Öffentlichkeitsarbeit.

4.3 Assoziierte Partner

Bereits im September 2019 haben die Städte Delbrück, Lippstadt und Soest eine Absichtserklärung (Letter of Intent) zum Erfahrungs- und Wissensaustausch sowie Netzbündnis und Netzbetrieb in Bezug auf die jeweiligen LoRaWAN-Aktivitäten unterzeichnet.



Im Förderantrag der Stadt Delbrück für das Projekt „LoRaWAN 2.0“ sind die Städte Lippstadt und Soest daher als assoziierte Partner aufgeführt.

4.4 Weitere Beteiligte / Partner

Im Sommer 2018 wurde ein regelmäßiger LoRaWAN-Austausch durch die Wirtschaftsförderungsgesellschaft Paderborn mbH (WFG) initiiert. Daran beteiligt waren u.a. Vertretungen der WFG, der Stadt Delbrück, des The Things Network Paderborn (TTN) und der Westfalen Weser Netz GmbH (WWN). Ziel der Treffen ist es sich zu vernetzen, Erfahrungen auszutauschen und gemeinsam Teststellungen oder Projekte zu entwickeln. Der Teilnehmendenkreis hat sich mit der Zeit verändert. So sind mittlerweile auch Vertretungen der Stadt Paderborn und der Stadtwerke Paderborn beteiligt.

Aus diesem Austausch hat sich eine Zusammenarbeit zwischen der WWN, der Stadt Paderborn (Abfallentsorgungs- & Stadtreinigungsbetrieb Paderborn – ASP) und der Stadt Delbrück entwickelt. Gemeinsam mit weiteren überregionalen Akteuren (ENSO NETZ GmbH / DRE-WAG NETZ GmbH, Stadtwerke Münster GmbH und Stromnetz Hamburg GmbH) wurde im Mai 2019 ein Letter of Intent (LoI) unterzeichnet. Dieser beschreibt die Absicht der Beteiligten, zeitnah die LoRaWAN-Technologie auszubauen, Pilot-Anwendungen durchzuführen und in einen regelmäßigen Erfahrungsaustausch zu treten. Seit der Unterzeichnung des LoI hat es daher einige Telefonkonferenzen und einen Vor-Ort-Termin gegeben, in denen sich aktiv und partnerschaftlich ausgetauscht wurde.

Durch die Mitgliedschaft der Stadt Delbrück in der Digitalen Modellregion OWL hatte die Projektgruppe darüber hinaus einen direkten Draht zu anderen Projekten aus dem Förderprogramm mit IoT-Bezug, wie zum Beispiel das Projekt „Zentrale Open Data Plattform“ der Stadt Paderborn (auch: Urban Data Plattform). Mit dem Projektkoordinator haben bedarfsbezogen Austauschgespräche stattgefunden, wenn es beispielsweise um Erfahrungen mit bestimmter Sensorik ging. So ist es dank des direkten Erfahrungsaustausches gelungen, noch während der Projekt- und somit Erprobungsphase, gewisse „Anfängerfehler“ zu vermeiden. Auch zum Förderprojekt „INSPIRE“, in dem es um die Entwicklung einer APP für Einsatzkräfte ging, hat das Projekt Kontakt aufgenommen. Ziel des Austausches war es zu prüfen, ob in Delbrück erhobene Daten eine Relevanz zum Projekt „INSPIRE“ haben und diese für die APP bereitzustellen.

Während der Projektlaufzeit haben außerdem einige Workshops, organisiert von der regiopol-REGION Paderborn e.V. stattgefunden, in denen es um Überlegungen zu einer gemeinsamen

Umsetzung von LoRaWAN Anwendungsfällen und eine mögliche Visualisierung auf einer regionalen Urban Data Plattform ging. Im Austausch mit den beteiligten (kommunalen) Akteuren konnte ein Schritt in Richtung einer regionalen LoRaWAN Strategie gemacht werden.

Darüber hinaus gibt es laufend Anfragen von anderen Städten und Gemeinden und sogar von Unternehmen, die sich für das Thema LoRaWAN interessieren. Mit diesen InteressentInnen wird - in kleinerem und größerem Umfang - ein Erfahrungsaustausch durchgeführt.

5 Projektvorgehen

In diesem Kapitel wird das konkrete Projektvorgehen der Stadt Delbrück dargelegt, um Anhaltspunkte zu liefern, die es anderen Kommunen erleichtern sollen, ihr eigenes LoRaWAN-Projekt durchzuführen. Dafür werden **Hinweise** aufgeführt und **Dokumentvorlagen** bereitgestellt.

5.1 Die Förderanträge

Die Stadt Delbrück hat sich im Rahmen des Förderprogramms „Digitale Modellregionen NRW“ zwei Mal um Fördergelder beworben, um ihr Pilotprojekt und das Folgeprojekt umsetzen zu können. Die **Antragsunterlagen** beinhalteten u.a.:

- das ausgefüllte Antragsformular
- einen umfangreichen Projektsteckbrief (inkl. aller Arbeitspakete)
- einen Projektplan (Zeitplantabelle inkl. Meilensteine)
- die Übersicht über Ausgaben und Einnahmen
- eine Auflistung und Spezifizierung des Personalbedarfs
- eine Anwendungsfallmatrix

Einige der Antragsunterlagen (Steckbrief, Projektplan, Anwendungsfallmatrix) können auf Nachfrage - teilweise in bereinigter Form - zur Verfügung gestellt werden.

Darauf sollte geachtet werden:

- der Antrags- und Bewilligungsprozess kann sehr lange dauern, der Projektbeginn sollte daher nach Möglichkeit auf einige Monate nach Zeitpunkt der Antragsstellung gesetzt werden
- es sollte ausreichende zeitliche und personelle Ressource im Projekt eingeplant werden, um Arbeiten wie Projektmanagement und –controlling sowie Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen
- man sollte vorab möglichst genau ermitteln, in welchen Organisationseinheiten Mitarbeitende das Projekt unterstützen und entsprechend für diese Mitarbeitenden auch Personalmittel beantragen
- als Arbeitspaket im Projekt berücksichtigt werden sollte die Klärung von Verantwortlichkeiten in Bezug auf Betreiberkonzepte und ggf. Geschäftsmodelle, um den Betrieb auf Dauer auf sichere Beine zu stellen

5.2 Das Pilotprojekt

Das Pilotprojekt lässt sich grob in **drei Phasen** gliedern:

1. Teststellung (Proof of Concept – PoC)
2. zielgruppenspezifische Workshops
3. Erstellung des [Abschlusskonzepts](#)

Während der **Teststellung** wurden zwölf im Vorfeld ausgewählte Anwendungsfälle im rudimentär aufgebauten städtischen LoRaWAN-Funknetz in kleinem Umfang erprobt. Die Anwendungsfälle waren:

- Pumpwerküberwachung (Leistungs- und Verbrauchsmessung)
- Wasserpegelmessung / Grundwasserpegelüberwachung
- Wasserverbrauchsmessung
- Ölfüllstandmessung
- Stromverbrauchsmessung / Kühlkammerüberwachung

- Regelung von Oberlichtern (zur Gebäudelüftung auf Basis einer Temperaturvergleichsmessung)
- Schließzylinderüberwachung
- Überwachung durch Bewegungsmelder
- Überwachung der Funktionsfähigkeit / des Batteriezustandes von Rauchmeldern
- Überwachung von Rettungswegen / Feuerwehruzufahrten / Behindertenparkplätzen
- Glatteisüberwachung
- Asset Tracking / Netztest

Die eingesetzten Sensoren konnten im Feld getestet und Aussagen über deren Funktionsweise, Zuverlässigkeit und Genauigkeit abgeleitet werden. Die LoRaWAN-Projektgruppe hatte über die Visualisierungsplattform e2watch Zugriff auf die Daten und konnte während des Feldtests Analysen durchführen und die Mehrwerte der Technologie evaluieren.

Darauf sollte geachtet werden:

- in den meisten Fällen ist eine Vor-Ort-Begehung inkl. Technik-Check-up der späteren Installationsorte erforderlich, um Anforderungen an die Sensorik zu definieren
- beim Rollout der Anwendungsfälle sollten erfahrene KollegInnen aus den jeweiligen Bereichen eingebunden werden, z.B. bei der Grundwasserpegelmessung KollegInnen vom Wasserwerk
- Nutzende sollten rechtzeitig in der Anwendung der Visualisierungssoftware geschult und jeder / jedem Nutzenden ein Zugang bereitgestellt werden
- (korrekte) Sensordaten sollten kontinuierlich bereitgestellt werden, damit die Nutzenden insbesondere in der Anfangsphase motiviert bleiben und den Nutzen erhobener Daten erkennen können
- es sollten Ansprechpersonen aus der Projektgruppe benannt werden, damit auf Fragen und Probleme schnell reagiert werden kann

Nachdem die Sensorik installiert war und erste Daten auf der Visualisierungsplattform abgebildet werden konnten, wurden acht **zielgruppenspezifische Workshops** durchgeführt. Ziel der Workshops war es u.a., die Möglichkeiten und Grenzen der Technologie darzustellen und damit das Verständnis für und Interesse am Projekt zu fördern. Darüber hinaus sollten weitere Anwendungsfälle für die potentielle Umsetzung im Folgeprojekt erarbeitet werden.

Die Stadt Delbrück hat separate Workshops für die Zielgruppen Verwaltung, Bürgerschaft, Landwirtschaft, Dienstleistende und Unternehmen durchgeführt.

Darauf sollte geachtet werden:

- bei der Darstellung der Technologie darauf eingehen, wie sich LoRaWAN von anderen Technologien wie WLAN oder Bluetooth abgrenzt
- die Workshops erst durchführen, wenn man bereits Ergebnisse der eigenen Teststellungen präsentieren kann
- Anwendungsfälle vorstellen, die einen konkreten Nutzen für die jeweilige Zielgruppe verdeutlichen
- bei der Diskussion zum Einsatz von LoRaWAN verdeutlichen, für welche Anwendungen LoRaWAN nicht die geeignete Technologie ist (z.B. bei Notrufsystemen, wo ein Ausfall des Funksignals oder verzögerte Datenübertragung fatale Folgen haben könnte)

Die Ergebnisse und Erfahrungen aus Phasen eins und zwei sind schließlich in die **Erstellung des Abschlusskonzepts** eingeflossen. Dieses wurde federführend von der Projektleitung der regio iT verfasst. In dem Dokument wurden die erprobten und neu entwickelten Anwendungsfälle einer eingehenden Bewertung unterzogen. Die Ergebnisse dieser Bewertung haben es der Projektgruppe anschließend ermöglicht, zuverlässig Entscheidungen treffen zu können, welche Anwendungsfälle sich für die Skalierung bzw. Implementierung eignen und welche nicht.

Darauf sollte geachtet werden:

Es ist dringend zu empfehlen, sich viel Zeit zu nehmen, um mit den betroffenen KollegInnen zu entscheiden, welche Anwendungsfälle flächendeckend ausgerollt werden sollen. Dabei sollten zwei zentrale Fragen diskutiert werden:

Stiftet der Anwendungsfall einen konkreten Mehrwert?



Zum Beispiel:

Kosteneinsparung, Entlastung von Personal, Automatisierung von Prozessen, Schaffung neuer Prozesse, Effizienzsteigerung bestehender Prozesse, Erhöhung der Sicherheit, Verringerung eines Schadensfallrisikos, Bereitstellung von Open Data u.v.m.

Gibt es in der Organisationseinheit Personen, welche die Analyse der Daten vornehmen können?



Daten zu erheben nur um gelegentlich einen Blick darauf zu werfen, ist kaum wirtschaftlich. Es muss im sogenannten Back-End ein „Verwertungsprozess“ angeschlossen werden. Das kann in der einen Organisationseinheit bedeuten, dass sich jemand um die Veröffentlichung von Wetterdaten kümmert und in der anderen können Störmeldekette implementiert werden.

5.3 Technische Voraussetzungen / Rahmenbedingungen

Grundsätzlich gilt es in Sachen Technik einige Dinge zu beachten. Eine elementare Eigenschaft des aufgebauten Gesamtsystems muss seine **Modularität** sein. Die Modularität ermöglicht es einzelne Komponenten (wie z.B. Anwendungen, Middleware, Plattformen) auszutauschen. Wichtig ist dies, um die Abhängigkeiten zu bestimmten AnbieterInnen und Dienstleistenden zu verringern. Zudem ist die Kommune so in der Lage jederzeit die optimalen Komponenten zu verwenden um den größtmöglichen Nutzen zu erzeugen.

Da die Modularität des Gesamtsystems nur so gut wie die verwendeten **Schnittstellen** ist, ist darüber hinaus die Nutzung von standardisierten und nach Möglichkeit offenen Schnittstellen

zu empfehlen. Eine Komponente lässt sich nur schwer tauschen, wenn die möglichen Alternativen die verwendeten Schnittstellen nicht unterstützen. Zudem ist das System auf diese Weise erweiterbar, da nicht zu jedem Zeitpunkt zukünftige Anforderungen bekannt sind.

Ein Teil der verwendeten Komponenten lässt sich aufgrund der hohen Anforderungen an Leistung, Skalierbarkeit und Wartung oft nicht durch die Kommune wirtschaftlich betreiben (z.B. die IoT-Plattform und die Visualisierungsplattform). Daher bieten viele Dienstleistende Lösungen als **Software-as-a-Service** oder sogar als **Clouddienste** an. Großer Vorteil ist hier, dass die Lösungen durch die/den entsprechenden Anbieter/in vollständig betreut werden, und der/die eigentliche Anwender/in sich voll und ganz auf die Nutzung konzentrieren kann. Bei diesen Anwendungen ist aus **Datenschutzsicht** sehr darauf zu achten, in welchen **Rechenzentren** die Lösungen gehostet werden. Mindestanforderung sollte der Betrieb in einem europäischen Rechenzentrum sein. Deutsche oder sogar kommunale Rechenzentren unterliegen denselben europäischen Regeln, genießen aber aufgrund strengerer Datenschutzverordnungen einen noch besseren Ruf. Zudem ist in der Regel insbesondere bei kommunalen AnbieterInnen sichergestellt, dass keine Daten - aus welchen Gründen auch immer - in ausländische Rechenzentren ausgelagert werden. Zudem haben Kommunen über Beteiligungen an kommunalen Rechenzentren auch Mitspracherechte.

Neben der Modularität sollte das Gesamtsystem auch **divers** sein. Konkret bedeutet dies, dass unterschiedliche Anwendungsbereiche unterschiedliche Anforderungen haben und diese selten mit ein und derselben Komponente realisiert werden können. So sollte das System beispielsweise die Möglichkeit bieten verschiedene Datenübertragungstechnologien (LoRaWAN, NB IoT, Mobilfunk etc.) aber auch Schnittstellen in übergeordnete Fachanwendungen wie Dashboards, Urban Data Plattformen, Energiemonitoringsysteme, Open Data Portale oder ERP Systeme (**Enterprise Resource Planning**) zu integrieren.

5.3.1 Standards und Schnittstellen

Im Folgenden werden relevante Standards vorgestellt.

5.3.1.1 LoRaWAN

LoRaWAN ist für den städtischen Einsatz bestens geeignet. Neben unterschiedlichen HardwareherstellerInnen für die Funkstationen des Netzes (Gateways) sowie die Sensorik, gibt es auch unterschiedliche AnbieterInnen für die benötigte IT-Infrastruktur (Netzwerk- und Application-Server). In der Regel sind diese Produkte als Software-as-a-Service oder als On Premise Versionen verfügbar. Letzteres erlaubt den Betrieb dieser Systeme in einem eigenen Rechenzentrum (Stichwort Datensouveränität). In der Regel bieten diese Plattformen verschiedene Möglichkeiten die Daten über **Standardschnittstellen** in beliebige andere Applikationen (Portale, IoT Plattformen, ERP, Fachanwendungen etc.) zu übertragen, sodass jederzeit gewährleistet ist, dass die LoRaWAN Server keine Datensackgasse sind, sondern die Daten in die Anwendungen gebracht werden, wo sie benötigt werden.

Des Weiteren zeichnet sich die LoRaWAN Technologie durch eine **Ende zu Ende Verschlüsselung** nach aktuellem Stand der Technik aus (Daten werden auf dem Sensor verschlüsselt und erst im Zielrechenzentrum entschlüsselt). Die **Kommunikation ist Bidirektional**, sodass nicht nur Sensorwerte empfangen, sondern auch Aktoren unter bestimmten Bedingungen gesteuert werden können. Die wohl wichtigsten Eigenschaften sind jedoch die extreme **Energieeffizienz** und die große Reichweite. Der geringe Energieverbrauch der Sensoren erlaubt die

Nutzung von Batterien als Stromquelle, was für den autarken Betrieb und die einfache Installation der Sensoren von enormer Bedeutung ist. Die große Reichweite ermöglicht (mit herkömmlichen Mobilfunktechnologien verglichen) einen Netzaufbau mit geringem Aufwand, da vergleichsweise wenige Gateways benötigt werden. Zudem können bei Bedarf jederzeit weitere Gateways nachgerüstet werden, um die Verfügbarkeit und Dichte des Netzes zu verbessern. Diese sogenannte **Nachverdichtung** ermöglicht es auch Daten aus tiefen Kellern oder abgelegenen Sonderbauten zu empfangen.

LoRaWAN ist ein Standard, welcher durch die **LoRa Alliance** (<https://lora-alliance.org/>) spezifiziert und stetig weiterentwickelt wird. Wichtige Meilensteine auf diesem Weg der Entwicklung waren eine deutliche Verbesserung des Sicherheitskonzepts sowie die Möglichkeit LoRaWAN Netze unterschiedlicher BetreiberInnen miteinander zu verbinden, um dadurch ein größeres Gesamtnetz zu schaffen.

Mögliche Alternativen zu LoRaWAN sind Sigfox, NB IoT und Mioty, welche im Kontext dieses Projektes nicht weiter berücksichtigt wurden und daher in diesem Dokument nicht weiter ausgeführt werden.

5.3.1.2 REST

Rest (**R**epresentational **S**tate **T**ransfer) ist ein weltweit anerkannter und verbreiteter Standard zur Kommunikation verteilter Systeme und Webservices. Schwerpunkt liegt dabei auf der **Maschine zu Maschine Kommunikation**. Er eignet sich dadurch auch hervorragend zur Übertragung von IoT Daten. Zahlreiche IoT-Lösungen, Visualisierungslösungen und andere Datenverarbeitungstools bieten eine sogenannte REST Schnittstelle an, also einen standardisierten Ein- und Ausganskanal für die Datenübertragung. Anwendungen, die in der in Kapitel 5.3.2 vorgestellten Architektur zum Einsatz kommen, sollten über eine solche Schnittstelle verfügen. Dies stellt eine breite Interoperabilität der ausgewählten Systeme sicher.

5.3.1.3 MQTT

MQTT (**M**essage **Q**ueuing **T**elemetry **T**ransport) ist ebenfalls ein weit verbreiteter Standard der **Maschine zu Maschine Kommunikation**. Im Gegensatz zu REST ist dieser Standard auch für Geräte mit wenigen Ressourcen (schwache Rechenleistung) oder im Bereich beschränkter Netzwerke (geringe Datenübertragungsrate) einsetzbar. Im Bereich der Sensordatenübertragung ist MQTT generell eine gute Alternative zum REST Standard und bietet durch die Publish/Subscribe Architektur die Möglichkeit über einen sogenannten Broker Daten an beliebig viele Subscriber zu verteilen. Auch diesen Standard sollten die eingesetzten Datenverarbeitungslösungen unterstützen.

5.3.1.4 DIN SPEC 91357

Die DIN SPEC 91357 ist eine der ersten **Normierungsansätze** im Bereich der Smart City. Sie kann als Grundlage beim Aufbau von Smart City Ökosystemen herangezogen werden. Sie beschreibt im Wesentlichen eine integrierte Referenzarchitektur für offene urbane Datenplattformen. Dabei wird sie insgesamt wenig konkret und macht keine Vorschläge für konkrete Standards und technische Lösungen. Sie ist in dem Sinne also nicht als Schritt für Schritt Anleitung zu verstehen, sondern vielmehr als Rahmenwerk. Neben der eigentlichen Referenzarchitektur werden nämlich auch weitere Aspekte wie benötigte Fähigkeiten, Geschäftsmodelle, offene Daten, Governance und Usecases beleuchtet.

5.3.2 Architektur

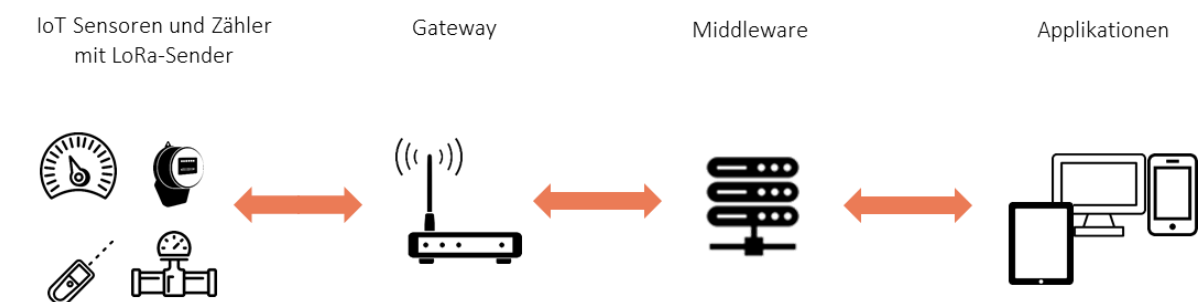


Abbildung 2 Vereinfachte und allgemeine Darstellung einer IoT-Dateninfrastruktur

Abbildung 2 zeigt einen **exemplarischen Aufbau aus verschiedenen Systemkomponenten**, welche grundsätzlich austauschbar und erweiterbar sind. Dabei bildet diese Architektur lediglich den „IoT Zweig“ einer vollständigen Smart City Architektur ab. Auf der untersten Ebene befinden sich Sensoren, Zähler und Aktoren im Feld. Diese sammeln Daten oder führen Steuerbefehle aus und kommunizieren mit Hilfe verschiedener Übertragungstechnologien (z.B. LoRaWAN) mit den Komponenten in der Middleware-Ebene. Oft kommen dabei noch sogenannte Gateways zum Einsatz, die Daten aus lokalen Sensornetzen sammeln und über das Internet an die Middlewareschicht weiterleiten.

Auf der **Middleware-Ebene** sind vor allem IoT-Plattformen zur Verwaltung dieser Geräte aber auch datenverarbeitende Systeme angesiedelt. Diese Systeme laufen für die AnwenderInnen im Hintergrund und sorgen dafür, dass die Anwendungen mit den nötigen Daten und Funktionen ausgestattet werden. Die Aufgaben dieser Middleware-Ebene können dabei vom einfachen persistieren und bereitstellen von Daten bis hin zu komplexen Datenmarktplätzen oder KI Tools, welche mehrere Datensätze miteinander in Bezug setzen, reichen. Bei der Auswahl der Middleware Systeme sollte darauf geachtet werden, dass sie die oben genannten Standards REST (siehe Kapitel 5.3.1.2) und MQTT (siehe Kapitel 5.3.1.3) unterstützen.

Auf der **Anwendungsebene** finden sich dann alle Anwendungen, welche durch EndanwenderInnen genutzt werden können. Neben der Integration bestehender Anwendungen wie Open Data Portale oder Fachverfahren aus der Verwaltung, sollte hier auch über die Integration weiterer Anwendungen nachgedacht werden. Beispiele hierfür wären Mobilitätsplattformen, Smart City Apps, Energiemonitoringsysteme, Smart City Dashboards oder Serviceportale für Bürgerinnen und Bürger.

5.4 Der Netzaufbau

Bevor die ausgewählten Anwendungsfälle implementiert werden können, ist es erforderlich, das LoRaWAN-Funknetz aufzubauen. Im Pilotprojekt hatte man sich dafür entschieden lediglich drei Gateways zu installieren, durch die das Stadtgebiet für die Teststellung ausreichend ausgeleuchtet wurde (vgl. Abbildung 3 Gatewaystandorte im Pilotprojekt (grünes Quadrat)). Die Messungen während des Proof of Concept haben jedoch den Bedarf aufgezeigt, das Netz zu verdichten, damit auch ein **zuverlässiger Betrieb** von Sensoren **innerhalb von Gebäuden** ermöglicht wird. Es musste also im Anschluss an das Pilotprojekt entschieden werden, nach welchem Ausbauszenario die Gateways installiert werden sollen. Dabei ist zu empfehlen, dass der Netzaufbau frühzeitig geplant wird, da es je nach verfügbaren (städtischen) Gebäuden in der Kommune eine aufwändige Prozedur werden kann, geeignete Gatewaystandorte zu finden.

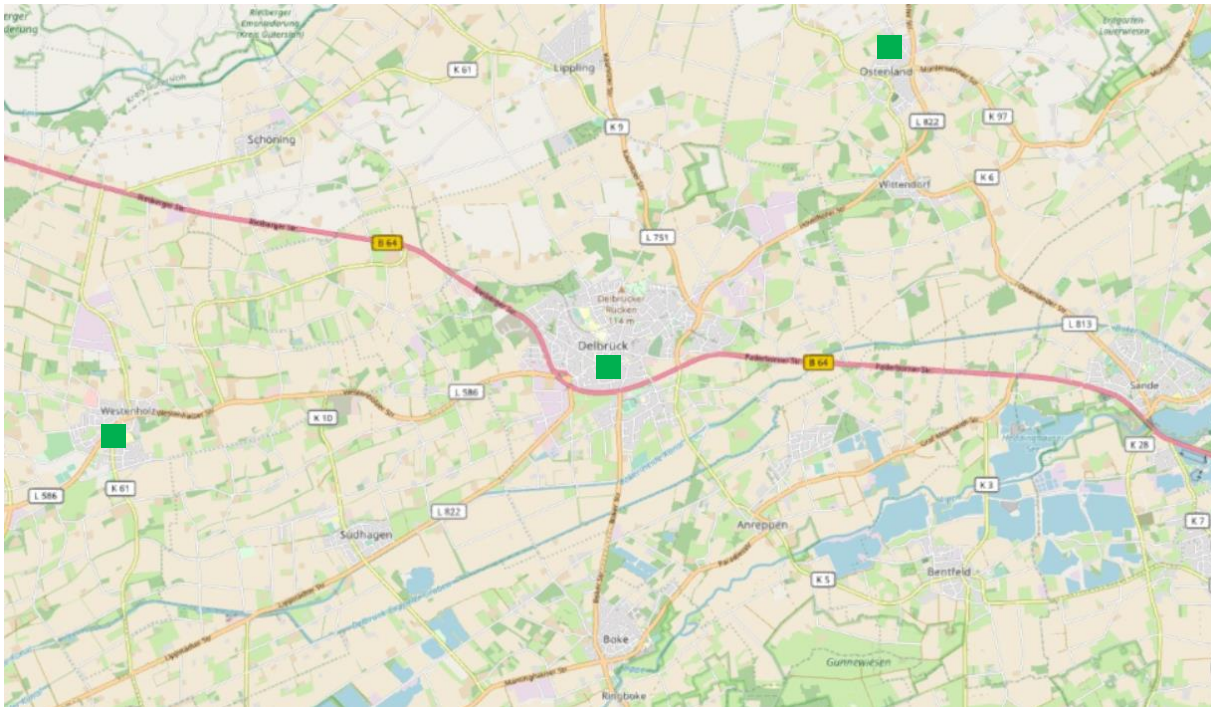


Abbildung 3 Gatewaystandorte im Pilotprojekt (grünes Quadrat)

5.4.1 Netzausbauszenarien

Für den Netzausbau kamen drei Ausbauszenarien in Frage sowie ein ergänzendes Szenario bezüglich Indoor-Gateways.

(1) ein Gateway in jedem Stadtteil	(2) Suche nach optimalen Standorten
(3) bedarfsgerechter Ausbau	(4) ergänzend Indoor-Gateways

Ziel von Szenario (1) ist es, durch die Installation jeweils eines Gateways in jedem Stadtteil eine **gleichmäßige Verteilung** der Gateways über das Stadtgebiet zu erreichen. Nachteilig ist jedoch, dass womöglich nicht in jedem Stadtteil ein **optimaler Standort** gefunden werden kann. Anschließend an diese Problematik wurde Ausbauszenario (2) diskutiert. Beim optimalen Standort kommt es zum einen auf die Höhe und zum anderen auf eine gute Rundumsicht für das Gateway an. Optimal wäre daher die Montage an Funkmasten oder sogar Windrädern. Hierbei müssen jedoch Besitzverhältnisse und eventuelle Standortmieten geklärt werden. Der Ausbau des Netzes kann auch **bedarfsgerecht** erfolgen, d.h. Gateways werden nur dort errichtet, wo ein Anwendungsfall eine Netzabdeckung fordert. Dadurch wären die Gateways zwar besser ausgelastet, allerdings würde so kein **flächendeckendes Netz** entstehen. Dies hätte zur Folge, dass beim Ausrollen zukünftiger Anwendungsfälle ggf. auch die Installation eines weiteren Gateways erforderlich wäre.

Ergänzend zu den genannten Ausbauszenarien können Indoor-Gateways zur gezielten **Nachverdichtung** in einzelnen Gebäuden eingesetzt werden.

Die Stadt Delbrück hat sich für eine **Kombination der Ausbauszenarien** entschieden, um die jeweiligen Nachteile durch die Vorteile der einzelnen Szenarien zu kompensieren. So ist in jedem Stadtteil auf (mindestens) einem städtischen Gebäude ein Gateway errichtet worden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Gateways an höchstmöglicher Stelle installiert wurden.

Weitere Höhe konnte durch Teleskopmasten erreicht werden, die nachträglich installiert wurden. Darüber hinaus wurde im Anschluss an die Gateway-Installation die Netzabdeckung geprüft und stellenweise durch die Installation weiterer (Indoor-)Gateways nachgesteuert.

Im Rahmen dieses Projekts wurden **ausschließlich städtische Liegenschaften** genutzt, was den großen Vorteil hatte, dass Fragen rund um die Nutzung schnell und unbürokratisch geklärt werden konnten. Bei der Nutzung von nicht kommunalen Standorten muss man mit längeren Verhandlungen in Bezug auf Standortnutzung, Mietkosten, Zugangsrecht, Laufzeiten und weiteren Themen rechnen.

5.4.2 Standortvorbereitung

Nachdem die optimalen Standorte für die Gateways gefunden wurden, musste jede Liegenschaft – bei der eine Gatewaymontage vorgenommen werden sollte - auf ihre Besonderheiten geprüft und entsprechend vorbereitet werden. Um die Prüfung zu standardisieren und auf gleichbleibendem Niveau vorzunehmen, wurde in Zusammenarbeit mit der regio iT eine **Checkliste** erarbeitet (siehe Kapitel 14.1 Checkliste Gatewaystandortbegehungen). Diese Checkliste wurde an jedem Gatewaystandort Punkt für Punkt durchgegangen, um möglichst alle offenen Fragen zu klären. Geprüft werden müssen die Montagemöglichkeit, die Strom- und Internetversorgung, der Blitzschutz und die Gebäudeverantwortlichkeit.

In den meisten Fällen wurden zur Sicherstellung der **Internetanbindung** neue Netzkabel vom nächstgelegenen Serverschrank bis zum Gateway gelegt. Somit sollten die Versorgung und der Leitungsweg (inkl. eventueller Bohrungen) vorbereitet sein. Dabei wurde darauf geachtet, dass im Außenbereich am Masten ein Outdoor-fähiges, UV-beständiges Kabel verwendet wird. Im Serverschrank selbst ist auf eine direkte Internetanbindung und Strom für die POE-Versorgung des Gateways zu achten.

Für die eigentliche Gatewaymontage wurden teilweise vorhandene **Masten** auf den städtischen Gebäuden genutzt. In den meisten Fällen wurden jedoch neue Teleskopmasten montiert, wenn keine (ausreichend hohe) Montagemöglichkeit vorhanden war. Es gilt, an jedem Standort zu prüfen, wie eine Montage realisierbar ist (Flachdach/ Spitzdach).

5.4.3 Gatewayreichweite, -installation und -inbetriebnahme

Die Angaben der HerstellerInnen über mögliche Reichweiten der Gateways sind in jedem Fall mit Vorsicht zu genießen und neben der Montagesituation des Gateways auch von der Montagesituation des Sensors abhängig. Grundsätzlich gilt: **je weniger Hindernisse** (Stahl, Beton, Bäume etc.) **desto besser der Empfang**. Mit direkter Sichtlinie zwischen Gateway und Sensor wurden durch den Einsatz eines Wetterballons bereits Reichweiten von bis zu 800 km erzielt. Befinden sich Gateway und Sensor am Boden können durchaus auch 20-30 km Reichweite erreicht werden. Diese Werte sind für den Regelbetrieb aber ohne Bedeutung und sollen hier nur der Verdeutlichung des Potentials dienen.

In der Praxis liegen die Reichweiten aufgrund der Bebauung und der Topografie der Landschaft bei **1 bis 5 km**. Weiterhin ist zwischen Outdoor, Indoor und Deep-Indoor Reichweite zu unterscheiden. Die bisher genannten Reichweiten beziehen sich alle auf die Outdoor-Reichweite (Sensor und Gateway außerhalb eines Gebäudes). Deep-Indoor-Reichweiten (Sensoren im Kellergeschoss) liegen erfahrungsgemäß im Bereich zwischen 0,5 und 2 km. Daher sollten bereits bei der Netzplanung die späteren Usecases berücksichtigt werden.

Die Installation der LoRaWAN Gateways sollte nur durch **geeignetes Fachpersonal** durchgeführt werden. Je nach Anbindung der Gateways sind unterschiedliche Vorarbeiten notwendig, um die Stromversorgung, den Internetanschluss und den Blitzschutz zu gewährleisten. In den meisten Fällen wurde der vorhandene Blitzschutz genutzt und zum neuen Masten verlängert und angeschlossen. Bei den übrigen Standorten wurde ein neuer Blitzschutz montiert.

Die Gateways wurden vorab mit Schellen am Masten befestigt und ein Blitzfänger über dem Gateway - als höchster Punkt - montiert. Als Masten wurden i.d.R. 6-Meter-Teleskopmasten verwendet, durch die sich die Reichweite der Gateways zum Teil signifikant verbessern lässt. Ein weiterer Vorteil der **Teleskopmasten** ist die einfachere Montage auf dem Dach sowie die Möglichkeit, den Masten runterzulassen, um das Gateway oder den Blitzschutz leichter zu erreichen.

Wichtig ist, dass das Gateway am Standort einmal in Betrieb genommen wird, bevor der Masten ausgezogen und festgeschraubt wird, um eine ordnungsgemäße Funktion zu gewährleisten.

5.4.4 Netzabdeckungstest

Nachdem in jedem Ortsteil mindestens ein Gateway installiert worden ist, wurde ein Netzabdeckungstest durchgeführt. Dabei wurden Netztester über mehrere Wochen in verschiedene, sich regelmäßig bewegende Fahrzeuge gelegt. Im Vergleich zum Pilotprojekt, wo an zwei Tagen konkrete Strecken des Stadtgebiets abgefahren wurden, hatte man sich dieses Mal für einen **längeren Testzeitraum** entschieden. Ein Vorteil davon war, dass die Daten praktisch „nebenbei“ erfasst wurden, wenn ohnehin die Fahrzeuge bewegt wurden. Darüber hinaus konnten so weitaus mehr Messdaten erhoben werden. Das Ergebnis beider Netzabdeckungstests zeigen die folgenden Abbildungen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Netztestmessung des Pilotprojekts mit insgesamt 3 Gateways.

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der Netztestmessung des Folgeprojekts mit insgesamt 13 Gateways.

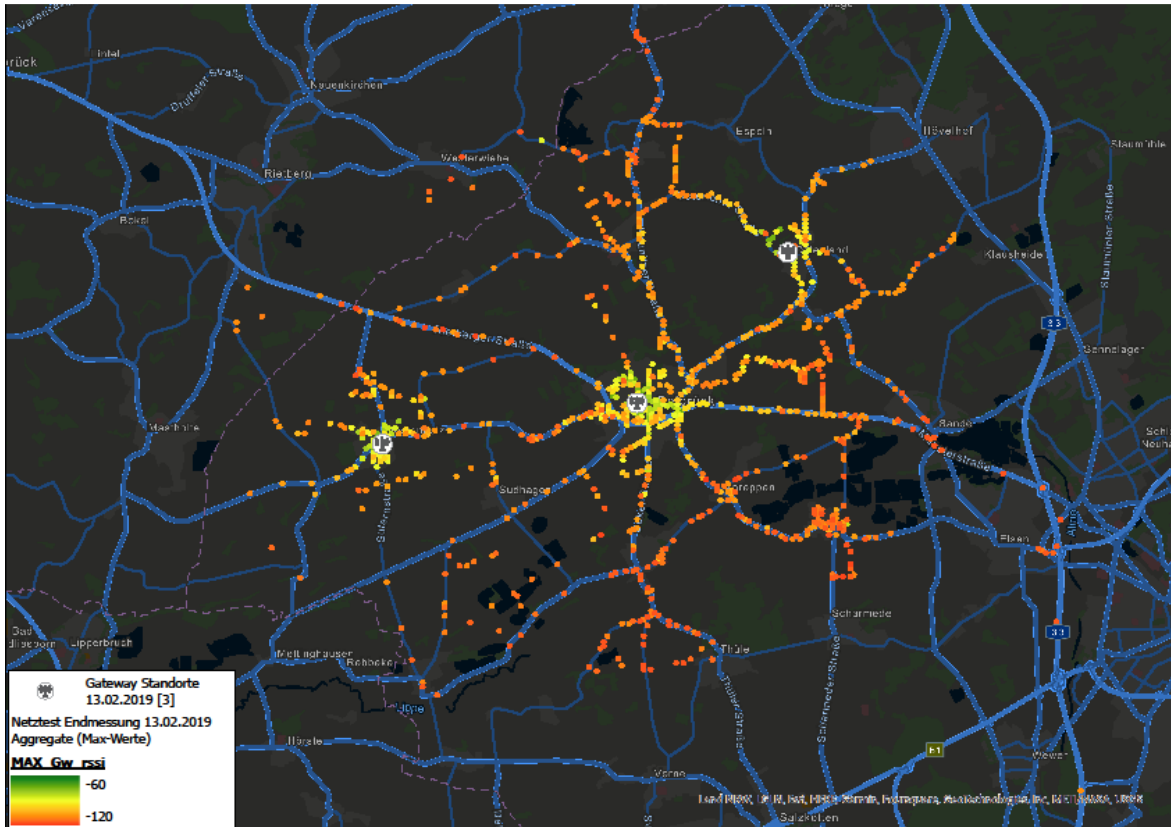


Abbildung 4 Outdoor-Netzabdeckung im Pilotprojekt

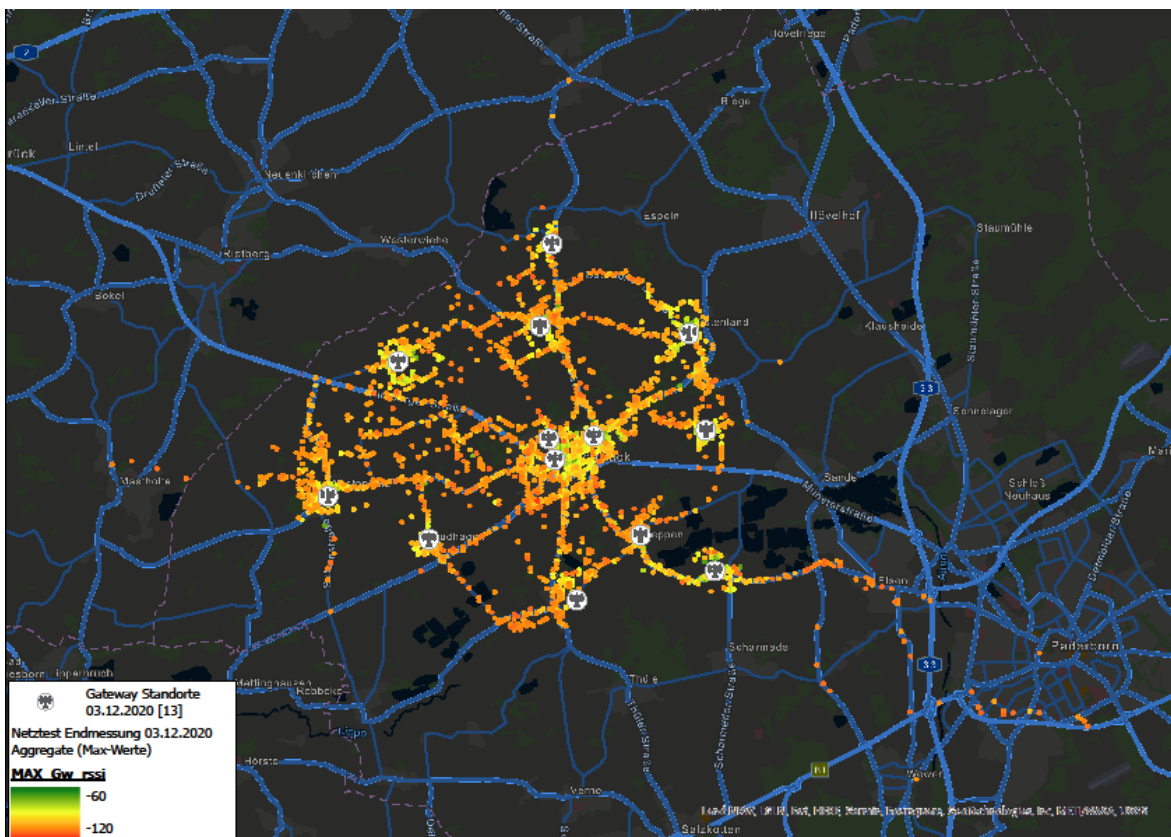


Abbildung 5 Outdoor-Netzabdeckung im Folgeprojekt

Darauf sollte geachtet werden:

- den Aufwand minimieren, indem man Netztester in regelmäßig bewegte Fahrzeuge legt (z.B. Kehrmaschinen, Mühlfahrzeuge, Busse oder Dienstwagen von Mitarbeitenden im Außendienst)
- um möglichst solide Ergebnisse zu erzielen:
 - das Gleiche oder ähnliche Fahrzeuge nutzen
 - beim Test mit mehreren Messgeräten, Messgeräte vom gleichen Typ nutzen
 - Messgeräte immer an der gleichen Stelle platzieren (z.B. auf dem Fahrzeugdach oder hinter der Windschutzscheibe)
 - die Messgeräte sollten mit einem fest eingestellten Spreadingfaktor⁷ messen (bei mehreren Messgeräten müssen alle denselben nutzen)
 - das messende Fahrzeug sollte nicht zu schnell fahren, damit mehr Messpunkte pro Wegstrecke erzeugt werden
 - keine Messdaten vom Gebäudeinneren mit Messdaten im Außenbereich mischen
- den Personalrat einbeziehen (siehe Kapitel 14.2 Vorlage für Personalrat: Netzabdeckungstest)

Zu bedenken ist, dass die Netzabdeckungskarte immer nur ein Hilfsmittel zur **Abschätzung der Qualität** darstellt. Vor der Installation von Sensoren oder der Planung von Usecases sollte vor Ort noch einmal genau nachgemessen werden. Da die LoRaWAN Technologie mit Beugung und Reflektion der Funksignale arbeitet, ist eine detaillierte Voraussage der Reichweite kaum möglich.

5.5 Umsetzung der Anwendungsfälle

Zu aller Anfang waren Abstimmungen in Bezug auf die umzusetzenden Anwendungsfälle mit **behördeninternen Beteiligten** erforderlich. Aufbauend auf der umfangreichen Ideensammlung aus dem Pilotprojekt, wurde über mögliche und sinnvolle Anwendungen der Sensorik gesprochen. Erst als eine Festlegung auf und Definition der Anwendungsfälle erfolgt ist, konnte in die Kalkulation von Sensoranzahl und -kosten eingestiegen werden.

Es folgte eine **Recherche** der auf dem Markt verfügbaren Hardware (Sensoren und Aktoren) und eine umfassende Auflistung der einzelnen Sensoren inkl. Anzahl und kalkulierter Kosten. Basierend auf diesen Angaben, konnte ein **Lastenheft** für die Ausschreibung der Hardware erstellt werden.

Nach Durchlaufen des **Ausschreibungs- und Vergabeprozesses** – der je nach Umfang einige Monate dauern kann – wurde auf die Lieferung der Ware gewartet, um den Rollout beginnen zu können. Mit Lieferung der Sensorik konnte schließlich der Rollout der einzelnen Anwendungsfälle beginnen. Hierbei hat das Projektteam u.a. Unterstützung durch die HausmeisterInnen sowie Mitarbeitenden des Wasser- und Abwasserwerks der Stadt Delbrück erhalten.

Eine Beschreibung und auch Bewertung der einzelnen Anwendungsfälle ist in Kapitel 12 zu finden.

⁷ Mit dem Spreadingfaktor (SF) wird die Datenübertragungsrate gegenüber der Reichweite eingestellt. Je geringer die Bitrate, desto höher die Energie pro Datensatz und Reichweite.

6 Netzzusammenschluss

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine **Evaluation** eines regionalen Netzzusammenschlusses durchgeführt. Ziel eines solchen Zusammenschlusses wäre die Schaffung eines großflächigen LoRaWAN Netzes, welches über Stadtgrenzen hinaus genutzt werden kann. Dieses Netz sollte idealerweise nur bestehende Technik nutzen, damit der Ausbau mit weiteren Gateways nicht notwendig ist.

6.1 Motivation

Der Nutzen von Netzzusammenschlüssen über Stadtgrenzen hinaus ist an einem Beispiel leicht aufzuzeigen: Hätte jede Stadt einen eigenen Mobilfunkanbieter, der nicht mit den Mobilfunkanbietern der Nachbarstädte kooperiert, müssten die Bürgerinnen und Bürger in jeder Stadt, in der sie sich aufhalten, ein anderes Mobiltelefon nutzen. So müssten Personen die viel Reisen zahlreiche Mobiltelefone mit sich führen. Glücklicherweise werden Mobilfunknetze von deutschlandweit agierenden Unternehmen betrieben, weshalb dieses Problem im Bereich Mobilfunk nicht besteht. LoRaWAN-Netze hingegen werden in der Mehrzahl durch lokale Akteure (Kommunen oder kommunale Betriebe) aufgebaut und betrieben, weshalb sich Stand heute eine **Vielzahl separater, voneinander getrennter Netze** etabliert hat.

Für Dienstleistungen und Anwendungsfälle, die einen starken lokalen Fokus haben, ist das kein Problem. **Überregionale Anwendungsfälle** lassen sich so aber nicht realisieren. Beispielsweise wäre ein an einem Fahrrad installierter GPS-Tracker zur Diebstahlprävention außerhalb der eigenen Stadt nutzlos. Ein regional agierendes Abfallunternehmen könnte Container und Tonnen mit Füllstandsensoren nicht beliebig einsetzen, sondern müsste diese genau den jeweiligen Kommunen zuordnen. Energie- oder Wasserversorgende könnten nicht ihr komplettes Versorgungsgebiet (welches oft mehrere Kommunen umfasst) mit geeigneten Sensoren überwachen.

Der erste offensichtliche Nutzen eines Netzzusammenschlusses ist also die Ermöglichung von **regionalen Mehrwerten über Stadtgrenzen hinaus**, insbesondere in den Bereichen Mobilität, Logistik sowie Energie- und Wasserversorgung. Der zweite wichtige Nutzen ist eher technischer Natur: in den Randbereichen der jeweiligen Netze (oft Stadtränder) gibt es nicht selten Abdeckungsprobleme. Hier sind die Sensoren nicht mehr von Gateways „umgeben“, sondern werden nur noch einseitig abgedeckt. Sensoren in Randbereichen von Netzen könnten daher durch die Gateways der Netze in unmittelbarer Nachbarschaft profitieren.

6.2 Vorgehen

Um den Netzzusammenschluss zu erproben, hatte die Stadt Delbrück zusammen mit der regio iT ein strukturiertes Vorgehen, bestehend aus acht Schritten, festgelegt:

6.2.1 Ansprache der potenziellen Teilnehmenden

Folgende PartnerInnen wurden kontaktiert und sind als InteressentInnen beteiligt gewesen:

- Stadt Paderborn
- Westfalen Weser Netz GmbH
- Stadt Soest
- Stadtwerke Soest
- Fraunhofer Lemgo (IOSB-INA)
- Stadt Lippstadt

- energielenker GmbH
- Stadtwerke Bielefeld

6.2.2 Evaluation möglicher Anwendungsfälle

Im Rahmen von **Workshops** mit den interessierten, regionalen LoRaWAN-Funknetzbetreibern wurden folgende Anwendungsfälle diskutiert, die in einem gemeinsamen Funknetz umgesetzt werden könnten.

Mobilität: Nutzung von Daten aus dem regionalen Nahverkehr wie Bussen, Roller oder Fahrräder (Auslastung, Position, Wartezeiten, Anzahl wartende Personen, Fahrstrecken, ...). Auch im Bereich Individualverkehr sind Mehrwerte denkbar, wie z.B. eine Parkplatzüberwachung oder die Navigation zu freien Parkplätzen. Darüber hinaus können allgemeine Daten zum Verkehrsgeschehen wie Fahrzeugzählungen, Luft- oder Lärmbelastung flächendeckend erhoben werden.

Logistik: Hier sind primär Mehrwerte im Bereich Tracking von Gegenständen (Pakete, Container, Mülleimer, ...) denkbar. Die genaue Bestimmung der Position von Gegenständen kann in vielen Fällen Betriebsabläufe enorm optimieren. Darüber hinaus können Zustände dieser Gegenstände erfasst werden, darunter Temperatur, Bewegung, Erschütterung, Füllstände, etc.

Energie- und Wasserversorgung: Energie- und Wassernetze machen nicht vor Stadtgrenzen halt. Energie- und Wasserversorgende sowie Netzbetreibende können ihr gesamtes Netzgebiet sowie Übergabestationen zu Nachbarnetzen überwachen. Einige Anlagen oder Sonderbauten (Trinkwasserbrunnen, Gewässer, Rückhaltebecken, ...) liegen weit außerhalb des eigenen Netzgebietes, sind jedoch für den Betrieb unabdingbar.

6.2.3 Evaluation der aufgebauten Netze

Zur Planung des weiteren Vorgehens war eine **Erhebung des Ist-Zustands** notwendig. Dazu wurden von allen Teilnehmenden die eingesetzten LoRaWAN Netzwerkservers, Fernwartbarkeit und Gatewaystandorte abgefragt. Darauf basierend wurde eine Gesamtabdeckungskarte erstellt. In Summe wurden hier 161 Gateways zusammengetragen. Eine Übersicht über alle Standorte ist in Abbildung 6 zu sehen.

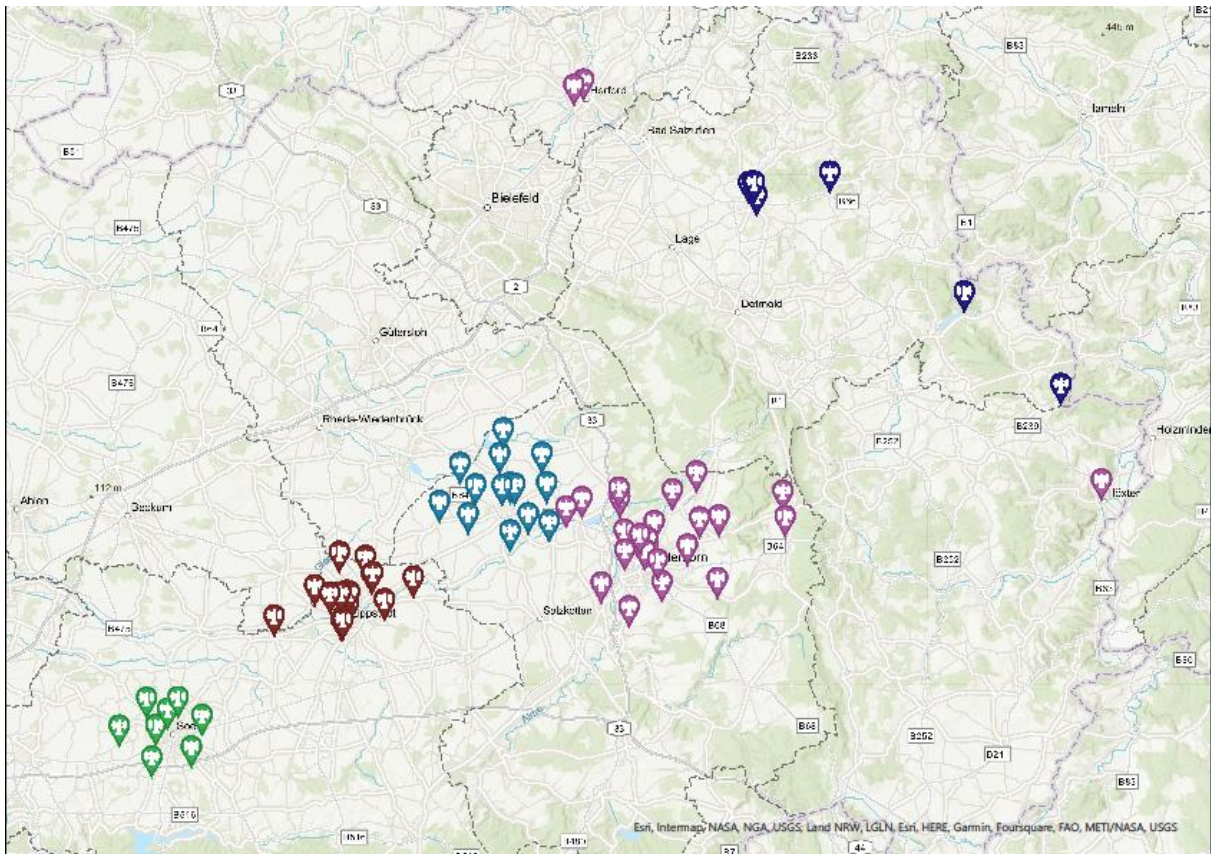


Abbildung 6 Überblick Gateway-Standorte (Stand: Herbst 2022; exklusive der Standorte der Stadtwerke Bielefeld)

Auf Basis der Standortinformationen wurde eine **Reichweitensimulation** durchgeführt. Hierbei wurden zunächst jedoch konservative Höhenannahmen von 10m getroffen, da keine Gateway-Höheninformationen vorlagen. Die Simulation zeigt, dass die Netze nur im Bereich Delbrück/Paderborn überlappen. Die oben erwähnten Vorteile in den Netzrandbereichen könnten also zum aktuellen Zeitpunkt nicht überall realisiert werden. Ohne die Standortdaten der Stadtwerke Bielefeld ist außerdem eine abschließende Bewertung nicht möglich. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 zu sehen.

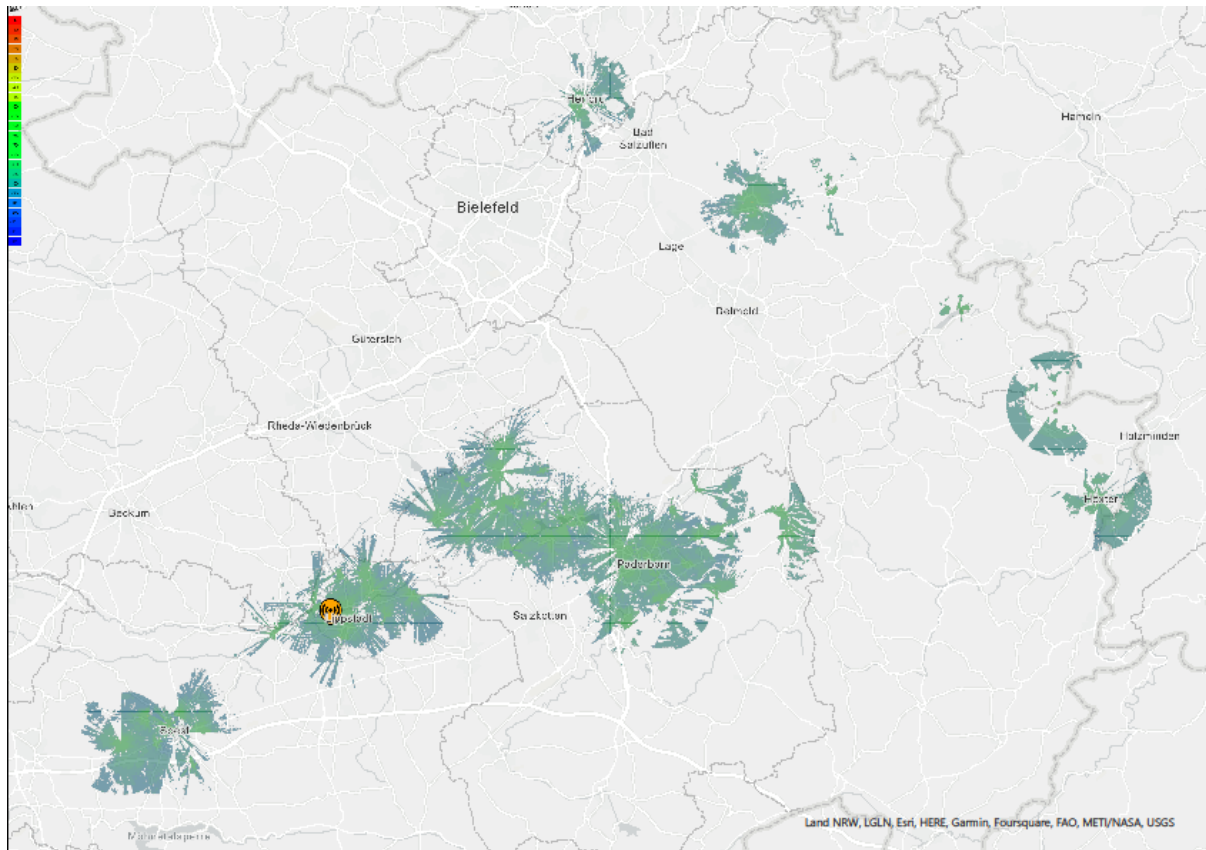


Abbildung 7 Reichweitesimulation, Höhenannahme 10m (exklusive der Standorte der Stadtwerke Bielefeld)

Die Evaluation von Gateways und Netzwerkservern zeigt, dass **unterschiedliche LNS** eingesetzt werden (Chirpstack, TTN, ZENNER, Digimondo). Zudem sind nicht alle Gateways aus der Ferne wartbar. Auch verfügen nicht alle Gateways über die Möglichkeit Multiforwarding (siehe Kapitel 6.2.4.1) einzusetzen, da sie kein UDP (User Datagram Protocol) unterstützen.

Bei der Datenübertragung im Internet wird immer entweder UDP oder TCP (Transmission Control Protocol) genutzt. Beides sind Standards auf der Transportschicht der Internetprotokollfamilie. Im Gegensatz zum TCP Standard ist UDP wesentlich simpler und ressourcenschonender, die Datenübertragung kann aber dadurch fehleranfälliger sein. Beim sogenannten Multiforwarding wird die Möglichkeit von UDP genutzt, dass Datenpakete beliebig dupliziert werden können, da es ein verbindungslos arbeitender Standard ist. TCP erlaubt dies nicht, da TCP ein verbindungsorientierter Standard ist, der sicherstellt, dass jedes Paket nur genau einmal beim Empfangenden ankommt. Damit ist Multiforwarding über TCP nicht möglich.

6.2.4 Evaluation der technischen Möglichkeiten

Den Teilnehmenden wurden die möglichen technischen Lösungen vorgestellt. Gemeinsam wurden Vor- und Nachteile sowie eine umsetzbare Lösung diskutiert. Der Netzzusammenchluss kann auf **vier Ebenen** stattfinden.

6.2.4.1 Gatewayebene

Mit Hilfe des sogenannten Multiforwardings können Pakete auf den Gateways dupliziert werden. Auf diese Weise können Gateways Daten an mehrere LNS senden. Vorteil ist hier, dass es keine Integration über ggf. zu entwickelnde Schnittstellen gibt. Die Umsetzbarkeit ist grundsätzlich technisch wenig komplex. Nachteil ist, dass ein spezieller **Packetforwarder** genutzt

werden muss, der das Multiforwarding unterstützt. Grundsätzlich können hier nur Verfahren eingesetzt werden, die das UDP Protokoll nutzen, da nur hier ohne großen Aufwand Pakete dupliziert werden können. Zudem muss dieser Packetforwarder die Dutycycleüberwachung des Gateways übernehmen (normalerweise Aufgabe des LNS), da das Gateway Downlinkpakete von mehreren LNS versendet. Weiterer Nachteil ist, dass das Multiforwarding gerade Gateways der älteren Generation mit geringen Hardwareressourcen belasten kann. Vorteilhaft für die Umsetzung des Multiforwardings ist die Fernwartbarkeit der Gateways, da Konfigurationsanpassungen auf jedem Gateway vorgenommen werden müssen.

6.2.4.2 Server Ebene vor LNS

Der sogenannte LNS Proxy ermöglicht das Multiforwarding auf Serverebene. Technisch gesehen ist diese Variante vergleichbar mit der Vorherigen, allerdings werden die Pakete hier auf einem speziellen Server **dupliziert** (auch hier wird UDP vorausgesetzt), was die Komplexität leicht erhöht, da dieser Server gesondert betrieben werden muss. Die Gateways werden durch diese Verfahren nicht beeinflusst, es muss lediglich die bisherige Zieladresse gegen die des LNS Proxys getauscht werden. Auch hier ist die Dutycycleüberwachung der Gateways losgelöst vom LNS zu betrachten. Die Fernwartbarkeit der Gateways ist auch hier vorteilhaft, um die Änderung der Zieladresse vornehmen zu können. Eine solche Lösung wird aktuell durch die Firma ZENNER International oder als Open Source Projekt (<https://github.com/brocaar/chirpstack-packet-multiplexer>) angeboten.

6.2.4.3 Server Ebene LNS

Bei dieser Variante spricht man auch vom **Roaming**. Hier werden die LNS direkt miteinander gekoppelt. Das Roaming ist die einzige offiziell durch die LoRaWAN Allianz spezifizierte Variante, um Netzzusammenschlüsse zu ermöglichen. Die Spezifikation unterscheidet dabei das statefull und das stateless passive Roaming sowie das handover Roaming (für Details wird hier auf die entsprechende Spezifikation hingewiesen). Nachteilig bei dieser Variante ist die bilaterale Kopplung zwischen mehreren LNS. Gerade bei umfangreicheren Zusammenschlüssen, müssen alle LNS einzeln verbunden werden. Die Diskussion unter den Teilnehmenden hat ergeben, dass aktuell kein betrachteter LNS die technischen Voraussetzungen für eine Umsetzung in Form von Schnittstellen und Prozessen bereitstellt.

6.2.4.4 Server Ebene hinter LNS

Bei dieser Variante kommt ein sogenannter **Packetbroker** zum Einsatz. Der Packetbroker ist eine von den LNS unabhängige Instanz. Vorteil gegenüber allen anderen Lösungen ist hier eine detaillierte Kontrolle darüber, welche Daten an den Packetbroker zu welchen Konditionen weitergeleitet werden. So kann genau gesteuert werden, von welchen Sensoren Daten bereitgestellt werden. Zudem können die Daten zu einheitlichen Konditionen bereitgestellt werden, sodass Verhandlungen mit einzelnen Netzbetreibern nicht nötig sind. Weiterer Vorteil ist, dass auch Organisationen ohne eigenen LNS Daten über den Packetbroker beziehen können (bei den vorherigen Lösungen ist das nicht möglich). Grundsätzlich lassen sich so über den Packetbroker verschiedene Geschäftsmodelle der Netzbetreiber und Dienstleister abbilden. Wesentlicher Nachteil dieser Lösung ist, dass sie technisch gesehen die **komplexeste** ist, da der Packetbroker eine unabhängige Infrastruktur darstellt, mit teilweise komplexen Funktionen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es nicht eine beste Lösung gibt. Die Auswahl der Lösung hängt stark von den technischen Gegebenheiten (Welche Gateways sind verbaut?

Welche Packetforwarder werden genutzt? Welche LNS werden eingesetzt?) sowie von den Geschäftsmodellen der beteiligten Organisationen ab.

Die oben genannten Ansätze sind im Rahmen dieses Vorhabens allerdings alle nur eingeschränkt umsetzbar, da aufgrund der Untersuchung der vorhandenen Infrastruktur folgende **Probleme identifiziert** wurden:

- Ansatz des Multiforderings kann nicht durch alle Gateways umgesetzt werden
- Die LNS Proxy Lösung lässt sich auf Gateways ohne Fernwartungsmöglichkeit nur mit großem Aufwand umsetzen, da hier eine Fachkraft rausfahren müsste, um das Gateway vor Ort umzukonfigurieren. Zudem wurden Erfahrungen diskutiert, nach denen der Einsatz des Multiforderings den stabilen Betrieb insbesondere älterer Gatewaymodelle beeinflussen kann.
- Das Thema Roaming wurde darüber hinaus ebenfalls ausgeschlossen, da sich die Teilnehmenden einig waren, dass bilaterale Lösungen zwischen allen Beteiligten zu aufwändig seien, auch vor dem Hintergrund, dass die Erweiterung um weitere Netzpartner jedes Mal mit großem Aufwand verbunden wäre.

Im Rahmen der Diskussionen wurde daher der **Packet Broker als vielversprechendste Lösung** identifiziert. Vorteil ist, dass sowohl TTN als auch Chirpstack über bestehende Integrationen über den aktuell einzig am Markt erhältlichen Packet Broker von TTI verfügen. Eine Integration der ZENNER und Digimondo LNS Lösungen ist grundsätzlich möglich. Eine Anfrage an die jeweiligen Anbietenden im November 2022 ergab, dass diese Funktionalität bisher nicht implementiert wurde, aber in die Roadmap aufgenommen wurde. Eine Zusage für die Fertigstellung wurde jedoch nicht gemacht. Da eine solche Entwicklung zeitlich und finanziell nicht mehr in diesem Projekt unterzubringen war, konnte die Anbindung nicht mehr umgesetzt werden. Im Hinblick auf das geplante Projektende entschied die Stadt Delbrück darüber hinaus, die Aktivitäten zum Netzzusammenschluss nicht mehr federführend voranzutreiben. Die Stadt Soest erklärte sich bereit zu prüfen, ob dieses Thema im Rahmen der MPSC Förderung „5 für Südwestfalen“ übernommen werden kann.

Darüber hinaus werden im Rahmen dieses Projekts zwei weitere Varianten evaluiert. Im Rahmen der Bereitstellung der Gateways im TTN wird das Multifordering auf den Gateways der Stadt Delbrück genutzt. Dies ist jedoch kein bilateraler Netzzusammenschluss, da die TTN Gateways nicht dem Netz der Stadt Delbrück zur Verfügung stehen. Es konnte gezeigt werden, dass der **Einsatz des Multiforderings gut funktioniert**, er aber die von der Stadt Delbrück eingesetzten LoRaWAN Gateways an ihre Leistungsgrenzen bringt. Für Gateways der neuesten Generation ist das Multifordering damit die kosteneffizienteste und unkomplizierteste Lösung für einen Netzzusammenschluss (solange die Gateways das Aufspielen des Multiforderers aus der Ferne erlauben).

Zusätzlich sollten im Rahmen einer bilateralen Absprache mit Westfalen Weser die Gateways der Stadt Delbrück testweise an deren LNS Proxy angekoppelt werden. Diese Lösung konnte aber im Rahmen des Projekts nicht mehr umgesetzt werden, da es zu Verzögerungen auf Seiten von Westfalen Weser beim Aufbau eines LNS Proxys kam.

Die folgenden Punkte wurden aufgrund der oben beschriebenen Problematik nicht umgesetzt, sollen aber der Vollständigkeit halber hier trotzdem erwähnt sein, da sie wichtige Schritte darstellen, die auf dem Weg zu einem Netzzusammenschluss zu berücksichtigen sind.

6.2.5 Klärung wirtschaftlicher und rechtlicher Fragen

Vor einer Entscheidung eines vollständigen Netzzusammenschlusses sollten unter anderem folgende Fragen geklärt werden:

- Finanzierung
 - o Wie wird der Netzzusammenschluss finanziert? (Invest und Betrieb)
 - o Wie sehen die Geschäftsmodelle der Beteiligten aus?
 - o Wird es ein gemeinschaftliches Geschäftsmodell geben?
- Netznutzung
 - o Wie wird ein fairer Umgang der Netznutzung sichergestellt?
 - o Gibt es Beteiligte, die primär Infrastruktur bereitstellen?
 - o Gibt es Beteiligte, die primär Sensorik im Netz betreiben wollen?
 - o Ist ein Ausgleichsmechanismus notwendig? (z.B. Vergütung weitergeleiteter Pakete)
- Abdeckung
 - o Ergibt sich durch den Netzzusammenschluss ein sinnvolles Gesamtnetz?
 - o Müssen weitere Standorte erschlossen werden?
- Betrieb und Sicherheit
 - o Wie werden Verfügbarkeit, Sicherheit und Datenschutz geregelt und sichergestellt?
 - o Für welche Art von Anwendungen eignet sich das Gesamtnetz?
 - o Gibt es Haftungsansprüche oder -ausschlüsse?
 - o Gibt es eine/n Hauptverantwortliche/n?
 - o Welche Supportprozesse muss es geben?
 - o Wie findet die Kommunikation zwischen allen Beteiligten statt?

6.2.6 Konzipierung der technischen Umsetzung

In diesem Schritt würde die technische Umsetzung detailliert geplant. Ergebnis wäre ein genauer Plan, welche Schritte in welcher Reihenfolge umzusetzen sind und welcher Aufwand damit einhergeht. Hieraus wäre dann die Erstellung einer konkreten Zeit- und Ressourcenplanung möglich.

6.2.7 Pilotumsetzung und Testphase

Im Rahmen einer Pilotumsetzung würde der Plan zunächst in kleinem Umfang umgesetzt, um die Machbarkeit zu demonstrieren und eventuelle Herausforderungen rechtzeitig zu identifizieren.

6.2.8 Umsetzung mit allen Teilnehmenden

Nach erfolgreicher Pilotumsetzung würde der Netzzusammenschluss dann für alle Beteiligten umgesetzt werden.

7 Datenbereitstellung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie das LoRaWAN Netz für Bürgerinnen und Bürger sowie FachanwenderInnen nutzbar gemacht wird. Die in Kapitel 10.1 beschriebene Architektur beinhaltet einen Datenfluss vom sogenannten Device (Sensor, Zähler oder Aktor) bis zu einer Endanwendung in der die Daten nutzbar gemacht werden. Nutzbar bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Daten in verschiedenen Formaten dargestellt werden, dass sie mit unterschiedlichen Werkzeugen analysiert werden können oder dass aus Ihnen Aktionen abgeleitet werden. Dabei wird in diesem Projekt zwischen öffentlichen Daten für Bürgerinnen und Bürger (Kapitel 7.1 und 7.2) und Fachdaten, die in sogenannten Fachanwendungen primär für bestimmte ExpertInnen aufbereitet werden, unterschieden (siehe Kapitel 7.3).

7.1 Bereitstellung eines öffentlichen LoRaWAN Netzes

Per Definition ist eine Smart City kein geschlossener Komplex, welcher nur durch die Verwaltung definiert und genutzt wird. So hat sich auch die Stadt Delbrück zum Ziel gesetzt, Bürgerinnen und Bürger in die Entwicklung und Umsetzung der Smart City Konzepte mit einzubeziehen. Im Sinne der Daseinsvorsorge und vor dem Hintergrund, dass dieses Projekt durch öffentliche Gelder finanziert wurde, ist dieser Schritt auch erforderlich. Smart-City-Konzepte in Form digitaler Angebote sind daher ein wichtiges Mittel, um die **Attraktivität als moderne Stadt** zu erhalten und zu steigern.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, stellt die Stadt Delbrück das aufgebaute Netz den Bürgerinnen und Bürgern der Stadt Delbrück zur **freien Nutzung** zur Verfügung. Konkret wurde dies umgesetzt, indem die aufgebauten LoRaWAN Gateways (siehe Kapitel 5.4) über sogenanntes Multiforwarding (siehe Kapitel 6.2.4.1) an das weltweite The Things Network (TTN) angeschlossen wurden. Auf diese Weise werden, vereinfacht gesagt, zwei voneinander getrennte Systeme für Verwaltung (intern) und Bürgerinnen sowie Bürger (öffentlich) geschaffen. Bürgerinnen und Bürger können sich unter <https://www.thethingsnetwork.org/> registrieren und anschließend eigene Devices registrieren und frei nutzen. Setzen sie ihre Sensoren im LoRaWAN Netzgebiet der Stadt Delbrück ein, profitieren sie von den städtischen Gateways. Die Stadt Delbrück nutzt für die Registrierung von Devices und die Datenverarbeitung eigens für die Stadt Delbrück lizenzierte Softwaresysteme.

Die Trennung der Systeme hat unterschiedliche **Vorteile**:

- die Nutzung von TTN für Bürgerinnen und Bürger ist kostenfrei
- die Anbindung der Gateways an das TTN ist für die Stadt Delbrück kostenfrei
- die Stadt Delbrück hat keinerlei Verpflichtungen oder Garantien gegenüber TTN
- TTN bietet einen Self Service zur Registrierung auf der Plattform an
- TTN ist eine große Community in der inhaltliche Fragen fachmännisch beantwortet und diskutiert werden
- TTN bietet umfangreiche und gute technische Dokumentationen
- die Nutzung von TTN durch Bürgerinnen und Bürger kann ohne die Unterstützung der Stadt Delbrück erfolgen
- TTN bietet eine ausgereifte, weltweit eingesetzte Plattform mit zahlreichen Integrationen, Schnittstellen und Erweiterungen an, und ist dadurch nahtlos in etablierte Open Source Projekte integrierbar

Auf diese Weise wird den Bürgerinnen und Bürger ein vollständiger und ausgereifter digitaler Service angeboten, ohne dass die Stadt Delbrück zusätzlich Personal oder technische Ressourcen aufbauen, vorhalten und betreiben muss.

7.2 City Dashboard Delbrück

Ein Teil der Daten, die die Stadt Delbrück erhebt, wird der Öffentlichkeit über das „City Dashboard Delbrück“ bereitgestellt. Es handelt sich hierbei um Daten, die im Alltag von fast jedem Menschen Relevanz haben (Wetter, Parken und Gewässer/Hochwasser). Um die Daten in attraktiver Form und für jeden zugänglich bereitzustellen, wurde das – auf der städtischen Homepage platzierte – City Dashboard entwickelt (<https://dashboard-delbrueck.regioit.de/>). Das responsive Dashboard bietet neben **Live-Werten** auch die Möglichkeit Verläufe und historische **Maximal- und Minimalwerte** anzuschauen. Auf diese Weise lassen sich aktuelle Werte z.B. besonders hohe oder niedrige Temperaturen in einen Kontext setzen. Hoch lokale Wettermessungen an insgesamt zehn Standorten ermöglichen genaue Aussagen über Regenmessungen oder lokale Temperaturschwankungen. Pegelmessungen ermöglichen insbesondere für GrundstückbesitzerInnen in Gewässernähe einen aktuellen Blick auf das Hochwasserrisiko.

Im Rahmen des Projektes hat nach einer Erprobungsphase, in der neben inhaltlichem Feedback auch Zugriffszahlen ausgewertet wurden, eine **Weiterentwicklung** stattgefunden, in der zusätzliche Funktionen integriert wurden. Der Ansatz ein Dashboard schrittweise zu entwickeln hat den Vorteil, dass die Anfangsinvestition niedrig ist und die Kommune zunächst die Akzeptanz von BürgerInnen bewerten kann. Weitere Funktionen können später nach Bedarf integriert werden. Wichtig bei der Auswahl der Dashboard Technologie ist daher die Erweiterbarkeit.

7.3 Fachanwendungen

Eine Fachanwendung ist eine Spezialsoftware, welche für den Einsatz durch bestimmte Fachbereiche (z.B. Energiemanagement, Anlagenüberwachung, Katastrophenschutz) konzipiert ist und in der Regel für Laien nicht praktikabel bedienbar ist, da sie dezidierte Funktionen zur Erfüllung ganz bestimmter Aufgaben bietet (z.B.: Zustandsüberwachung und Zustandsbewertung von technischen Anlagen, Auswertungen von Energieverbräuchen oder Korrelation zwischen verschiedenen physikalischen Messgrößen).

Im Rahmen dieses Delbrücker Förderprojektes wurden einige interne, sowie externe Anwendungen angebunden, um den **Nutzen** der erhobenen Sensordaten für weitere Nutzengruppen zu **erschließen**. Ziel dabei war es, dass die im Projekt erhobenen Daten in die bereits existierenden und bekannten Systeme übertragen wurden und somit ein Schulungsaufwand für die Endnutzenden entfällt, da sie sich auf der ihnen bekannten Oberfläche bewegen.

7.3.1 e2watch

Energiemonitoring und Visualisierungslösung e2watch der regio iT (<https://www.regioit.de/produkte-leistungen/urban-innovation-in-smart-cities/smart-energy>) ist die zentrale Visualisierungs- und Alarmierungslösung in diesem Projekt: Alle Daten können hierüber visualisiert werden und über entsprechendes **Stör- und Alarmmanagement** überwacht werden. Neben zahlreichen weiteren Funktionen wie Multidiagramme, Kennwerte, Prognosen oder Stammdatenverwaltung ist durch ein komplexes Rollen- und Rechtemanagement der Zugang zu einzelnen

Datensätzen bis auf das jeweilige Device hinunter regelbar. So werden alle Sensordaten im e2watch für die FachanwenderInnen der Stadt Delbrück bereitgestellt.

7.3.2 Prozessleitsystem Aquasys

Das Prozessleitsystem Aquasys der Firma Schraml wird durch das Delbrücker **Abwasserwerk** zur Überwachung und Steuerung der Abwassertechnik eingesetzt. Im Rahmen dieses Projektes werden durch LoRaWAN übertragene Daten von Abwasserhebeanlagen eingespeist. Die Mitarbeitenden des Abwasserwerks können sich so über Pumpenstörungen und die aktuelle Stromaufnahme der Pumpen informieren. Neben Langzeitauswertungen sind auch Alarmierungen möglich.

7.3.3 Divera 24/7

Das Alarmierungs- und Verfügbarkeitssystem der Delbrücker **Feuerwehr** „Divera 24/7“ (<https://www.divera247.com/>) erhält aktuelle Pegelwerte von fünf Fließgewässern in und um Delbrück. Im Falle starker Niederschläge können Einsatzkräfte in nahezu Echtzeit über Pegelstände und mögliche Gefahren informiert werden.

7.4 Unterstützte externe Projekte

Des Weiteren wurden auf Anfrage des Wasserverbands Obere Lippe (<https://www.woln-rw.de/>) die Delbrücker Wasserpegeldata per Schnittstelle bereitgestellt. Auch die safety innovation center gGmbH (<https://www.safetyinnovation.center/>) erhält per Schnittstelle die Wasserpegeldata direkt für die INSPIRE.app (siehe Abbildung 8).

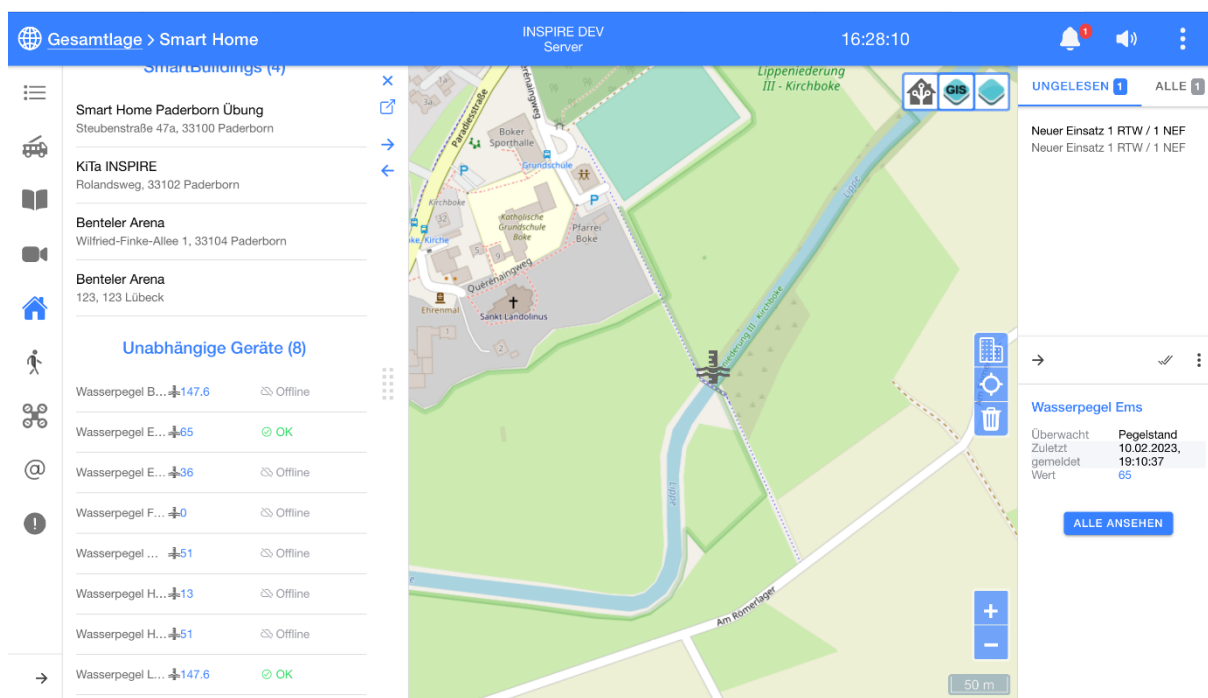


Abbildung 8 Auszug aus der INSPIRE.app: Wasserpegel Ems in Delbrück (Quelle: safety innovation center gGmbH)

In einem weiteren Testaufbau wurde zudem eine Schnittstelle zur Urban Data Plattform der Stadt Paderborn bedient. Darüber wurden die Daten eines Raumsensors und die eines Flusspegelsensors, der beim Bauhof der Stadt Delbrück montiert ist, übermittelt.

8 Datenerfassung per Drohne

In einem Arbeitspaket des LoRaWAN-Projektes wurde sich mit der Frage befasst, ob und wie die Datenerfassung per Drohne funktionieren kann und ob bzw. unter welchen Voraussetzungen der Einsatz einer Drohne (als Alternative zum stationären LoRaWAN-Gateway) sinnvoll wäre.

Als **alternative Form der Datenauslesung** sollte ein Drohnenflug mit an der Drohne befestigtem Gateway erfolgen. Diese Art der mobilen Auslesung sollte getestet werden, da es sich nicht in allen Bereichen lohnt, ein LoRaWAN-Funknetz zu installieren, wie zum Beispiel im ländlichen Raum mit Anwendungsfällen, die nur eine geringe Anzahl an Sensoren / Aktoren haben, die nur gelegentlich ausgelesen werden müssen. Die Auslesung per Drohne könnte hier eine flexible, unter Umständen kostengünstigere Alternative darstellen.

8.1 Rahmenbedingungen

Um die Theorie in einem Proof of Concept (PoC) zu erproben, hat das Projektteam Kontakt zur **Feuerwehr** der Nachbargemeinde Hövelhof aufgenommen. Im Rahmen der Gespräche mit der Feuerwehr wurde auf folgendes hingewiesen:

- Um die Feuerwehrdrohne nutzen zu können muss sie zum Bevölkerungsschutz eingesetzt werden. Sollte die Drohne der Feuerwehr dauerhaft genutzt werden, muss ein Nutzen für die Feuerwehr / den Bevölkerungsschutz nachgewiesen werden.
- Für einmalige Tests kann die Drohne der Feuerwehr auch für nicht BOS Tätigkeiten (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) genutzt werden.
- Nutzt man private Drohnen, kann im Rahmen einer sogenannten Studie eine Genehmigung für regelmäßige Flüge beantragt werden.
- Überflug über Personengruppen ist genehmigungsfähig, kann hier aber durch einen geeigneten Testaufbau (ohne Überflug von Personengruppen) umgangen werden.
- Bei Vorhaben im Katastrophbereich gelten andere (weniger strikte) Regularien, als im privatwirtschaftlichen Bereich. Eine Einordnung in den BOS Bereich muss aber grundsätzlich gut begründet werden.
- Bei schlechtem Wetter (starker Wind, starker Niederschlag, Nebel, etc.) darf die Drohne nicht fliegen.
- Weitere konkrete Rahmenbedingungen für den Test:
 - o Maximale Überflughöhe 100 Meter
 - o Im Rahmen des Tests und der oben beschriebenen Regularien sind 2-3 Testflüge möglich
 - o Operationsradius der Drohne beträgt ca. 1.000 Meter
 - o Die Drohne muss auf Sicht geflogen werden
 - o Drohnenflug kann maximal ca. 30 Minuten dauern

Darüber hinaus ist es mit der Drohne möglich, vordefinierte Routen automatisch abzufliegen. Die Drohne zeichnet zudem per GPS ihre Position und Flughöhe auf.

Für die Planung eines ersten **Testfluges** waren daher folgende Punkte relevant:

- Gebiet mit möglichst vielen bereits verbauten Sensoren identifizieren
- Gebiet mit möglichst wenig Bebauung auswählen
- Erhöhter Standort für den Drohnenpiloten um die Sichtflughöhe zu maximieren

8.2 Technischer Aufbau

Der technische Aufbau und Aufwand für diesen Versuch war relativ simpel. Benötigt wurden folgende Komponenten

- Gateway mit Mobilfunkkarte (Kerlink ifemtocell)
- POE oder 230V fähige Powerbank
- Kiste
- Seil von ca. 1m Länge

Während des Flugs wird das Gateway mittels **Powerbank** mit Strom versorgt. Daten werden durch die im Gateway integrierte **Simkarte** übertragen. Um die Elektronik sicher transportieren zu können müssen Gateway und Powerbank in eine Kunststoffbox gepackt werden. Mittels eines Seils wurde die Box dann an der Drohne befestigt. Wichtig zu beachten ist natürlich, dass das Gesamtgewicht von Gateway, Powerbank, Kiste und Seil durch die Drohne transportiert werden kann.

Da die meisten festverbauten LoRaWAN Sensoren mit Intervallen größer 15 Minuten senden, wurden zusätzlich weitere Sensoren im Testgebiet ausgebracht. Diese Sensoren wurden für die Versuchsdurchführung auf **Sendeintervalle** von einer Minute konfiguriert (Achtung: solch kurze Sendeintervalle führen in der Regel bei längerer Dauer zu Duty-Cycle-Verletzungen). Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass während des Drohnenfluges ausreichend Messwerte empfangen werden.

8.3 Testflug und Ergebnisse

Ursprünglich wurde geplant zwei oder drei Testflüge durchzuführen. Aufgrund des trockenen Sommers 2022 stand die Drohne jedoch aus Bereitschaftsgründen wegen erhöhter Waldbrandgefahr nicht für die Tests verfügbar. In den anschließenden Herbstmonaten mussten vereinbarte Flugtermine mehrmals wegen schlechten Wetters abgesagt werden. Generell stellte sich die Terminfindung als schwierig heraus, da die Unterstützung durch die Feuerwehr in der Freizeit der beteiligten Personen organisiert wurde. In Summe führte dies dazu, dass nur ein Testflug umgesetzt werden konnte.

Im Rahmen dieses Testfluges wurde ein simples Flugmanöver geflogen. Die Drohne wurde dazu auf **verschiedenen Höhen** (25, 50, 75, 100 und 125m) für jeweils einige Minuten gehalten. Dabei blieb die Drohne konstant auf einem vertikalen Punkt stehen.



Abbildung 9 Drohne mit LoRaWAN Gateway



Abbildung 10 Drohnenflug mit LoRaWAN Gateway

8.3.1 Allgemeine Übersicht

Im Rahmen der folgenden Auswertung werden drei Parameter untersucht:

1. RSSI (Received Signal Strength Indicator): Als Maß für die Empfangsqualität quantifiziert den Pfadverlust, also die Leistung die vom Sender (dem Device) auf dem Weg zum Empfänger (Gateway) verloren geht. RSSI wird in dBm (Mehr Informationen: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/>). Gute Empfangswerte liegen in der Praxis bei -60 bis -80dBm. Schlechte Empfangswerte liegen bei -130 bis -140 dBm.
2. Anzahl empfangener Pakete: Als weiteres Maß für die Empfangsqualität wird die Anzahl der durch das Gateway empfangenen Pakete in einem bestimmten Zeitfenster gezählt.
3. Anzahl unterschiedlicher empfangener Sensoren. Als drittes Maß für die Empfangsqualität wird die Anzahl der durch das Gateway empfangenen verschiedenen Sensoren in einem bestimmten Zeitfenster gezählt.

Der Test fand unter engen zeitlichen Rahmenbedingungen statt, weshalb die Menge der gesammelten Daten begrenzt ist. Aufgrund dieser **geringen Datenmenge** müssen alle folgenden Aussagen mit einer gewissen Vorsicht behandelt werden.

Insgesamt wurden 472 Pakete von 53 verschiedenen Sensoren empfangen. Im Folgenden wird die Anzahl der Pakete immer auf die Dauer bezogen, in der die Drohne eine bestimmte Höhe gehalten hat, da diese im Testversuch nicht immer exakt bei 5 Minuten lag. Um die Menge der Daten aber nicht weiter zu verkleinern wurden auch längere Haltezeiten als 5 Minuten berücksichtigt. Abbildung 11 zeigt eine Übersicht über alle während des Versuchs empfangenen Sensoren, sowie die Anzahl der Pakete, welche in unterschiedlichen Höhen empfangen wurden.

8.3.2 Allgemeine Statistiken

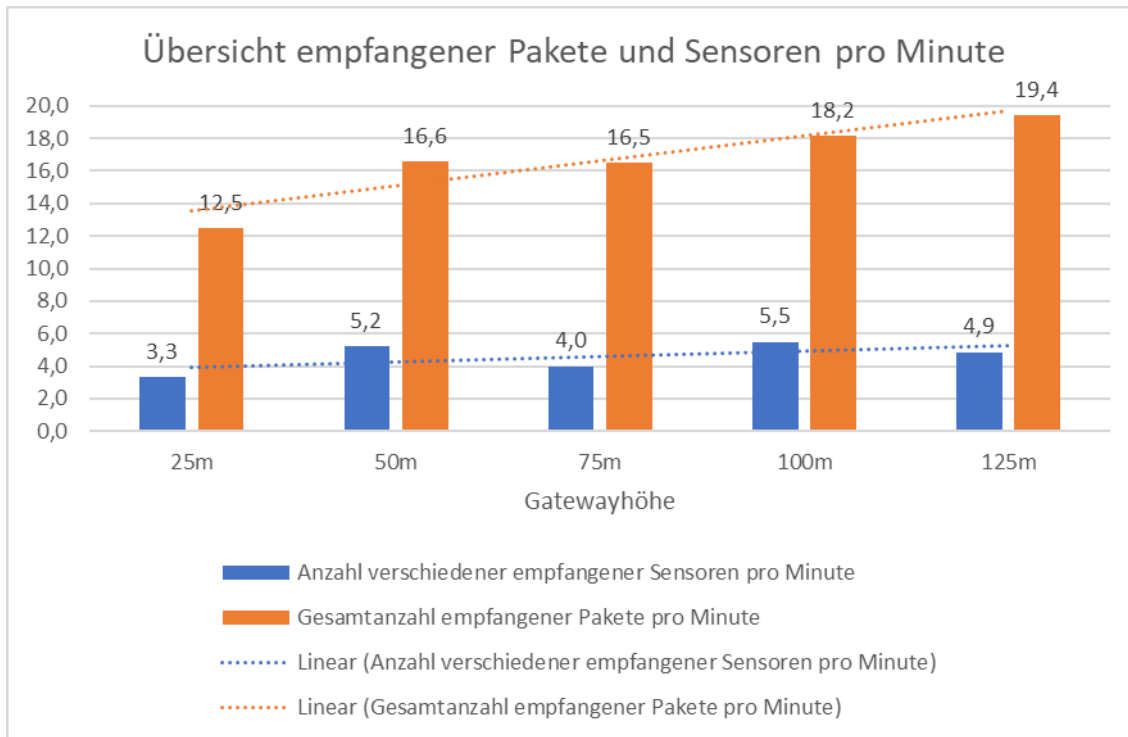


Abbildung 12 Übersicht empfangener Pakete und Sensoren pro Minute

Abbildung 12 zeigt die Anzahl empfangener Pakete und Sensoren pro Minute für die jeweiligen Höhen. Grundsätzlich lässt sich ein **positiver Effekt auf die Anzahl der empfangenen Pakete pro Minute** erkennen. Ein positiver Trend bei der Anzahl verschiedener empfangener Sensoren ist nur schwach ausgeprägt.

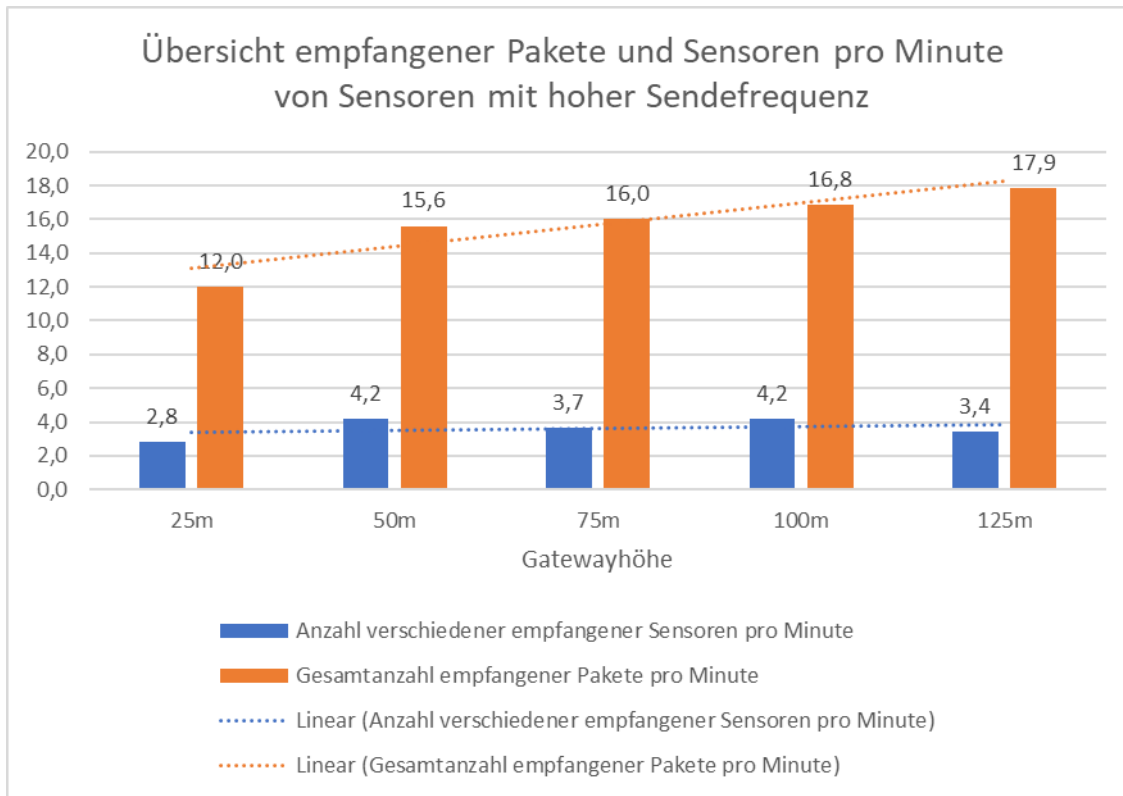


Abbildung 13 Übersicht empfangener Pakete und Sensoren pro Minute von Sensoren mit hoher Sendefrequenz

Abbildung 13 zeigt wie die vorherige Abbildung die Anzahl empfangener Pakete und Sensoren pro Minute für die jeweiligen Höhen, allerdings werden hier nur die häufig sendenden Sensoren betrachtet (Sendefrequenz <5 Minuten). Dies sind immerhin 31 von insgesamt 53 Sensoren. Hier bestätigt sich der oben beschriebene Trend. Die **Anzahl der empfangenen Pakete nimmt mit der Höhe zu**. Die Anzahl verschiedener empfangener Sensoren ist nur schwach beeinflusst.

Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, dass mit größeren Gatewayhöhen mehr Sensoren in größerer Entfernung empfangen werden, weit entfernte Sensoren kommen dazu. Unter dem Gateway befindliche Sensoren bekommen Probleme durch den **Gatewayschatten**. Ein Gatewayschatten oder auch Antennenschatten wird durch die physikalische Eigenschaft hervorgerufen, dass eine Antenne nicht in alle Richtungen „gleich gut“ empfangen kann. In LoRaWAN Gateways sind Antennen in der Regel daher so angeordnet, dass diese schlechten Empfangsbereiche (Schatten) nach oben und unten zeigen, also dort, wo in der Regel keine oder wenige Sensoren zu finden sind.

Die Methodik selbst könnte auch zu einer **Verfälschung** geführt haben. Die 125m Stufe wurde im Gegensatz zu den übrigen 7 Minuten gehalten (25m, 75m und 100m wurden 6 Minuten gehalten, 50m nur 5 Minuten), wobei 34 verschiedene Sensoren empfangen wurden. Der Divisor (Haltezeit) ist hier also größer, was potenziell zu einem niedrigeren Quotienten führen kann. Da im Rahmen des Tests aber ca. 1.000 Sensoren beteiligt waren (alle zu diesem Zeitpunkt aktiv sendenden Sensoren der Stadt Delbrück) muss davon ausgegangen werden, dass auch der Dividend, also die Anzahl empfangener Sensoren, mit größerer Zeit weiter steigen werden und nach 7 Minuten noch nicht alle potentiell in Reichweite befindlichen Sensoren empfangen wurden. Daher ist ein Einfluss durch die Methode an dieser Stelle unwahrscheinlich. Ausgeschlossen werden kann diese potenzielle Ursache aber erst, wenn weiter Flüge mit größeren Haltezeiten durchgeführt werden.

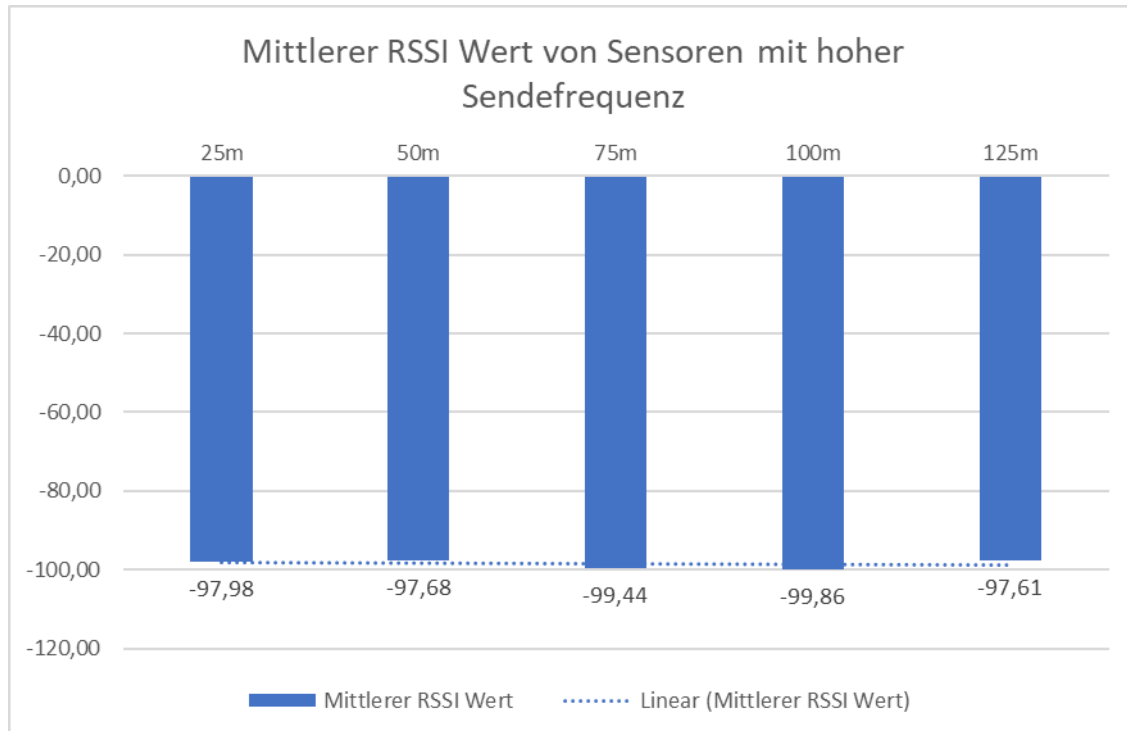


Abbildung 14 Mittlerer RSSI Wert von Sensoren mit hoher Sendefrequenz

Abbildung 14 zeigt den mittleren RSSI Wert⁸ über alle 31 Sensoren mit hoher Sendefrequenz. Die eingezeichnete lineare Trendlinie zeigt, dass es **keinen positiven oder negativen Trend** gibt. Die Höhe hat also keinen Einfluss auf die mittleren RSSI Werte. Grundsätzlich widerspricht dies den Erwartungen, da eine größere Höhe aufgrund spitzerer Sichtwinkel zwischen Sender und Empfänger zu weniger Beeinflussung durch Hindernisse wie Bäume oder Gebäude führen sollte. Eine **mögliche Ursache** für diese Beobachtungen könnten sein, dass „neu dazu kommende“ Sensoren bei größeren Höhen mit „schlechteren“ RSSI Werten (>-100 dBm) hinzu kommen und den positiven Effekt bei dauerhaft im Empfang befindlichen Sensoren aufheben.

Abschließend werden die oben genannten Beobachtungen noch mit einem am Boden befindlichen Gateway verglichen werden. Dazu wurden 5 Minuten nach dem eigentlichen Testflug ausgewertet: Während die Drohne mit dem Gateway am Boden steht werden pro Minute im Mittel circa 5,8 Pakete empfangen. Die Pakete stammen von im Mittel 2,2 Sensoren pro Minute. Im Mittel beträgt der RSSI Wert -80. Die **Anzahl** verschiedener empfangener Sensoren sowie die Anzahl der Pakete ist demnach **sehr viel geringer, als wenn das Gateway sich in der Höhe befindet**. Überraschend ist jedoch der gute RSSI Mittelwert.

⁸ Der RSSI Wert gibt an, wie stark das Empfangssignal ist. Je höher der RSSI Wert, desto stärker das Signal.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden

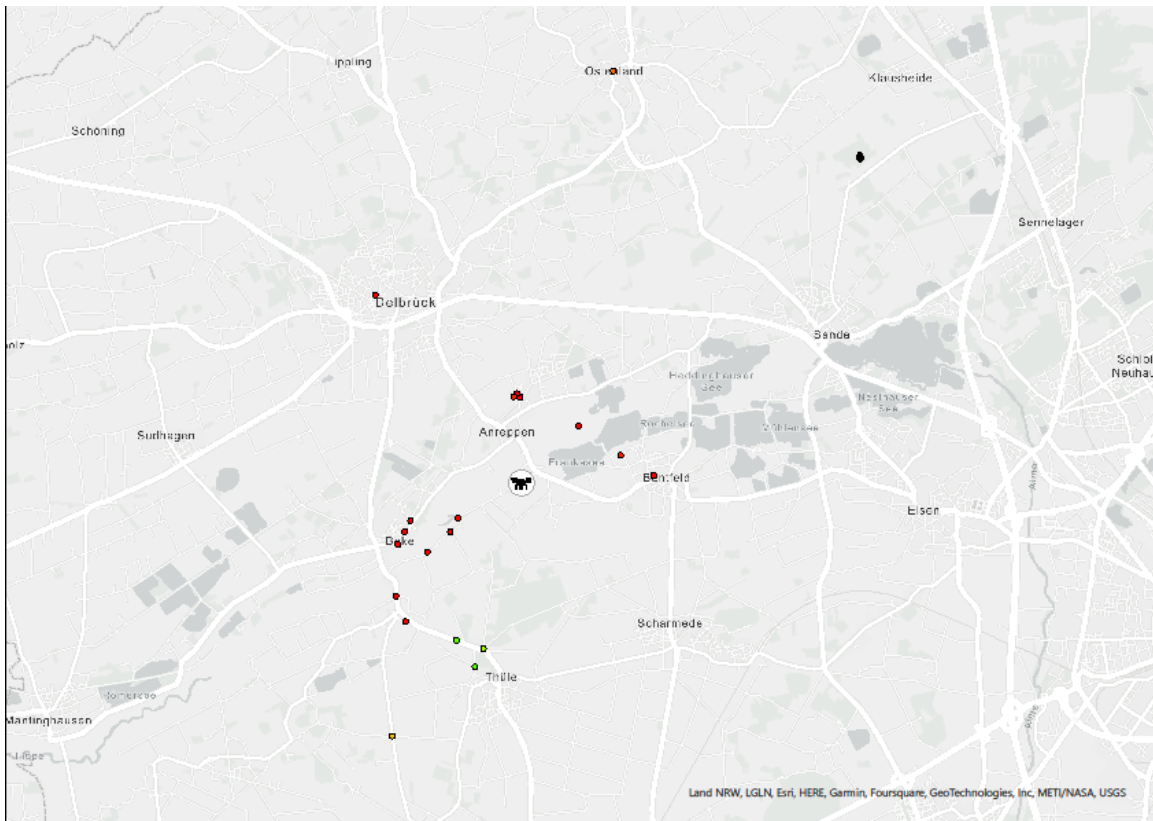


Abbildung 15 Mittlere Empfangsleistung (RSSI) der empfangenen Sensoren bei 25m Gatewayhöhe. Grün signalisiert gute Empfangsqualität. Rot signalisiert schlechte Empfangsqualität

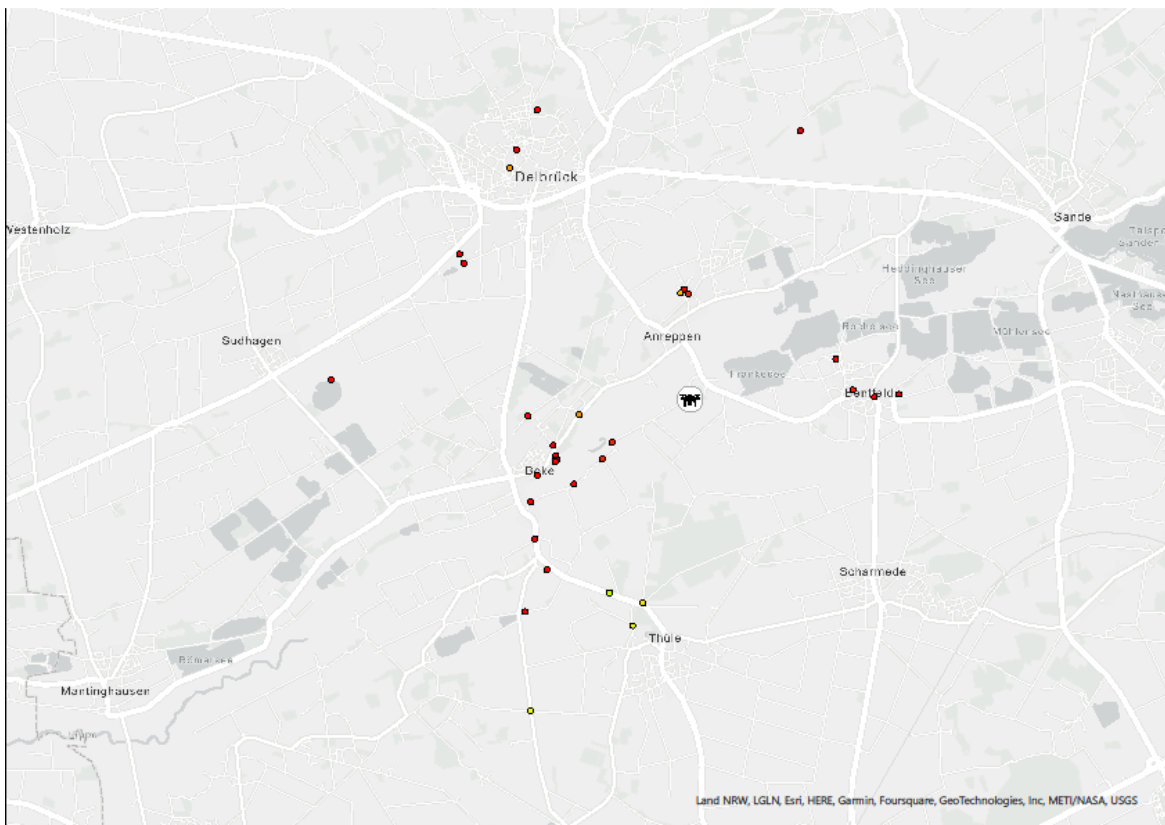


Abbildung 16 Mittlere Empfangsqualität (RSSI) der empfangenen Sensoren bei 125m Gatewayhöhe. Grün signalisiert gute Empfangsqualität. Rot signalisiert schlechte Empfangsqualität

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen eine grafische Darstellung die durchschnittlichen Empfangsqualität RSSI bei einer Gatewayhöhe von 25m und 125m. Dabei entspricht jeder Kreis, einem empfangenen Sensor, die Farben korrelieren dabei mit dem mittleren RSSI Wert der empfangenen Pakete. Die Farbskala reicht von rot (RSSI Werte kleiner -100) über orange bis grün (RSSI Werte größer -80). Die gelbe Nadel zeigt dabei den Standort des Gateways. Die kartenbasierte Auswertung der Empfangsqualität ist leider wenig aufschlussreich. Es ist lediglich erkennbar, dass insgesamt **mehr Sensoren bei größeren Gatewayhöhen empfangen werden**. Zudem lässt sich auch keine räumliche Abhängigkeit der RSSI Werte erkennen.

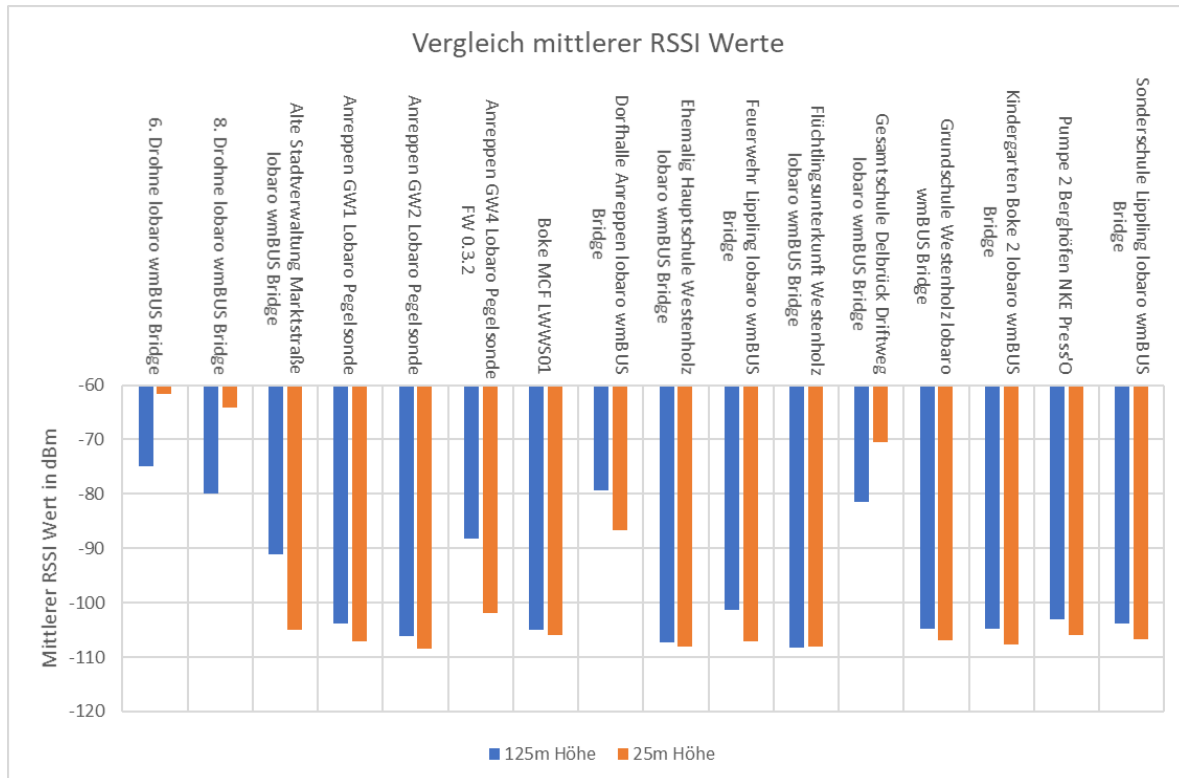


Abbildung 17 Vergleich der Mittleren Empfangsqualität auf 25m und 125m Gatewayhöhe

Ein genauer Blick auf die Sensoren aus Abbildung 15 und Abbildung 16, die jeweils in beiden Höhen empfangen wurden zeigt, dass insgesamt 12 der 16 betrachteten Sensoren profitieren (siehe Abbildung 17). Allerdings verbessert sich der RSSI Wert nur im Schnitt um ca. 5 dBm. Die vier übrigen verschlechtern ihre Empfangsqualität sogar im Schnitt um 10dBm, was im Gesamtmittel dann dazu führt das es **keine signifikante Verbesserung der RSSI Werte** von 25m auf 125m Höhe gibt. Diese vier Sensoren befinden sich nicht in unmittelbarer Nähe zum Gateway.

Da in unmittelbarer Nähe (wenige Meter) um das Gateway herum keine Sensoren positioniert wurden, lässt sich nicht überprüfen, ob Sensoren in unmittelbarer Nähe zum Gateway Nachteile durch größere Gatewayhöhen haben. Weitere räumliche Abhängigkeiten der Empfangsqualität und der Gatewayhöhe lassen sich ebenfalls nicht beobachten. Grund hierfür können überlagernde Effekte sein, die die Empfangsqualität beeinflussen und hier nicht näher untersucht werden können. Dies sind in erster Linie Hindernisse wie Gebäude, Wald oder andere Oberflächenstrukturen, die eine direkte Sichtlinie zwischen Sensor und Gateway verhindern.

8.3.3 Trendanalyse

Im Folgenden wird analysiert, welchen Einfluss die Gatewayhöhe auf einzelne Sensoren hat. Dabei wurde pro Sensor analysiert, ob ein linearer Trend mit steigender Gatewayhöhe bei der Anzahl empfangener Pakete pro Minute und den mittleren RSSI Werten erkennbar ist. Von den insgesamt 53 empfangenen Sensoren werden hierfür nur 31 betrachtet, da sie eine hohe Sendefrequenz haben und in jeder Höhe fast durchgehend empfangen wurden.

Zusammenhang Höhe mit Anzahl empfangener Pakete pro Minute:

20 von 31 Sensoren mit hoher Sendefrequenz haben einen **positiven Effekt** in Bezug auf die Anzahl der empfangenen Pakete pro Minute. Die Anzahl empfangener Pakete pro Minute nimmt hier also mit der Höhe zu. Wie stark dieser Trend ist, ist unterschiedlich. Bei den übrigen 11 Sensoren lassen sich schwach negative oder gar keine Trends erkennen.

Zusammenhang Höhe mit durchschnittlicher Empfangsqualität (RSSI):

Von 31 betrachteten Sensoren zeigen 11 keinen oder keinen eindeutigen Trend, 5 zeigen einen Trend zu schlechterer Empfangsqualität mit zunehmender Höhe, 15 zeigen einen Trend zu besserer Empfangsqualität mit zunehmender Gatewayhöhe. Der **RSSI Wert korreliert** also, wie bereits im Kapitel 8.3.1 beschrieben, **nicht eindeutig positiv** mit der Gatewayhöhe. Der Einfluss ist individuell vom Sensor abhängig.

8.3.4 Detailanalyse von ausgewählten Sensoren

Im Folgenden werden neun Sensoren im Detail dargestellt. Es handelt sich um die Sensoren mit der größten Menge empfangener Pakete.

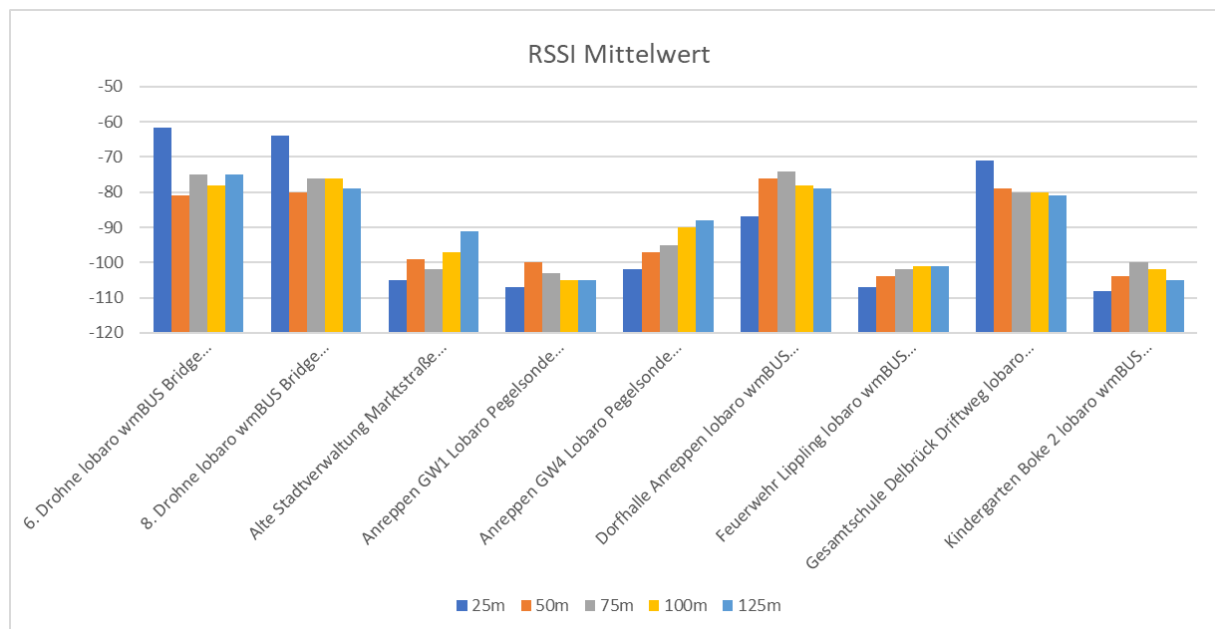


Abbildung 18 RSSI Mittelwerte bei verschiedenen Gatewayhöhen

Abbildung 18 zeigt den jeweiligen RSSI Mittelwert für eine bestimmte Gatewayhöhe. Diese Detailbetrachtung bestätigt die im vorherigen Kapitel beschriebenen Beobachtungen. Einige Sensoren wie „Anreppen GW5 Lobarlo Pegelsonde“ oder „Feuerwehr Lippling Lobarlo wmbUS“ zeigen einen positiven Trend mit zunehmender Höhe. Sensoren wie „8.Drohne Ibaro wmbUS Bridge“ oder „Gesamtschule Delbrück Driftweg Lobarlo“ zeigen einen negativen Trend mit zunehmender Höhe. Bei anderen Sensoren ist kein eindeutig positiver oder negativer Einfluss der Höhe erkennbar.

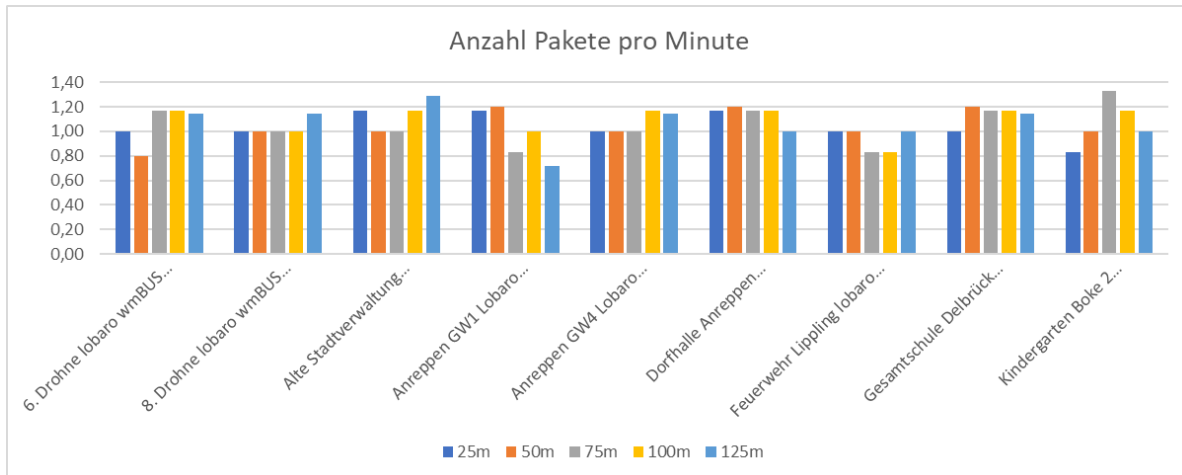


Abbildung 19 Anzahl empfangener Pakete pro Minute bei verschiedenen Gatewayhöhen

Abbildung 19 zeigt die Anzahl empfangener Pakete pro Minute für verschiedenen Gatewayhöhen. Hier sind die Trends weniger stark ausgeprägt. **Ursache** hier ist, dass die betrachteten Sensoren ein so gutes Empfangsverhältnis aufweisen, dass auch bei niedrigen Höhen kaum Pakete verloren gehen.

8.3.5 Fazit

Im Folgenden sind noch einmal die relevanten Ergebnisse der Messwertanalyse zusammengefasst:

1. Die Höhe des Gateways hat einen deutlichen Effekt auf die Anzahl empfangener Pakete.
2. Bei der Mehrzahl der Sensoren ist ein **leichter Trend zur Verbesserung der Empfangsqualität** RSSI zu beobachten.
3. Im Schnitt wird dieser Effekt jedoch bei steigender Höhe durch zusätzlich empfangene Sensoren mit schlechterer Empfangsqualität aufgehoben.
4. Für Sensoren, die sich unmittelbar unterhalb des Gateways befinden, kann die zunehmende Höhe von Nachteil sein, da sich der **Effekt des Empfangsschatten** deutlich auswirkt. Sollte die Drohne eine Route abfliegen, wird dieser Effekt aber durch den Positionswechsel der Drohne entfallen.
5. Nicht alle erwarteten Trends (z.B. starke Zunahme bei der Anzahl empfangener Sensoren mit zunehmender Gatewayhöhe) konnten beobachtet werden. Eine **größere Datenbasis** könnte Zufallseffekte besser ausschließen und bestimmte Effekte deutlicher sichtbar machen.
6. Ein Drohnengateway welches in großen Höhen fliegt hat extrem hohe Reichweiten und kann eine große Zahl weit verteilter Sensoren empfangen. Damit die Sensoren zuverlässig empfangen werden, müssen die **Sendeintervalle** der Sensoren sehr gering sein. Welche Größenordnung dies sein sollte müsste durch weitere Flüge evaluiert werden.

Für die Stadt Delbrück kommt zum aktuellen Zeitpunkt der Einsatz der „Fly-By“-Auslesung nicht in Frage. Hauptgrund dafür ist, dass das LoRaWAN Netz eine so gute Abdeckung hat,

dass alle verbauten Sensoren im Empfangsbereich liegen. Eine zusätzliche Auslesung durch weitere Gateways ist daher nicht sinnvoll.

Grundsätzlich kann dieser Ansatz jedoch sinnvoll für Gebiete sein, in denen eine LoRaWAN Netzabdeckung nicht wirtschaftlich möglich ist, da beispielsweise extrem wenige Sensoren pro Fläche verbaut sind, oder die Topografie (Berger, Täler) eine sehr hohe und damit unwirtschaftliche Gatewaydichte erforderlich machen würde. Die in diesem Falle eingesparten **Netzausbaukosten** müssen jedoch denen der „Fly-By“-Auslesung **gegenübergestellt** werden. Dabei fällt weniger die Anschaffung der Drohne ins Gewicht, sondern eher Aufwände für mögliche Genehmigungen sowie die Drohnenflüge selbst. Auch ist hier **keine permanente Datenauslesung** möglich, da die Drohne natürlich nicht dauerhaft in der Luft bleiben kann. In diesem Fall könnten Sensoren eine Rolle spielen, welche Daten sammeln und zu bestimmten, mit den Drohnenflugzeiten abgestimmten, Zeitpunkten senden. So gehen zwar keine Daten verloren, nutzbare Daten gibt es aber dann nicht mehr in Echtzeit. Der Einsatz der „Fly-By“-Auslesung sollte daher aus technischer und finanzieller Sicht genau abgewogen werden.

Empfehlungen für weitere Testflüge:

- Längere Verweilzeiten auf den jeweiligen Höhen, um die Datenmenge zu verbessern
- Die Drohne sollte die Position wechseln und im Idealfall eine vorher definierte Route abfliegen

9 Projektdokumentation

Um das Projektvorgehen zu dokumentieren und Ergebnisse festzuhalten, wurden vom Fördergeber regelmäßig Unterlagen verlangt. Aber auch die Stadt Delbrück selbst hat im Verlauf des Projektes zahlreiche (nicht explizit geforderte) Dokumente erstellt, ohne deren Hilfe sich die Umsetzung des Projektes schwieriger gestaltet hätte. Darüber hinaus hat die regio iT mit eigenen Excel-Tabellen und Unterlagen unterstützt. Als zentralen, digitalen Ablageort wurde das interne Dokumentenmanagementsystem sowie eine Cloud-Lösung der regio iT genutzt.

Zu den erstellten Dokumenten gehören u.a.:

- regelmäßige Projektstatusberichte (siehe Kapitel 14.3 Projektstatusbericht)
- Meilensteinplan Soll-Ist-Vergleich bzw. Projektplan aus dem Förderantrag
- Stundennachweise zzgl. Stundenübersicht in Excel
- Rechnungen zzgl. Ausgabenübersicht in Excel
- Vergabeübersicht, Vergabevermerke und weitere Vergabeunterlagen
- Bilder der Standorte, Sensoren, Gateways
- Hardwareübersicht (Kosten, Lieferdatum, Anzahl)
- diverse Projektpräsentationen und Artikel
- Anwendungsfall-Aufgabenliste

Ungefähr drei Mal pro Jahr wurden **Projektstatusberichte** verfasst und an die erweiterte Projektgruppe inkl. Bürgermeister und Fachbereichsleitungen versendet. Dies diente zum einen dazu, einen kurzen, aber aussagekräftigen Zwischenstand zum Projekt festzuhalten. Zum anderen war dies auch ein Signal an die Führungsebene, ob das Projekt noch „auf Kurs“ ist oder akuter Handlungsbedarf der Steuerungsebene notwendig ist.

Der **Meilensteinplan** diente dazu, das Projekt „auf Kurs“ zu halten bzw. Abweichungen vorzusehen. Grundsätzlich arbeitete die Projektgruppe mit dem ursprünglich (von der regio iT) erstellten Projektplan und passte Meilensteine bei Bedarf an, ohne das Projektziel zu gefährden.

Die Stundennachweise, Stunden-, Ausgaben- und Vergabeübersicht waren primär als Nachweis für den Fördergebenden notwendig. Ob der dadurch erzeugte Nutzen den nicht unerheblichen **Aufwand bei der Pflege der Dokumente** rechtfertigt, ist zu bezweifeln. Wenn es sich nicht um ein Förderprojekt handelt, empfiehlt die Stadt Delbrück, diese Dokumente nicht (in dieser Form) zu pflegen.

Bilder der Anwendungsfälle und Hardware hingegen lassen sich vor, während und nach der Installation immer noch schnell machen. Sie können sowohl für Dokumentations- als auch Präsentationszwecke sehr gut genutzt werden.

Eine **Hardwareübersicht** wurde im Rahmen des Projekts erstellt, um bei der hohen Anzahl an beschaffter Hardware nachvollziehen zu können, was zu welchem Preis bestellt, zu welchem Preis bezahlt und in welcher Anzahl an welchem Tag geliefert wurde. Eine Übersicht, welche Hardware installiert / onboarded ist und welche Hardware defekt ist, bietet die eingesetzte IoT Plattform. Daher wurde dies nicht als händisch zu pflegende Tabelle erstellt.

10 Betreibermodell

Das Betreibermodell beschreibt im Detail alle für den Betrieb der Anwendungsfälle (LoRaWAN Netz, Softwareplattformen und Sensorik) nötigen Aufgaben, Zuständigkeiten und Prozesse.

10.1 Architektur

Abbildung 20 zeigt schematisch den Zusammenhang aller im Projekt aufgebauten und darüber hinaus betriebenen Systeme inklusive der jeweiligen Zuständigkeiten des Betriebes. Im Folgenden sollen die **wesentlichen Funktionen der einzelnen Bausteine** beschrieben werden.

Devices (von der Kommune oder von Bürgerinnen und Bürgern) sind physische Geräte wie Sensoren, Aktoren oder Zähler, die in Gebäuden oder im Freien installiert sind und Zustände wie Temperatur oder Luftfeuchte erfassen (Sensoren), Verbräuche von Energie oder Wasser erfassen (Zähler) oder zur Steuerung elektrischer Anlagen (Aktoren) eingesetzt werden. Die Devices senden ihre Messwerte per LoRaWAN an ein LoRaWAN Gateway.

LoRaWAN **Gateways** werden an zentralen Stellen in der Stadt installiert und spannen das eigentliche LoRaWAN Netz auf (siehe Kapitel 5.4). Die Gateways sind auf einer **IoT Plattform** registriert (in diesem Fall beinhaltet diese den LoRaWAN-Network-Server (LNS), LoRaWAN Application Server, sowie den LoRaWAN-Join-Server, mehr Informationen dazu unter <https://lora-alliance.org/>). Neben den Gateways sind dort auch alle Devices der Stadt Delbrück registriert. Die Datenweiterleitung der Bürger-Devices erfolgt über die im Kapitel 6.2.4.1 erläuterte Methode. Mit Hilfe der IoT Plattform kann die Stadt Delbrück zum einen die Funktionsfähigkeit der Devices überwachen und sicherstellen, zum anderen aber auch die Messwerte der Devices verarbeiten und über Standardschnittstellen wie REST oder MQTT an nachgelagerte Anwendungen bereitstellen. Eine solche IoT Plattform ist für einen zuverlässigen Betrieb von Devices und LoRaWAN Netz immer notwendig, da die Sensoren hier nicht nur überwacht, sondern auch konfiguriert werden können. Die FachanwenderInnen der Stadt Delbrück haben in diesem Aufbau allerdings keinen Zugriff auf die IoT Plattform, da sie hier primär als Verwaltungsschicht für Daten und Devices dient. Die eigentliche Arbeit mit den Daten (Auswertung, Analysen, etc.) findet daher in den bereits genannten nachgelagerten Anwendungen statt. Diese Anwendungen werden in Kapitel 7 erläutert. Alle Fachanwendungen sind über Standardschnittstellen MQTT und REST angebunden.

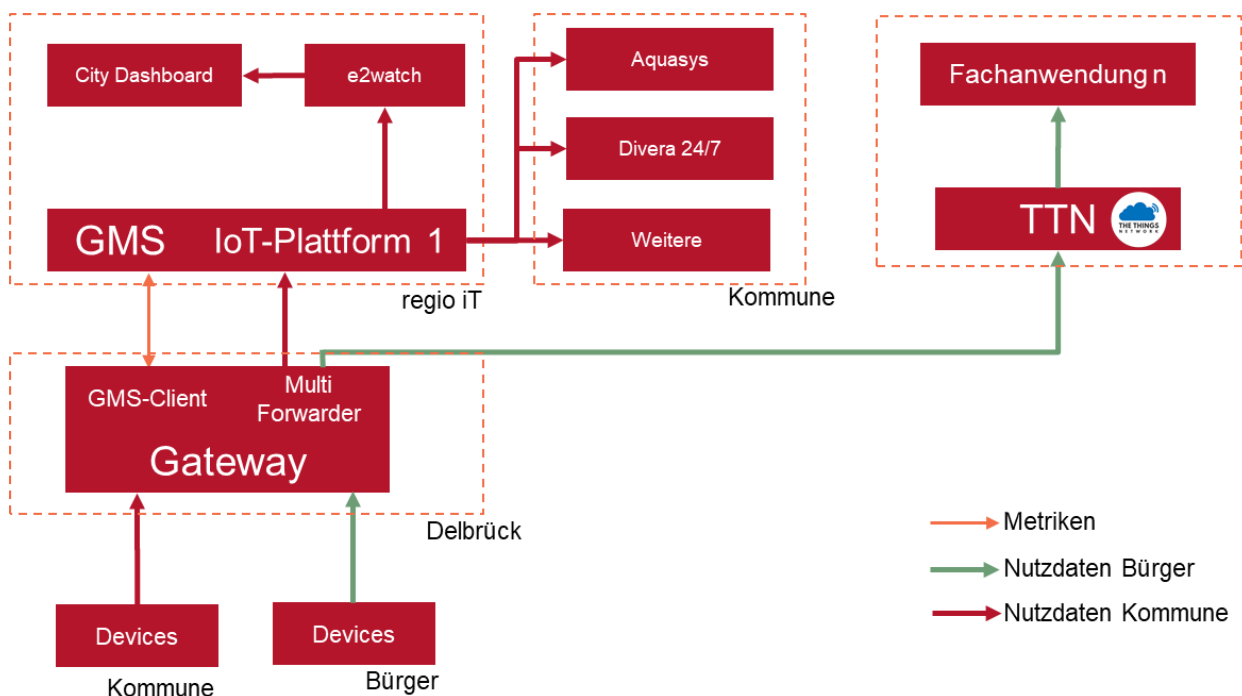


Abbildung 20 Gesamtarchitektur der betriebenen Komponenten

10.2 Aufgabenübersicht und Verantwortlichkeiten

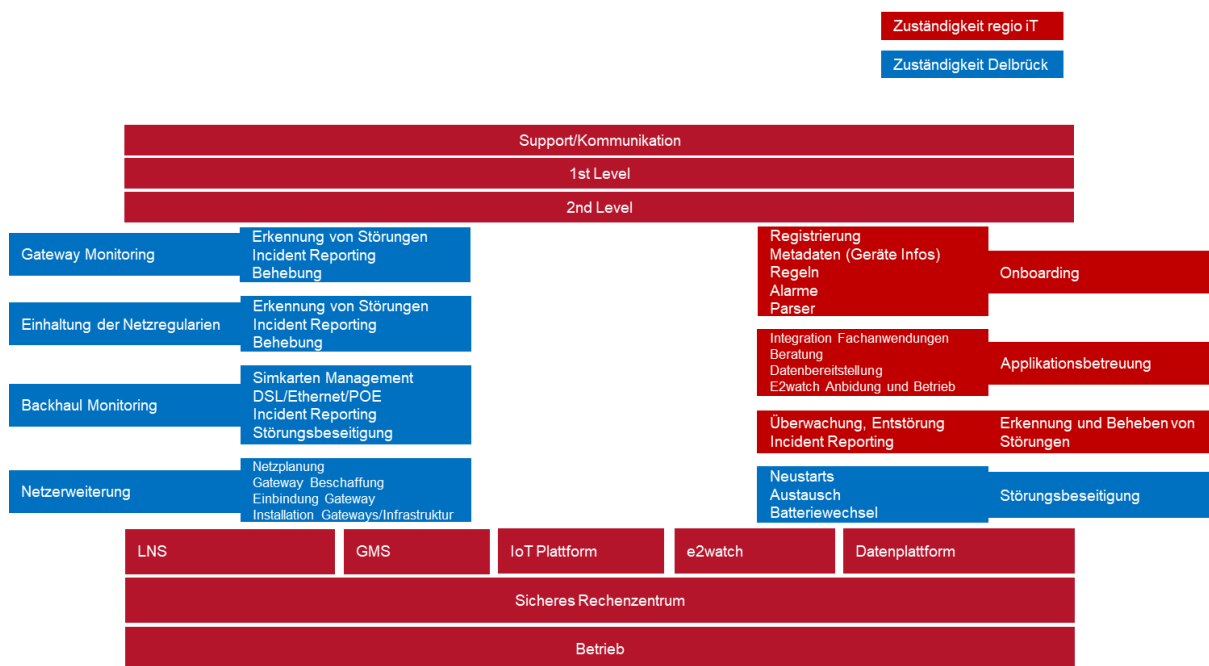


Abbildung 21 Übersicht der relevanten Aufgaben und Zuständigkeiten

Basis eines Betreibermodells ist neben der Beschreibung des technischen Aufbaus (Kapitel 10.1) auch die **Beschreibung aller Aufgaben und deren Verantwortlichkeiten**. Alle in Abbildung 21 rot eingefärbten Aufgaben werden im Rahmen einer an das Projekt anschließenden Beauftragung durch die regio iT GmbH übernommen. Die blau eingefärbten Aufgaben werden durch die Stadt Delbrück übernommen. Die Aufgaben lassen sich in vier Bereiche einteilen:

1. Support (oben)
2. Plattformbetrieb (unten)
3. Netzbetrieb (links)
4. Applikationsbetrieb (rechts)

Der Bereich „**Support**“ beinhaltet Leistungen zur Bearbeitung von Incidents und Servicerequests. Hier bekommt die Stadt Delbrück die Möglichkeit, Störungen und Probleme an die regio iT zu melden, aber auch Anfragen für Änderungen (z.B. weitere NutzerInnenzugänge, Anbindung neuer Sensoren) zu stellen. Außerdem informiert die regio iT die Stadt Delbrück über aufgetretene Störungen oder geplante Wartungsarbeiten. 1st und 2nd Level Support wird durch die regio iT erbracht. Für den 3rd Level Support bedient sich die regio iT der jeweiligen Lieferanten (siehe Abbildung 22). Aktuell ist nicht geplant, dass sich Bürgerinnen und Bürger, die das öffentlich bereitgestellte Netz der Stadt Delbrück nutzen (siehe Kapitel 7.1) direkt an den Support der regio iT GmbH wenden können. Man kann sich jedoch mit allgemeinen Anliegen und Fragen an lorawan@delbrueck.de wenden.

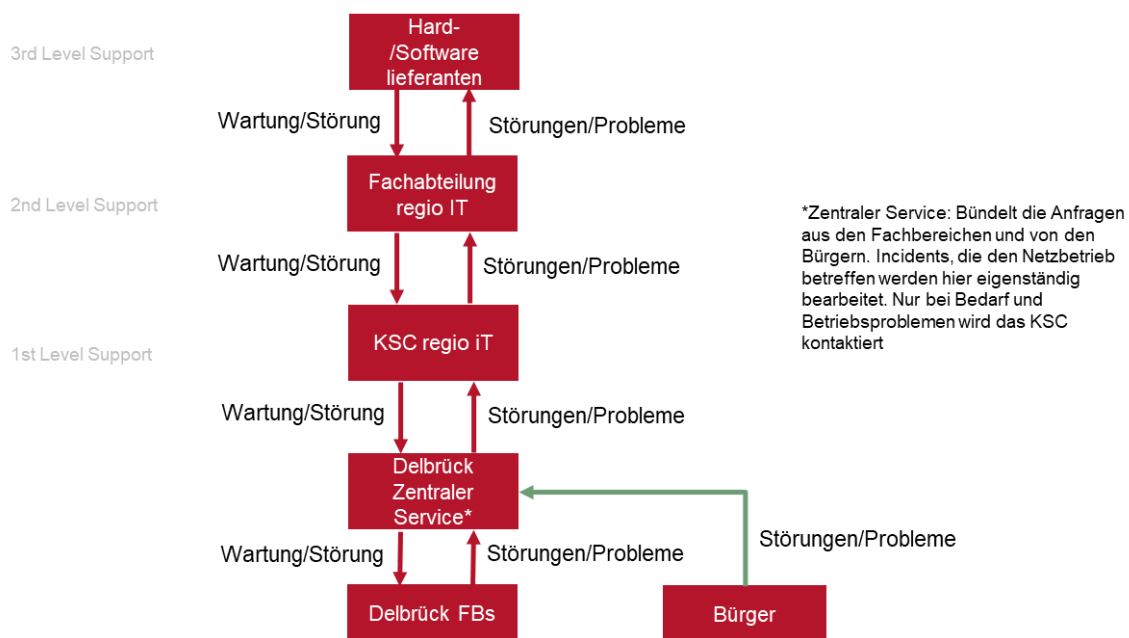


Abbildung 22 Kommunikationswege im Supportfall

Der Bereich „**Plattformbetrieb**“ umfasst die SAAS IoT-Plattform inklusive LoRaWAN-Netzwerkserver (LNS) und Gateway-Monitoring-System (GMS). Die „e2watch“ Lösung betreibt die regio iT in ihrem eigenen Rechenzentrum. Inbegriffen sind hier unter anderem die Verfügbarkeit, die Systempflege, die Datenspeicherung, die Kommunikationswege und Service-Level-Klassen.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden



Abbildung 23 Detailbeschreibung aller Aufgaben des Netzbetriebes

Abbildung 23 beschreibt im Detail die Aufgaben, welche mit dem **Netzbetrieb** einhergehen. Hierbei geht es insbesondere darum, die Verfügbarkeit des Netzes sicherzustellen und die gesetzlichen Regularien einzuhalten. Diese Aufgaben werden im Wesentlichen durch die Stadt Delbrück selbst übernommen. Im Rahmen eines Stundenkontingents kann im Bedarfsfall Unterstützung bei der regio iT GmbH abgerufen werden. Ein Exkurs zum Thema Netzanmeldung sowie zur Frage „Netzbetrieb selber machen oder abgeben?“ ist im Kapitel Netzanmeldung und Netzbetrieb zu finden.



Abbildung 24 Detailbeschreibung der Aufgaben des Applikationsbetriebes

Abbildung 24 zeigt im Detail alle Aufgaben des **Applikationsbetriebes**. Hier geht es im Wesentlichen um die Arbeit mit den bereitgestellten Applikationen wie e2watch oder der IoT Plattform. Einrichtung und Konfiguration von Sensoren, Fieldservice für Sensoren, NutzerInnenmanagement und Bereitstellung der Daten über Schnittstellen sind hier beispielhafte Aufga-

ben. Im Wesentlichen werden diese Arbeiten durch die regio iT GmbH übernommen. Bestimmte Konfigurationsaufgaben und der gesamte Sensor-Fieldservice sind jedoch in der Verantwortung der Stadt Delbrück, welche insbesondere für letzteres dezidiertes Personal vorhält.

10.3 Prozesse

Die oben genannten Aufgaben sind in der Regel Bestandteil bestimmter Arbeitsabläufe. Um eine **Qualität** in diesen Abläufen **sicherzustellen**, und Verantwortlichkeiten noch weiter zu detaillieren, sollten sogenannte Prozesse definiert werden. Prozesse beschreiben mit beliebigem Detailgrad jeden Schritt eines Ablaufes. Dabei sollte folgendes beachtet werden: Prozesse sollten so definiert werden, dass sie durch die AnwenderInnen auch umsetzbar sind. Zu detaillierte Beschreibungen können da hinderlich sein.

Nicht jeder Ablauf muss zwangsläufig in Form eines Prozesses definiert werden. Sinnvoll ist dies insbesondere für **kritische** Abläufe, die eine bestimmte Qualität sicherstellen müssen **oder** für besonders **komplexe Abläufe**, an denen verschieden Personen und/oder Organisationen beteiligt sind. Idealerweise wird ein/e Prozessverantwortliche/r benannt, die/der regelmäßig prüft, ob der Prozess eingehalten wird. Wichtig ist zudem, dass Prozesse, die sich in der Praxis aus verschiedensten Gründen nicht etablieren lassen, auch geändert werden können und sollten. Ein sehr verbreiteter Standard zur Beschreibung von Prozessen ist BPMN (<https://www.bpmn.de/lexikon/bpmn/>), welcher auch im Rahmen dieses Projekts genutzt wurde. Draw.io (<https://app.diagrams.net/>) ist ein kostenloses Tool zur Erstellung der Prozesse.

Im Rahmen der Erstellung des Betreibermodells wurden **sieben wichtige Prozesse** definiert:

1. Fachanwender/in stellt einen Fehler fest / Daten kommen nicht an
2. Neuer Sensor soll angelegt werden
3. NetzbetreiberIn stellt Störung fest
4. Regio iT stellt Störung fest
5. Regio IT stellt Sensorausfall fest
6. Standort hat keine Netzabdeckung
7. Sensor durch Diebstahl oder Vandalismus beschädigt/entfernt/nicht auffindbar

Die Prozesse beschreiben die aus Sicht der Stadt Delbrück relevantesten Abläufe. Sie hängen teilweise voneinander ab, daher verweisen sie aufeinander. Da einige Prozesse interne Abläufe der regio iT enthalten, sind nur die folgenden vier Prozesse hier dargestellt.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden

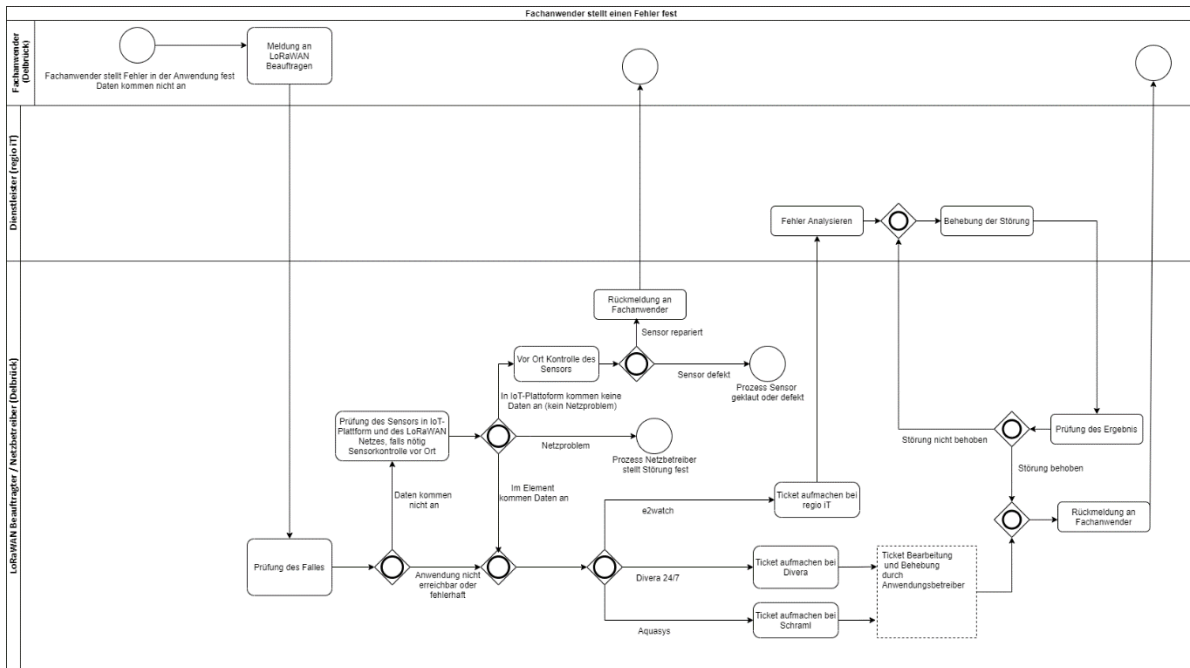


Abbildung 25 Prozess „FachanwenderIn stellt einen Fehler fest“

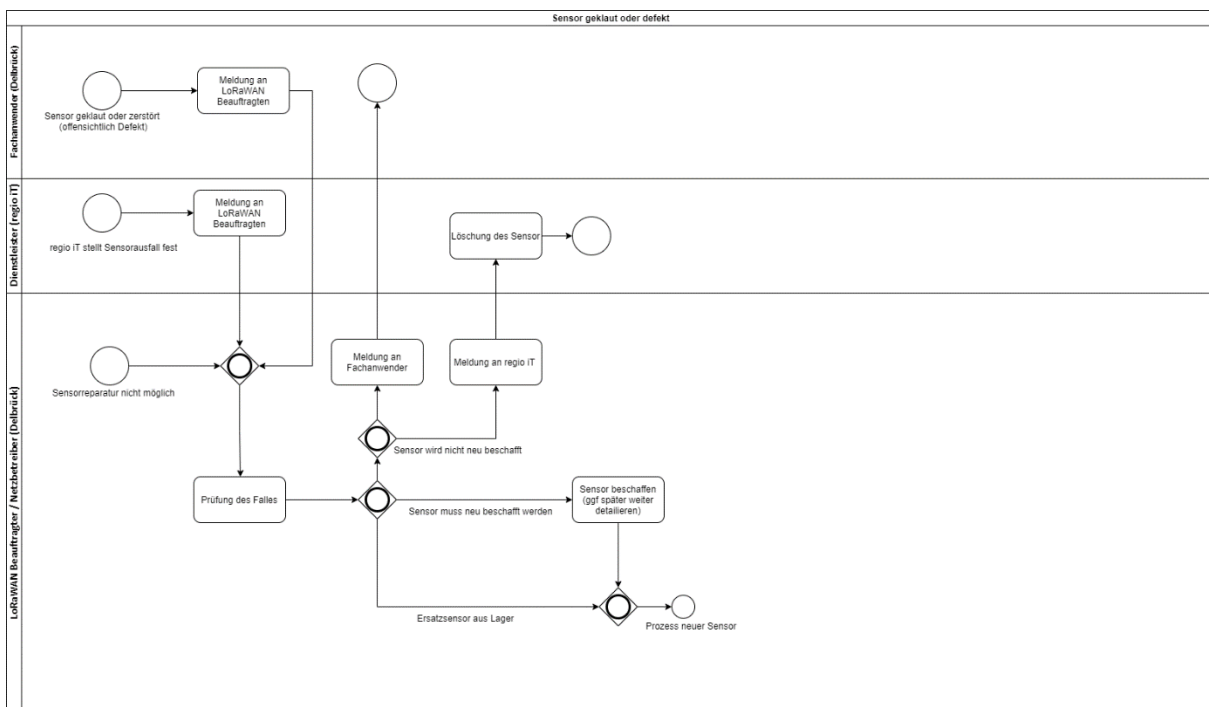


Abbildung 26 Prozess „Sensor durch Diebstahl oder Vandalismus beschädigt/entfernt/nicht auffindbar“

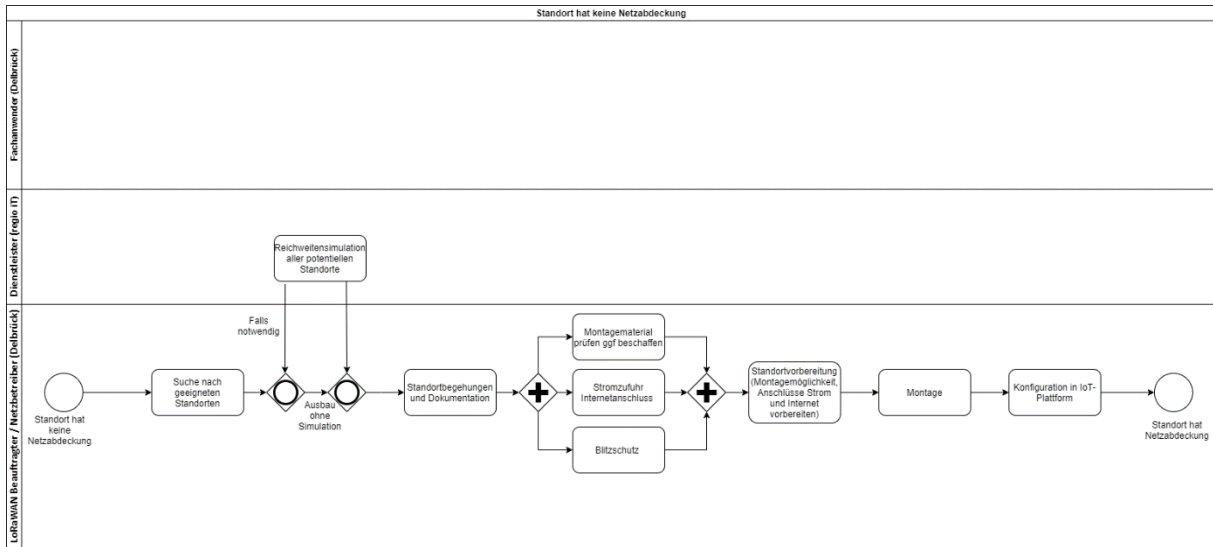


Abbildung 27 Prozess „Standort hat keine Netzabdeckung“

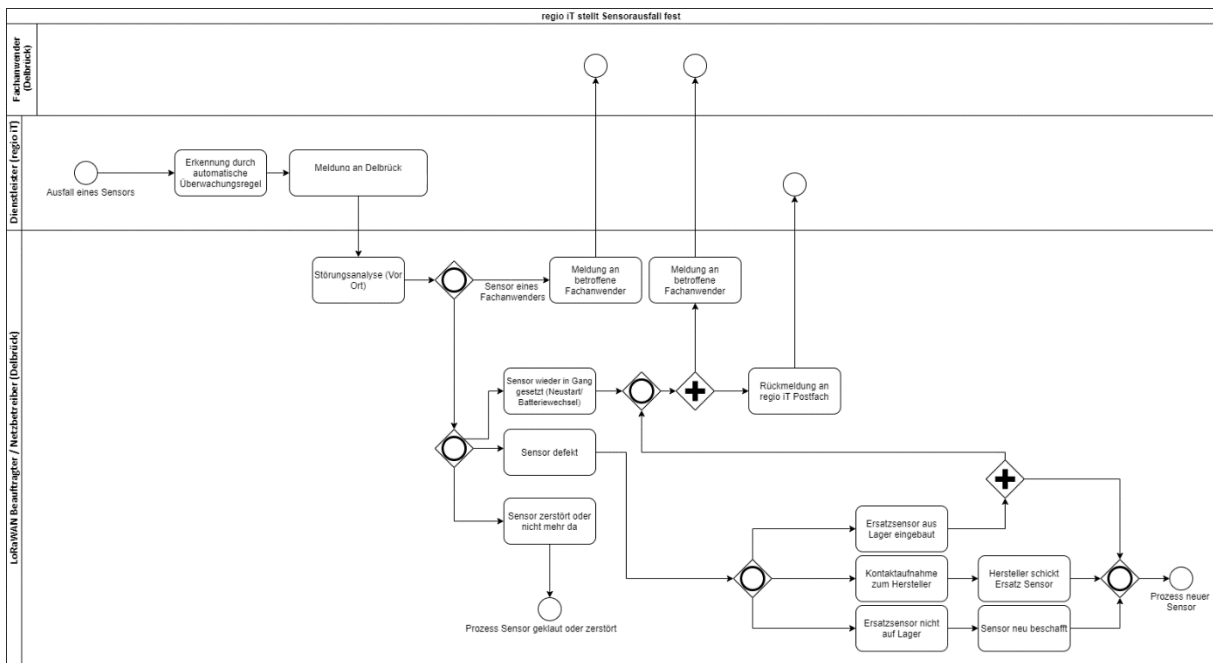


Abbildung 28 Prozess „regio iT stellt Sensorausfall fest“

10.4 Netzanmeldung und Netzbetrieb

Da es sich beim Thema Netzbetrieb um einen durch die **Bundesnetzagentur** (BNetzA) regulierten Bereich handelt, widmet sich dieses Kapitel zwei relevanten Fragestellungen, die in den folgenden Unterkapiteln weiter erläutert werden.

10.4.1 Ist eine Netzanmeldung bei der BNetzA erforderlich?

Unter bestimmten Umständen ist die Anmeldung eines LoRaWAN Netzes nach **§ 6 des Telekommunikationsgesetzes (TKG)** bei der Bundesnetzagentur erforderlich. Vereinfacht gesagt ist ein Netz meldepflichtig, wenn öffentlich zugängliche oder kommerzielle Telekommunikationsdienstleistungen erbracht werden.

„Kommerzieller Betrieb liegt vor, wenn die jeweilige Tätigkeit mit der Absicht der Kostendeckung angeboten wird. [...] Die Absicht der Kostendeckung ist auch dann anzunehmen, wenn das Angebot durch unmittelbare oder mittelbare Leistungen Dritter finanziert wird. [...] Beim Erbringen kommt es darauf an, wer aus Sicht des Kunden die Dienstleistung anbietet, also die Lieferung des vertraglich vereinbarten Telekommunikationsdienstes schuldet. D.h. auch wenn jemand die Telekommunikationsdienste lediglich einkauft und als Wiederverkäufer (Reseller) seinen Kunden anbietet, ist dieser meldepflichtig im Sinne § 5 TKG. Das gewerbliche Betreiben öffentlicher Netze hingegen ist meldepflichtig, losgelöst von der Frage, wer dem Kunden gegenüber die Leistung schuldet.“⁹

(Weitere Informationen dazu unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Unternehmenspflichten/Meldepflicht/start.html>.)

Das Netz der Stadt Delbrück ist **weder öffentlich** für Bürgerinnen und Bürger verfügbar, **noch wird es kommerziell betrieben**, da es zu 100% durch den Haushalt der Stadt Delbrück finanziert ist (keine Finanzierung durch EndnutzerInnen, durch Werbeeinnahmen oder sonstiges). Lediglich der Umstand, dass die Gateways über das sogenannte Multiforwarding der TTN Community bereitgestellt werden (siehe Kapitel 7.1), wurde durch eine Anfrage an die Bundesnetzagentur abgeklärt. Die Bundesnetzagentur kommt zu dem Schluss, dass bei einer unentgeltlichen Unterstützung eines Community Netzwerks durch Bereitstellung von LoRaWAN Gateways, das Dienstangebot und der Netzbetrieb der Community zuzuordnen ist und daher **keine Meldepflicht** für den Sponsor (Stadt Delbrück) besteht.¹⁰

10.4.2 Ist es sinnvoll den Netzbetrieb an eine/n externe/n Dienstleister/in auszulagern?

Durch die oben beschriebenen, teilweise komplexen Aufgaben wurde im Rahmen der Konzepterstellung diskutiert, das LoRaWAN Netz einer/m externen Dienstleister/in zu übergeben. In vielen Kommunen werden solche Dienstleistungen z.B. durch ein ansässiges **Stadtwerk** oder eine/n **Versorgungsnetzbetreiber/in** übernommen. Tabelle 1 zeigt eine kurze Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen, welche während des Projekts gegeneinander abgewogen wurden. Hauptgrund für die Entscheidung den Netzbetrieb selbst zu übernehmen waren neben der in Kapitel 10.4.1 erwähnten nicht-Notwendigkeit der Netzanmeldung insbesondere die Tatsache, dass die Stadt Delbrück selber über kompetentes Personal verfügt, welches im Rahmen des Projekts ausreichendes Wissen für diese Aufgabe aufbauen konnte. Die Option, den Netzbetrieb zukünftig abzugeben, bleibt aber weiterhin bestehen und wird regelmäßig geprüft.

Pro Eigenbetrieb	Contra Eigenbetrieb
Kontrolle über kommerziellen Datenfluss über eine kommunale Internetleitung	Es muss durch die Stadt Delbrück eigenes Personal vorgehalten werden
Voller Zugang zu kommunalen Gebäuden für Fieldservice	Ggf. bessere SLA/Verfügbarkeit möglich

⁹ Quelle: Rückmeldung der BNetzA zur Frage nach der Netzanmeldung in Delbrück

¹⁰ Hinweis: Dies ist keine rechtsverbindliche Aussage lediglich eine Interpretation der Bundesnetzagentur. Die Stadt Delbrück verzichtete an diese Stelle jedoch auf weitere Rechtsgutachten.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden

Keine komplexe Vertragssituation zur Sicherung der eigenen Rechte am LoRaWAN Netz	Anmeldung des Netzes bei BNetzA falls kommerziell und öffentlich genutzt
Volle Kontrolle bei Erweiterung oder Verkleinerung des Netzes, keine Vertragsbindung	Überwachung des Dutycycles, unklare Rechtslage und Verpflichtungen
Kein Umbau der Technik nötig (z.B. Wechsel des GSM)	

Tabelle 1 Vor- und Nachteile des Eigenbetriebes eines LoRaWAN Funknetzes

11 Kostenmodell

Im Folgenden werden die **Projektausgaben und Folgekosten** so detailliert wie möglich aufgeschlüsselt, um anderen Kommunen die Möglichkeit zu geben, einzuschätzen, mit welchen Kosten sie bei der Umsetzung eines eigenen LoRaWAN-Projekts rechnen müssen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es selbstverständlich Preisschwankungen geben kann und es häufig sowohl günstigere als auch teurere Optionen gibt. Der Preis hängt i.d.R. stark vom Umfang der Leistung und der Qualität ab.

11.1 Projektkosten

Zu den für das Delbrücker Projekt eingeplanten Projektkosten gehörten die folgenden Ausgabenpositionen:

- Dienstleistungskosten regio iT
- Betriebskosten
- Hardwarekosten (Gateways, Sensoren, Aktoren)
- Marketingkosten
- Kleinmaterial
- Personalkosten Delbrück

Hierzu finden sich in den folgenden (Unter-)Kapiteln nähere Ausführungen. Die Ausgabenposition Marketingkosten wird nicht behandelt, da es sich um eine primär optionale Ausgabe handelt.

11.1.1 Dienstleistung regio iT

Die regio IT bot im Rahmen dieses Projekts eine umfassende Projektbegleitung an. Folgende Tätigkeiten führte die regio iT gemeinsam mit dem Projektteam im Rahmen der Beauftragung durch.

- Projektmanagement
 - o Durchführung von wöchentlichen Abstimmungsterminen (Telefonkonferenz bzw. Skype) / Jour Fix
 - o lfd. Projektcontrolling anhand der Budget- und Maßnahmenplanung
 - o Koordination und Abstimmung der Arbeitspakete
- Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit
 - o Teilnahme an bzw. Vortrag auf Digitalisierungskonferenzen zu Repräsentationszwecken
 - o Verfassen von Presseberichten, Organisation und Moderation von Pressekonferenzen
 - o Bereitstellung von Open Data durch Konfiguration von Schnittstellen der IoT Plattform
 - o Konzeption, Entwicklung und Betrieb des City Dashboards
- Ausbau der Netzabdeckung
 - o Bedarfsanalyse und Konzeption des Netzausbaus inkl. Standortsimulationen
 - o Gateway-Standortanalyse vor Ort
 - o Erstellung der technischen Dokumentation und Anforderungsmanagement
 - o Unterstützung bei der Hardwarebeschaffung
 - o Unterstützung Gateway-Rollout
 - o Netzabdeckungstest inkl. Netzabdeckungskarte
- Rollout der Anwendungsfälle

- Hardware Anforderungsermittlung für jeden Usecase und Dokumentation
- Software Anforderungsermittlung und Dokumentation
- Unterstützung bei der Beschaffung (Erstellung Anforderungskatalog und Bewertungsschema für die Ausschreibungen, Unterstützung bei Auswertung und Anbietersauswahl)
- Onboarding der Sensoren und Unterstützung bei der Sensorkonfiguration
- Unterstützung beim Hardware-Rollout
- Erprobung, Begleitung und Übergabe aller Usecases
- Weiterentwicklung der Visualisierungsplattform
 - Anforderungsermittlung und Dokumentation
 - Erstellung Softwarekonzept
 - Implementierung
 - Softwarerelease
- Individuelle Systemanforderungen
 - Anforderungsermittlung und Dokumentation
 - Erstellung Softwarekonzept
 - Koordination externer Dienstleistender
 - Umsetzung von Testanbindungen externer Systeme
 - Überführung der Testanbindungen auf Produktivsysteme
- Entwicklung eines Betreiber- und Kostenmodells
 - Analyse Rechte, Pflichten und Rollen der/des Netzbetreibenden
 - Kosten- und Erlösanalyse
 - Definition von essentiellen Prozessen für den Netzbetrieb
 - Konzeptionierung eines Gesamtmodells
- Schaffung eines öffentlichen Netzes
 - Anforderungsermittlung und Dokumentation
 - Erstellung eines technischen Konzepts
 - Umsetzung des Konzepts und Begleitung der Erprobung
- Roaming und Kollaboration mit Netzbetreibenden
 - Koordination der Termine mit KooperationspartnerInnen
 - Anforderungsermittlung und Dokumentation
 - Konzepterstellung und Dokumentation
- Datenerfassung per „Fly-by-Drohne“ bzw. mobilem Gateway
 - Erstellung eines Testkonzepts
 - Datenauswertung
- Übertragbarkeit sicherstellen
 - Erarbeitung eines Konzepts zur Sicherstellung der Übertragbarkeit
 - Projektdokumentation

Wie sich die Aufwände auf die einzelnen Arbeitspakete aufteilen ist in Abbildung 29 ersichtlich.

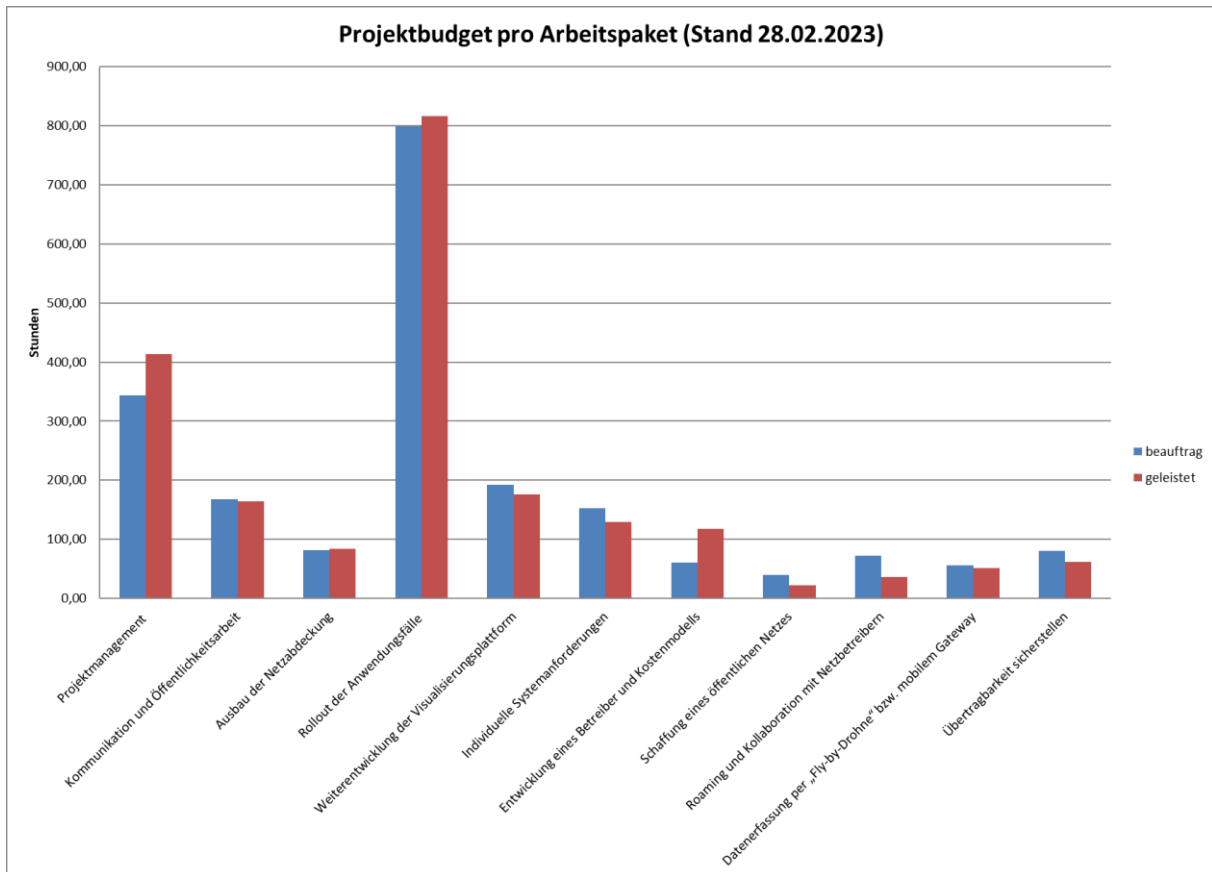


Abbildung 29 Verteilung der Aufwände der regio iT auf alle Arbeitspakete

11.1.2 Betriebskosten

Die Stadt Delbrück zahlte während der Projektlaufzeit einen vergünstigten Betriebskostenpreis für IoT Plattform und e2watch. Dieser Preis kann aus Wettbewerbsgründen hier nicht offengelegt werden. Grundsätzlich sollten im Rahmen von Projekten mit Pilotcharakter dem Plattformbetreiber gegenüber argumentiert werden, dass es bei solchen komplexen Projekten zu technischen Unwägbarkeiten kommen kann und die Plattformen im Rahmen des Projektes vorerst nicht produktiv eingesetzt werden. Da alle Anwendungen bis Projektende einen Pilotcharakter haben, kann dies durchaus eine Möglichkeit sein, vergünstigte Betriebspreise zu erwirken.

11.1.3 Netzaufbau: Gateways, Montage und Kleinmaterial

Wie teuer und aufwendig der Netzaufbau in einer Kommune wird bzw. welche Anzahl an Gateways erforderlich ist, hängt von mehreren Faktoren ab, zum Beispiel:

Welche Fläche soll / muss von dem Funknetz abgedeckt werden?

Als Referenz: die Stadt Delbrück hat eine Fläche von 157 km² und rund 20 Gateways installiert.

Soll eine Tiefendurchdringung (in die Keller der Gebäude) erreicht werden?

Mit den rund 20 Gateways erreicht die Stadt Delbrück in den meisten Liegenschaften eine gute **Tiefendurchdringung** und kann somit auch die Zählerdaten von z.B. Wasser- und Stromzählern auslesen.

Wie ist die topografische Lage?

In einer hügeligen / bergigen Landschaft wird das Funksignal sehr wahrscheinlich weniger weit reichen, weshalb mehr Gateways installiert werden müssten. Insbesondere kurvige Flusstäler stellen eine große Herausforderung dar. Auch die Bebauungsdichte spielt eine wichtige Rolle. Theoretisch haben LoRaWAN-Gateways eine Reichweite von **1 km im Stadtgebiet** und bis zu 15 km in flachen ländlichen Gebieten.

Höhe der Gatewaystandorte

Hier gilt: Je höher, desto besser – jeder Meter zählt. Durch den Einsatz von **Mastenverlängerungen** können ca. 2-6 Meter an Höhe und somit auch eine Verbesserung der Funkreichweite erzielt werden. Grundsätzlich gibt es aber zwei Strategien:

1. Suche nach den optimalen, möglichst hohen Gatewaystandorten (wenige aber dafür ggf. schwerer zu erschließende Standorte) oder
2. Nutzung von allem was zur Verfügung steht (i.d.R. deutlich mehr Standorte nötig aber dafür einfacher zu erschließen)

Fallen ggf. Kosten an, weil Gateways an nicht-stadteigenen Gebäuden montiert werden?

Die Stadt Delbrück hat alle Gateways an städtischen Liegenschaften (Schulen, KiTas, Rathaus etc.) montiert und zahlt somit keine **Standortmieten**. Auch müssen daher keine Strompauschalen an die/den Gebäudeeigentümer/in gezahlt werden (Hinweis: die Menge des verbrauchten Stroms ist sehr gering und beläuft sich auf wenige Euro im Jahr; i.d.R. ist der Aufwand diese Kosten in Rechnung zu stellen höher, als die Kosten für den Strom selbst). In fremden Gebäuden ist darüber hinaus ggf. die Installation eines separaten Stromzählers erforderlich.

Wird ein/e Dienstleister/in mit (Teilen) der Arbeit betraut?

Im LoRaWAN Projekt der Stadt Delbrück wurde sich dafür entschieden, einen externen Dienstleister (regio iT GmbH) in den Netzaufbau einzubeziehen. Dieser hat u.a. bei der Auswahl der geeignetsten Standorte und Simulation der Funkreichweite mit seiner **Expertise** unterstützt. Im Pilotprojekt war die regio iT zudem damit beauftragt, die Gateway Montage (drei Gateways) und einen anschließenden Netzabdeckungstest durchzuführen. Diese Tätigkeiten wurden im Folgeprojekt durch stadteigene Mitarbeitende ausgeführt.

Muss eine externe Firma beauftragt werden, einen Blitzschutz anzubringen?

Diese Arbeiten konnten bei der Stadt Delbrück durch stadteigenes Personal durchgeführt werden.

Ist am Gatewaystandort ein Strom- und idealerweise ein kabelgebundener Internetanschluss vorhanden? Welchen Aufwand bedeutet es, diesen herzustellen?

LoRaWAN Gateways lassen sich in der Regel über das sogenannte Power over Ethernet (POE) mit Strom versorgen. Darauf sollte beim Kauf der Gateways geachtet werden. Auf diese Weise muss am Gateway-Standort lediglich ein POE fähiger **Ethernet-Anschluss** bereitgestellt werden. Der Aufwand zur Bereitstellung eines solchen kann nur schwer abgeschätzt werden, da es davon abhängig ist, wo in Relation zum eigentlichen Gatewaystandort ein Interzgang und eine Stromquelle vorhanden ist. In der Regel müssen hierfür durch geeignete TechnikerInnen ggf. Strom- und Ethernet-Kabel verlegt werden. Insbesondere **Durchgänge durch Dächer oder Außenwände** können hier die Aufwände schnell in die Höhe treiben. Man sollte hier pro Standort von einem Kostenbereich von 500 bis 2.000 € ausgehen (2.000 € ist sicherlich nicht unbedingt das Maximum, sollte aber extrem selten sein).

Wer darf den Gatewaystandort betreten?

Für die Sicherstellung des laufenden Netzbetriebs, ist es zuweilen erforderlich, dass die dafür zuständigen Mitarbeitenden Zutritt zum Gatewaystandort haben. Hierbei ist neben möglichen **Zutrittsbeschränkungen**, einer eventuellen Schlüsselvergabe bzw. Öffnungszeiten zu berücksichtigen, ob geklettert werden muss, um das Gateway zu erreichen. Besonders hervorzuheben sind hier Schornsteine, Masten oder Türme, die zwar die Funkreichweite erhöhen, aber den physischen Zugriff erschweren können.

Die **Kosten für ein Outdoor-Gateway** können bei rund 600 € netto liegen. Ein **Indoor-Gateway** gibt es beispielsweise für ca. 300 € netto. Wenn man sich für den Einsatz von Mastenverlängerungen entscheidet, sollten rund 120 € brutto pro Teleskopmast eingeplant werden. Zu den Kosten für die Anbringung des Blitzschutzes können keine Erfahrungswerte geteilt werden, da dies durch stadteigenes Personal durchgeführt wurde.

Neben diesen Kostenpunkten sollte berücksichtigt werden, dass **weitere Kleinmaterial** für die Installation der Gateways erforderlich sein könnte, u.a.:

- Rohrschellen
- Dachpfannen
- Kabelbinder
- Netzkabel
- Schrauben, Muttern

Was den **personellen Aufwand** angeht, muss Zeit für die Festlegung, Analyse und Vorbereitung der Gateway Standorte eingeplant werden. Folgende Aktivitäten zur Standortsuche und Analyse sind sinnvoll:

- Erstellung einer Liste aller potentieller Standorte
- Simulation der Funkreichweite und Auswahl der geeignetsten Standorte
- ggf. stichprobenartige Reichweitenkontrolle durch temporären Aufbau eines Gateways an den Standorten
- Standortbegehung zur Überprüfung der örtlichen Gegebenheiten (siehe Kapitel 14.1 Checkliste Gatewaystandortbegehungen)
- Einholung von Angeboten bei ElektrikerInnen und MonteurInnen (falls benötigt)

11.1.4 Investition: Sensoren, Aktoren, Zähler

Die Kosten der einzelnen Sensoren sind derart unterschiedlich, dass eine pauschale Aussage nicht möglich ist. Die Sensoreinzelpreise können **zwischen 30 € und 3.000 €** (und aufwärts) liegen. Um zumindest einen groben Überblick zu ermöglichen, enthält die folgende Tabelle die im Delbrücker LoRaWAN-Projekt in Einsatz gebrachten Sensoren mit ihrem Brutto-Einkaufspreis zum Zeitpunkt der Beschaffung. Die Preise der Sensoren hängen stark von Qualität und gekaufter Anzahl ab. Bei Mengen im 3-stelligen Bereich ist mit starken **Preisnachlässen** zu rechnen. Je nach Einsatzzweck können **Kompromisse in der Qualität** eingegangen werden, je nachdem, was für Anforderungen an Haltbarkeit, Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit und Verarbeitung gestellt werden.

Art des Sensors	Sensorbezeichnung	Sensorkosten
Wireless mBus Bridge	WM-Bus zu LoRaWAN Bridge 868 MHz Lobaro	177 €
Energiezähler für SML Schnittstelle	LoRa KLAX IR-Interface IP21 for mME 868	114 €
Smartplug	Energy Meter Plug L868 mcf LW12PLG	160 €
Wasserventil	LORA SMART VALVE 868MHz	442 €
Ultraschallsensor	LoRa Ultraschall Füllstandssensor Tek766	147 €
druckbasierter Pegelmessungssensor	I2C to LoRaWAN L868 Lobaro	520 €
Dry Contacts	nke WATTECO Digital I/O Adapter In'O	148 €
Analogsensor	nke WATTECO Analog Adapter Press'O	116 €
Raumtemperatursensor mit einer Messspitze	LoRa Temperatursensor 868 TYP ARF8180BA	155 €
Raumtemperatursensor mit zwei Messspitzen	LoRa Temperatursensor 2S 868 ARF8180BA2	196 €
Tür- und Fensterkontaktsensor	LORA TÜR- FENSTERKONTAKT TBDW100-868	28 €
Bewegungs- und Lichtsensor	LORA RAUMSENSOR Elsys ERS L868	98 €
Rauchmelder	RWM EASY PROTECT RADIO L DV	36 €
Leckagesensoren	Water Leak Sensor (2x) L868 netvox R311W	72 €
Parkplatzsensoren	Parksensor LoRaWAN 868 BOSCH IP67	225 €
Luftgütesensoren	Libelium Smart Environment	2.976 €
Personenzähler	Kerlink Wanesy Wave (PAX)	129 €
Schwefelwasserstoffmessung	Libelium Smart Environment Pro	1.103 €
Wetterstation	MCF88 LWWS01	2.862 €
Impulszähler	LoRa Impuls Adapter 3K Sens'O IP68 NKE	137 €
CO2 Sensoren	LoRa Multi-Raumsensor ERS CO2 868	218 €
Luftfeuchtesensoren	Decentlab SHT-35	900 €
Drucksensor	VEGABAR 28	281 €

Tabelle 2 Eingekaufte Sensorik inkl. Kostenangabe

Es ist neben der Erstbeschaffung von Hardware auch zu bedenken, dass Kosten für den **Austausch** bzw. **Ersatz** von Batterien und / oder Hardware anfallen werden.

11.1.5 Personalkosten Delbrück

Um das umfangreiche Förderprojekt „LoRaWAN 2.0“ erfolgreich durchführen zu können, hatte die Stadt Delbrück insgesamt **sechs Mitarbeitende** mit jeweils unterschiedlichen Stellenanteilen für das Projekt bei der / beim Fördergeber/in angemeldet:

Projektmitarbeitende	Stellenanteil
Projektleitung	0,34
Stellvertretende, technische Projektleitung	0,25
Elektroniker	0,92
Mitarbeiter Wasserwerk	0,05
Mitarbeiter Abwasserwerk	0,05
Hausmeister Gesamtschule	0,14

GESAMT	1,75
--------	------

Tabelle 3 Stellenanteile der Projektmitarbeitenden

Im Verlauf des Projektes hat sich gezeigt, dass es zeitweise mehr und auch weniger für die verschiedenen Rollen zu erledigen gab. Beispielsweise konnten die Mitarbeiter vom Wasser- und Abwasserwerk erst richtig tätig werden, als die Sensorik geliefert wurde. Für die Zeit nach Projektende wurde geschätzt, dass der Elektroniker mit einem Stellenanteil von 0,33 VZÄ weiter für den Betrieb des Netzes und der Anwendungsfälle verfügbar bleiben muss. Inwiefern dies realistisch kalkuliert wurde, wird sich zeigen.

Zu berücksichtigen ist bei der Beurteilung der Stellenanteile, dass dies alle Arbeiten im Projekt umfasste, somit auch Arbeitspakete wie Schaffung eines öffentlichen Netzes, Roaming und Kollaboration mit Netzbetreibern und Datenerfassung per „Fly-by-Drohne“. Diese sind standardmäßig nicht Teil eines kommunalen LoRaWAN-Projekts und **verzerrten** daher auf gewisse Weise den **Umfang an Stellen**, die benötigt werden. Außerdem wurden Stunden, die vereinzelt bei Personen außerhalb dieser Personengruppe für das Projekt anfielen, nicht erfasst. So leisteten Mitarbeitende aus anderen Fachbereichen, z.B. Öffentlichkeitsarbeit, Ordnungsamt und Klimaschutz, Zuarbeit.

11.2 Folgekosten

Bei der Entwicklung des Betreibermodells (siehe Kapitel 10) kristallisierte sich heraus, bei welchen Aspekten des Projektes Folgekosten entstehen bzw. laufende Kosten weiter anfallen werden. In den folgenden Unterkapiteln werden hierzu Ausführungen gemacht. Auf die bei der Stadt Delbrück voraussichtlich anfallenden Personalaufwände (Elektroniker: 0,33 VZÄ) wird an dieser Stelle nicht nochmal separat eingegangen.

11.2.1 IoT-Plattform und Visualisierungsplattform

Die Stadt Delbrück bedient sich für die Durchführung ihres LoRaWAN Projektes der IoT-Plattform „ELEMENT“ der regio iT sowie deren Visualisierungslösung „e2watch“. Da die Kosten **kundenabhängig** ermittelt werden und von der Größe der Kommune sowie der Anzahl der eingesetzten Sensoren und Zähler abhängig ist, können an dieser Stelle keine Einrichtungs- und Betriebskosten genannt werden. Bei Interesse an der Lösung der regio iT GmbH, kann sich gerne an vertrieb@regioit.de gewandt werden.

Der Betrieb der Applikationen umfasst dabei eine **monatliche Nutzungsgebühr** inklusive Anteile für Applikationsbetrieb, Support und Softwarepflege. Zudem sind **Lizenzkosten** für Devices enthalten.

11.2.2 Sonstige Betriebskosten

Die sonstigen Betriebskosten umfassen alle Betriebskosten, die nicht durch die in Kapitel 11.2.1 genannten Komponenten abgedeckt sind. Die Stadt Delbrück hat sich entschieden keinen externen Dienstleister zu beauftragen, weshalb hier nur mit **Schätzwerten** gearbeitet werden konnte, die bestimmten Annahmen und einer gewissen Unsicherheit unterliegen, weshalb sie an dieser Stelle nicht veröffentlicht werden. Im Folgenden werden jedoch die für die Abschätzung herangezogenen Aspekte beschrieben.

11.2.2.1 *Sensorbetriebskosten*

Bei der Schätzung sollten Batteriekosten, Aufwand für den Wechsel der Batterien, Wartungskosten sowie Kosten für mögliche Ersatzbeschaffungen berücksichtigt werden.

In diesem Zuge wurden Sensorausfälle analysiert und tabellarisch erfasst. So konnten alle im Rahmen der Projektlaufzeit ausgefallenen Sensoren kategorisiert (Defekt, Neustart, Vandalismus, Batteriewechsel) werden und eine erste Abschätzung der Zuverlässigkeit erstellt werden. Da viele Sensoren aufgrund des laufenden Rolloutprozesses zum Zeitpunkt der Analyse erst wenige Monate im Einsatz waren, ergibt sich bisher leider noch ein **unvollständiges Bild**.

11.2.2.2 *Backhaulmonitoring*

Das Backhaulmonitoring umfasst im wesentlichen Firmwareupdates, 24/7 automatisierte Überwachung der Datenkommunikation, Meldung von Ausfällen, Störungen, Updates, Wartungen sowie Behebung von Störungen.

11.2.2.3 *Gatewaymonitoring*

Das Gatewaymonitoring umfasst im wesentlichen Firmwareupdates 24/7 automatisierte Überwachung der Datenkommunikation, Meldung von Ausfällen, Störungen, Updates und Wartungen sowie Behebung von Störungen und Austausch defekter Gateways.

12 Anwendungsfallbewertung

In diesem Kapitel wird eine umfangreiche und detaillierte Bewertung der Anwendungsfälle basierend auf den Kategorien **Kosten, Nutzen, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit** mit insgesamt 15 Kriterien vorgestellt.

Da eine Bewertung der Kosten und Nutzen enorm komplex ist und auf Basis zahlreicher Annahmen für Kostenschlüssel, Preisentwicklungen, Einsparungen, Wahrscheinlichkeiten und anderem beruht, wurde hier ein **qualitativer Ansatz** ausgewählt. Bei dieser Methode geht es nicht um eine quantitative Bewertung von Kosten und Nutzen, sondern um eine **Vergleichbarkeit** der Anwendungsfälle untereinander auf Basis standardisierter Kriterien. Dabei wird ein Punkteschema von 1 bis 5 für jedes Kriterium genutzt. Besonders hervorzuheben ist, dass es sich hier um eine subjektive Bewertung der Stadt Delbrück handelt, die **individuelle Gegebenheiten der Stadt** berücksichtigt. Die Bewertung kann daher nicht generalisiert werden und nicht ohne Rücksprache mit der Stadt Delbrück auf andere Kommunen übertragen werden. Abbildung 30 zeigt eine Auswertung in Bezug auf Kosten und Nutzen. Im Bereich Kosten wurden alle Kosten, welche für den Betrieb eines Anwendungsfalls zusätzlich anfallen (z.B. Hardwarekosten, Betriebskosten, Softwarekosten, Personalkosten) auf einer Skala von 1-5 bewertet. Im Bereich Nutzen wurde der monetäre Nutzen durch Personaleinsparung, Energieeinsparung oder Minderung von Schäden auf einer Skala von 1-5 bewertet, dabei wurde zusätzlich auch die Wahrscheinlichkeit bewertet, mit der eine Einsparung erzielt werden kann. Positiv ist, dass es **viele Anwendungsfälle mit großem Nutzen** gibt, teilweise gehen diese auch mit vergleichsweise niedrigen Kosten einher. Anwendungsfälle ohne offensichtlichen monetären Nutzen schneiden hier natürlich eher schlecht ab, können aber durchaus im kommunalen Kontext wichtig und interessant sein, da sie die Attraktivität einer modernen „Smart City“ erhöhen.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden

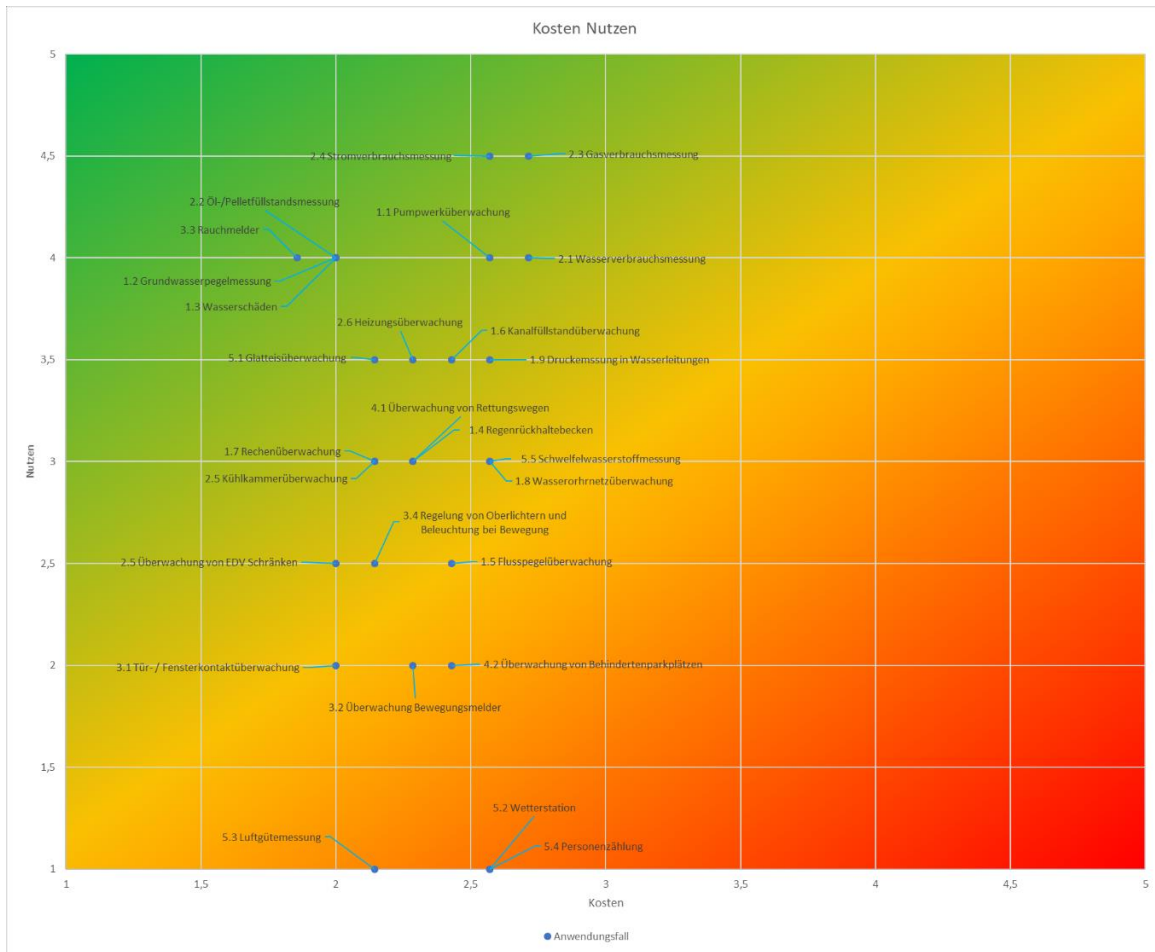


Abbildung 30 Auswertung in Bezug auf Kosten und Nutzen. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.

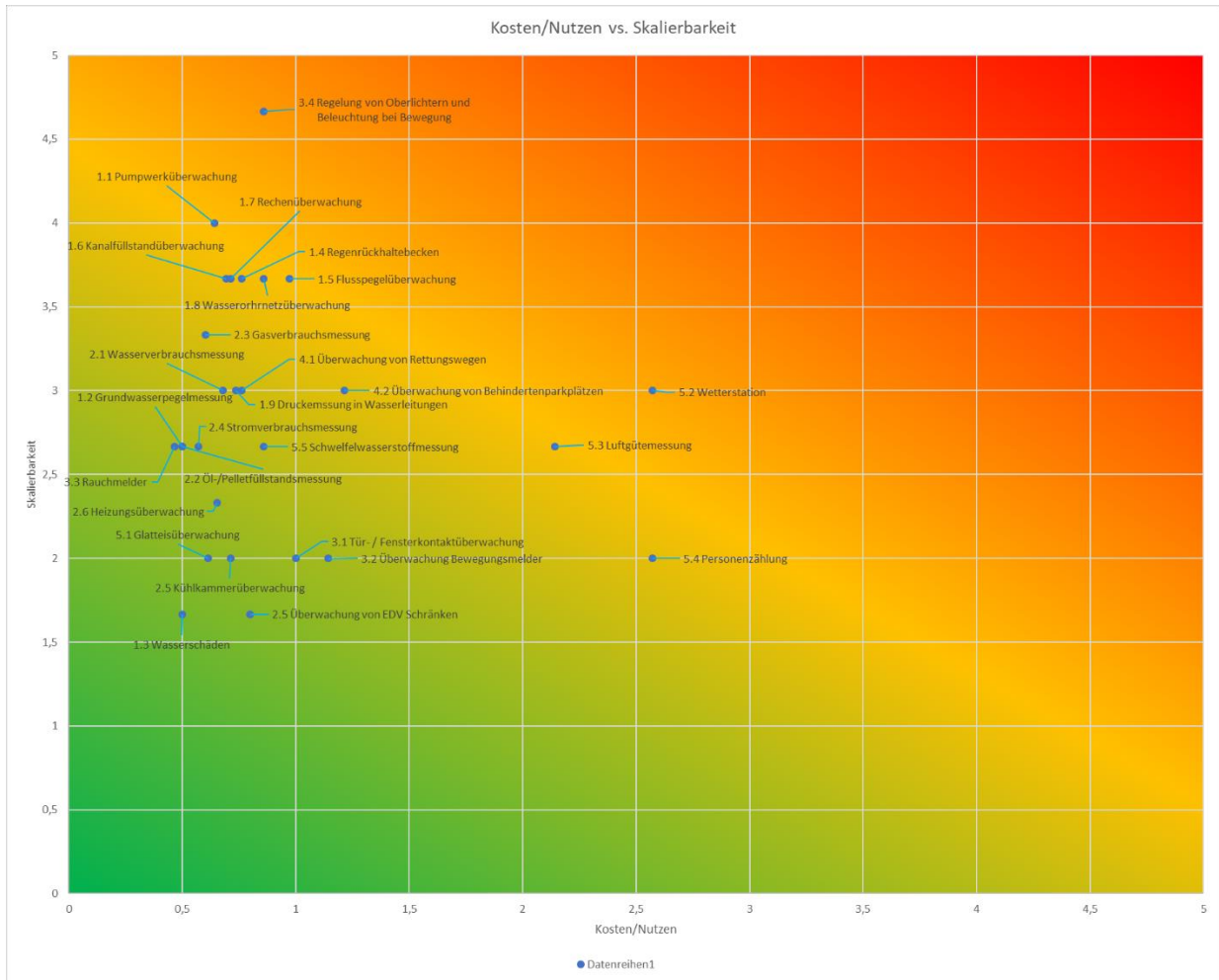


Abbildung 31 Auswertung in Bezug auf Kosten/Nutzen vs. Skalierbarkeit. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.

Abbildung 31 zeigt das Kosten/Nutzen Verhältnis im Vergleich zur **Skalierbarkeit**. Die Skalierbarkeit bewertet im Wesentlichen, wie gut sich ein Anwendungsfall im großen Maßstab ausrollen lässt. Positiv wirken sich hier Faktoren wie einfache Integration der Daten oder einfache Sensorinstallation aus. Auch hier ist positiv zu bewerten, dass es zahlreiche Anwendungsfälle mit einem guten Kosten/Nutzen Verhältnis gibt, welche auch gut skalierbar sind.

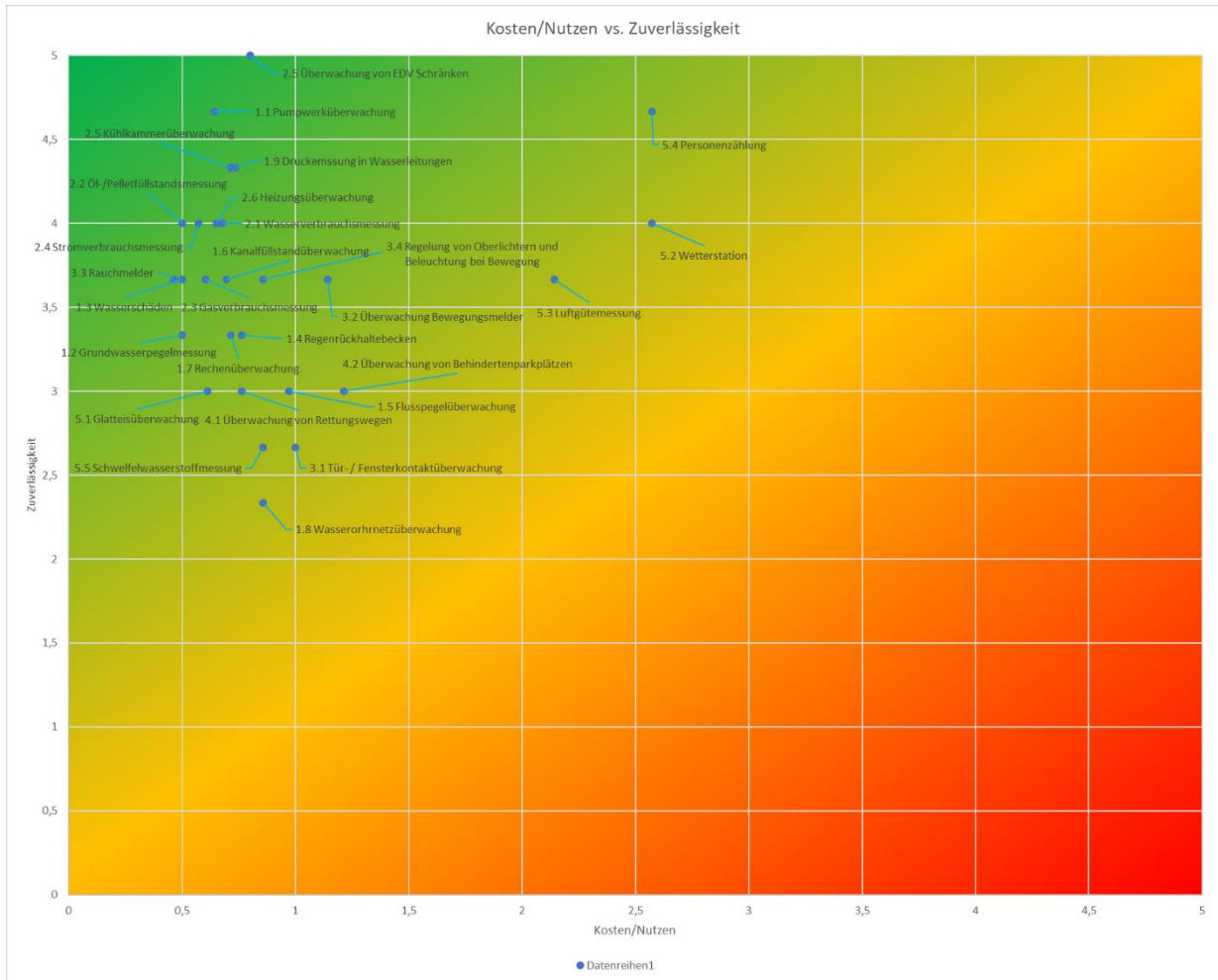


Abbildung 32 Auswertung in Bezug auf Kosten/Nutzen vs. Zuverlässigkeit. Die Farbskala zeigt an, ob ein Anwendungsfall eher gut (Grün) oder schlecht (Rot) zu bewerten ist.

Abbildung 32 zeigt das Kosten/Nutzen Verhältnis im Vergleich zur **Zuverlässigkeit**. Die Zuverlässigkeit bewertet Faktoren wie Sensorqualität oder erwartete Batterielebensdauer aber auch externe Einflüsse wie Witterung oder Vandalismus. Alle Kriterien im Bereich Zuverlässigkeit müssen dabei mit Vorsicht genossen werden, da bisher nur **wenig Erfahrungswerte über lange Zeiträume** vorliegen. Auffällig, aber nicht verwunderlich ist, dass insbesondere Anwendungsfälle mit Sensoren, welche im öffentlichen oder der Witterung ausgesetzten Bereich installiert werden müssen, tendenziell mit einer geringeren Zuverlässigkeit bewertet wurden.

Stadt Delbrück – LoRaWAN 2.0 – Übertragbarkeitsleitfaden

Name	Einsparpotential	Wahrscheinlichkeit	Nutzen	Hardwarekosten	Plattformkosten	Wartungskosten	Standortkosten	Sensorenanzahl	Übertragungskosten	Personalressourcen	Kosten	Kosten*Nutzen	Installationsaufwand	Individ. Datenerfassung	Systemintegration	Skalierbarkeit	Diebstahl/Vandalismusrate	Ausfallrate	Batterielebensdauer	Zuverlässigkeit
1.1 Pumpwerküberwachung	4	4	4	3	4	2	1	4	3	1	2,6	0,6	4	4	4	4	5	4	5	4,7
1.2 Grundwasserpegelmessung	3	5	4	3	4	2	1	1	2	1	2	0,5	2	3	3	2,7	3	4	3	3,3
1.3 Wasserschäden	5	3	4	1	3	1	1	4	3	1	2	0,5	1	2	2	1,7	4	4	3	3,7
1.4 Regenrückhaltebecken	4	2	3	2	3	3	1	2	3	2	2,3	0,8	4	4	3	3,7	4	3	3	3,3
1.5 Flusspegelüberwachung	4	1	2,5	2	4	4	1	2	3	1	2,4	1,0	5	3	3	3,7	2	3	4	3,0
1.6 Kanalfüllstandüberwachung	4	3	3,5	3	3	3	1	3	3	1	2,4	0,7	5	3	3	3,7	5	2	4	3,7
1.7 Rechenüberwachung	3	3	3	3	3	2	1	2	3	1	2,1	0,7	5	3	3	3,7	3	3	4	3,3
1.8 Wasserrohrnetzüberwachung	4	2	3	4	3	3	1	2	3	2	2,6	0,9	5	3	3	3,7	2	4	1	2,3
1.9 Druckmessung in Wasserleitungen	3	4	3,5	3	3	1	1	3	3	4	2,6	0,7	5	2	2	3	5	5	3	4,3
2.1 Wasserverbrauchsmessung	4	4	4	3	3	1	1	4	3	4	2,7	0,7	3	3	3	3	4	4	4	4,0
2.2 Öl-/Pelletfüllstandsmessung	3	5	4	2	3	1	1	3	3	1	2	0,5	2	3	3	2,7	5	4	3	4,0
2.3 Gasverbrauchsmessung	5	4	4,5	3	3	1	1	4	3	4	2,7	0,6	3	3	4	3,3	3	4	4	3,7
2.4 Stromverbrauchsmessung	5	4	4,5	2	3	1	1	4	3	4	2,6	0,6	1	3	4	2,7	4	4	4	4,0
2.5 Kühlkammerüberwachung	4	2	3	3	3	1	1	3	3	1	2,1	0,7	3	3	0	2	5	4	4	4,3
2.6 Heizungsüberwachung	3	4	3,5	2	3	1	1	3	3	3	2,3	0,7	1	3	3	2,3	5	4	3	4,0
3.1 Tür- / Fensterkontaktüberwachung	2	2	2	1	3	1	1	4	3	1	2	1,0	1	2	3	2	2	3	3	2,7
3.2 Überwachung Bewegungsmelder	2	2	2	2	3	1	1	3	3	3	2,3	1,1	1	2	3	2	3	4	4	3,7
3.3 Rauchmelder	3	5	4	1	3	1	1	3	3	1	1,9	0,5	3	2	3	2,7	2	5	4	3,7
3.4 Regelung von Oberlichtern und Beleuchtung bei Bewegung	1	4	2,5	2	3	2	1	3	3	1	2,1	0,9	5	5	4	4,7	5	4	2	3,7
4.1 Überwachung von Rettungswegen	5	1	3	2	3	3	1	3	3	1	2,3	0,8	4	3	2	3	3	3	3	3,0
4.2 Überwachung von Behindertenparkplätzen	1	3	2	2	4	3	1	3	3	1	2,4	1,2	4	3	2	3	3	3	3	3,0
5.1 Glatteisüberwachung	4	3	3,5	2	3	2	1	3	3	1	2,1	0,6	2	2	2	3	3	3	3	3,0
5.2 Wetterstation	1	1	1	4	4	3	1	2	3	1	2,6	2,6	5	2	2	3	3	4	5	4,0
5.3 Luftgütemessung	1	1	1	3	3	1	1	3	3	1	2,1	2,1	4	2	2	2,7	3	3	5	3,7
5.4 Personenzählung	1	1	1	2	3	3	1	2	3	4	2,6	2,6	1	3	2	2	5	4	5	4,7
5.5 Schwefelwasserstoffmessung	3	3	3	4	3	3	1	2	3	2	2,6	0,9	4	2	2	2,7	5	2	1	2,7
2.5 Überwachung von EDV Schränken	3	2	2,5	2	3	1	1	3	3	1	2	0,8	1	2	2	1,7	5	5	5	5,0

5 Großer Nutzen 1 Geringe Kosten 1 Gut skalierbar 5 Zuverlässig
1 Geringer Nutzen 5 Hohe Kosten 5 Schlecht skalierbar 1 Nicht zuverlässig

Tabelle 4 Ergebnisse der Anwendungsfallbewertung in Tabellenform

Tabelle 4 zeigt alle Ergebnisse der Bewertung im Detail. Die folgenden Unterkapitel befassen sich mit den einzelnen Anwendungsfällen.

12.1 Pumpwerküberwachung

Mit Hilfe geeigneter Sensorik wird die Stromaufnahme von Abwasserpumpen gemessen. Diese Pumpen sind in sogenannten Abwasserhebeanlagen verbaut und fördern das Abwasser in höhere Abwassernetzebenen. In der Stadt Delbrück werden insgesamt 40 Pumpwerke betrieben – sechs große, 16 mittlere und 24 kleine.

Auch verschiedene Störmeldungen wie Stromausfall, Überstau oder Motorenschutz werden erfasst. Ziel ist es, **frühzeitig Störungen der Pumpen zu erkennen** und diese schneller beheben zu können. Auf Basis der Stromaufnahme können zukünftig auch Predictive-Maintenance Ansätze erprobt werden, da sich bestimmte Defekte in Form höherer Stromverbräuche im Vorfeld erkennen lassen.

Der Nutzen dieses Anwendungsfalls sowie die Zuverlässigkeit werden als sehr gut bewertet. Die Skalierbarkeit hingegen wird als eher gering bewertet, da geschultes Fachpersonal für die Sensorinstallation benötigt wird. Zudem werden die Daten in das Prozessleitsystem des Abwasserwerks integriert, was zusätzlichen Aufwand verursacht.

12.2 Grundwasserpegelmessung

Bei der Grundwasserpegelmessung werden mit Hilfe von Drucksonden die Grundwasserpegel überwacht. Eine solche Überwachung ist **verpflichtend** für Kommunen. Die Stadt Delbrück verfügt über insgesamt rund 100 Grundwasserpegelmessstellen.

Der Nutzen wird hier als sehr gut bewertet, da der Wegfall von händischen Ablesungen zu großen personellen Einsparungen führen kann. Darüber hinaus sind aufgrund der größeren Messwertdichte zusätzlich Analysen möglich, was insbesondere in Neubaugebieten von großem Interesse sein kann. Die Skalierbarkeit und die Zuverlässigkeit werden als mäßig gut bewertet. Der Einbau der Sonden erfordert geschultes Personal, zudem sind die Sonden der Witterung ausgesetzt und lassen sich nicht ohne Weiteres gegen Vandalismus schützen.

12.3 Wasserschäden

Überwachung von Wasserschäden ist ein Beispiel für einen günstigen, schnell umzusetzenden Usecase mit guter Skalierbarkeit. Der Einbau der günstigen **Leckagesensoren** erfordert keine besondere Unterweisung. Die Daten erfordern keine aufwändige Integration. Auch der Nutzen ist tendenziell gut bewertet, da ungeplanter Wasseraustritt potenziell große Schäden verursachen kann und dies auch regelmäßig auftritt. Um Wasseraustritt zuverlässig erkennen zu können und das Potential des Anwendungsfalls ausnutzen zu können, ist jedoch eine **sehr große Anzahl** an Sensoren notwendig.

Ergänzt werden kann der Anwendungsfall durch **Wasserventile**, die in die Wasserleitungen eingebaut werden. Mithilfe der LoRaWAN Technologie lässt sich konfigurieren, dass das Wasserventil automatisch zufährt, wenn ein zugewiesener Leckagesensor Wasseraustritt meldet. Durch eine dahinter geschaltete Störmeldung kann dann die/der zuständige Mitarbeitende die Lage vor Ort begutachten und das Wasserventil wieder öffnen, falls es sich um einen „Fehlalarm“ gehandelt haben sollte. In jedem Fall kann aber ein größerer Wasserschaden vermieden werden.

12.4 Regenrückhaltebecken

Die Überwachung von Regenrückhaltebecken wurde mit Hilfe von Ultraschallsensoren umgesetzt. Ziel war es primär **Erkenntnisse im Starkregenfall** zu sammeln. Insbesondere das Verhalten, wie schnell sich ein Rückhaltebecken füllt und bei welchen Regenmengen es überhaupt benötigt wird, könnte wichtige Rückschlüsse über die notwendige Dimensionierung liefern. Kosten, Nutzen und Zuverlässigkeit dieses Anwendungsfalls werden insgesamt als moderat bewertet.

Es wurde entschieden diesen Anwendungsfall nach einer Erprobung jedoch nicht weiter auszurollen. Maßgeblich für diese Entscheidung war die Tatsache, dass die vorhandenen Becken groß genug angelegt sind und es somit (auf absehbare Zeit) nicht zu einer kritischen Situation / Überflutung kommen dürfte. Ein ausschlaggebender Mehrwert kann somit durch diesen Anwendungsfall nicht erzielt werden.

12.5 Flusspegelüberwachung

Die Flusspegelüberwachung liefert (nahezu) in Echtzeit Pegelwerte von fünf relevanten Gewässern rund um Delbrück. Mit Hilfe diese Daten sollen im **Starkregenfall** Schäden abgewendet werden. Aber auch die Auswirkungen der in Zukunft vermehrt erwarteten **trockenen Sommer** können mit Hilfe dieser Daten detaillierter analysiert werden.

Positiv bewertet wurden hier die geringen Kosten. Im Gegensatz dazu wird der Nutzen eher als moderat bewertet, da das Überschwemmungsrisiko in der Stadt Delbrück als eher niedrig angesehen wurde. Auch die Zuverlässigkeit wird als eher moderat bewertet, da die Sensoren der Witterung ausgesetzt sind und im Rahmen der Erprobung Probleme mit Verschmutzung beobachtet wurden, was einen erhöhten Wartungsbedarf nach sich zog. Die Skalierbarkeit wird generell als eher schlecht angesehen, da die Sensoren an schwer zugängliche Stellen installiert werden müssen.

Dieser Anwendungsfall weist jedoch mit Abstand **die meisten Integrationen in Fachanwendungen** auf (siehe Kapitel 7), was an dieser Stelle positiv hervorgehoben werden soll.

12.6 Kanalfüllstandüberwachung

Mit Hilfe geeigneter Sensorik sollte der Wasserpegel in Kanälen gemessen werden. Dies soll Aufschluss über die **Auslastung und Belastung bei Starkregenereignissen** geben, um gegebenenfalls Maßnahmen und Ausbaubedarf zu identifizieren. Die Daten können auch bei zukünftigen Kanalsanierungen oder bei Auslegungsrechnungen bei den Erweiterungen des Kanalnetzes genutzt werden. Außerdem sollte geprüft werden in wie weit sich die Pegelmessungen dazu eignen, **Verschmutzungen und Ablagerungen** im Kanal zu identifizieren.

Starkregenereignisse führen immer wieder zu einer Überlastung des Kanalnetzes. Der Ausbau des Kanalnetzes ist aufwändig und teuer, der Bau von überdimensionierten Kanälen ist zudem aufgrund der erhöhten Wartung unerwünscht.

Dieser Anwendungsfall wurde schließlich nicht umgesetzt, da spezielle Sensorik mit ATEX Schutz (= Sensorik, die für explosionsfähige Atmosphären geeignet ist) erforderlich war. Darüber hinaus hat sich in Gesprächen mit den zuständigen Mitarbeitenden für Kanalarbeiten herausgestellt, dass die regelmäßige Spülung der Kanäle ohnehin erfolge und man sich durch

die Datenerhebung in diesem Anwendungsfall keine nennenswerten zusätzlichen Erkenntnisse (im Verhältnis zum Aufwand) verspreche.

12.7 Rechenüberwachung

Mit Hilfe geeigneter Sensoren sollte festgestellt werden wie viel **Laub und Treibgut** sich vor einem Rechen angesammelt hat, um die Reinigung effektiv planen zu können und dadurch bedarfsgerechter zu gestalten.

Die Rechen sind am Übergang von Wassergräben in die Kanalisation montiert. Sie verhindern das Eindringen von größerem Treibgut in das Kanalsystem. Nach einer gewissen Zeit setzen sich diese Rechen zu und können so bei Starkregen für **lokale Überschwemmungen** sorgen, da das Wasser nicht mehr in ausreichender Menge in den Kanal fließen kann. Die Kontrolle der Rechen ist zeitaufwändig und oft nicht sehr effektiv, da keine Informationen über die Menge des angesammelten Treibguts vorliegen. Bei regelmäßigen Kontrollen werden also oft Standorte angefahren, die keine Reinigung erfordern.

Im Rahmen des Projekts wurde an einer Stelle im Stadtgebiet die Rechenüberwachung umgesetzt. Im Ergebnis hat dies aber nicht den erhofften Nutzen gestiftet, weshalb entschieden wurde, es bei dieser einen Stelle zu belassen und nicht weiter auszurollen. Darüber hinaus wird ohnehin zeitnah die besagte Stelle umgebaut, sodass das Wasser bei übertretendem Wasserpegel auf ein anliegendes Feld statt die Fahrbahn umgeleitet wird.

12.8 Wasserrohrnetzüberwachung

Durch den Einbau geeigneter Sensortechnik sollte in diesem Anwendungsfall die Feststellung von **Druck und Durchflussmengen** zur frühzeitigen Erkennung von Leckagen ermöglicht werden. Leckagen im Wasserrohrnetz bleiben oft unerkannt und führen neben finanziellen Schäden durch Wasserverlust auch zu baulichen Schäden, falls das austretende Wasser den Untergrund ausspült. Für das Wasserwerk ist es zudem hilfreich zu ermitteln, welche Wassermengen in welche Ortsteile abfließen.

Dieser Anwendungsfall konnte letztlich nicht umgesetzt werden, da die notwendige Einigung bezüglich der einzusetzenden Hardware mit den zuständigen Personen nicht herbeigeführt werden konnte.

12.9 Wasserverbrauchsmessung

Mit Hilfe von Wasserzählern sollte der Wasserverbrauch in kommunalen Liegenschaften erfasst werden. Die Daten lassen sich vielfältig verwenden, insbesondere jedoch um **Einsparungen** durch das Erkennen und Abstellen von Fehlverbräuchen und Leckagen zu ermöglichen.

Der Nutzen wird daher als groß bewertet. Das volle Potential kann jedoch nur bei Einsatz geschulter **Energiemanager** ausgeschöpft werden. Die Kosten sind insgesamt moderat, jedoch können möglicherweise schwer zu kalkulierende Aufwände für Zählerwechsel anfallen. Mit möglichen Zählerwechseln kann auch die Skalierbarkeit leiden, da der Aufwand für die Koordination von Zählerwechseln durch die/den zuständige/n Messstellenbetreibende/n ebenfalls schwer abschätzbar ist. Die Zuverlässigkeit wird als gut bewertet, da hier bewährte Zählertechnik eingesetzt wird und alles in nicht öffentlich zugänglichen Bereichen verbaut wird.

12.10 Ölfüllstandsmessung

Umgesetzt wurde die digitalisierte und automatisierte Überwachung von Öltanks, um den Verbrauch im Blick zu haben und rechtzeitig informiert zu werden, wenn Nachschub bestellt werden muss. Anhand von **automatisierten Meldungen** wird dem zuständigen Mitarbeiter mitgeteilt, welche Öltanks unter 40% bzw. 20% Füllmenge liegen. Dadurch kann der Mitarbeiter einen umfangreicheren **Beschaffungsauftrag** anstoßen und sich zudem an steigenden / sinkenden Ölpreisen orientieren.

Auch lassen sich durch die Datenerhebung der Verbrauch detaillierter analysieren und mögliche Fehler einer Heizung rechtzeitig erkennen.

Der Nutzen wird als groß bewertet, da Personalaufwand bei der Ablesung und bei der Beschaffung eingespart werden kann. Auch potenzielle Energieeinsparungen werden hier positiv bewertet. Die Kosten sind aufgrund einfacher Standardsensorik und anderen günstigen Faktoren sehr gering. Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit werden als sehr gut beziehungsweise gut bewertet. Der Einbau der Sensoren und die anschließende Datenverarbeitung erzeugen keine überdurchschnittlichen Aufwände. Die Sensoren sind keinen externen Einflüssen ausgesetzt.

12.11 Gasverbrauchsmessung

Mit Hilfe von Gaszählern sollte der Gasverbrauch in kommunalen Liegenschaften erfasst werden. Die Daten lassen sich vielfältig verwenden, insbesondere jedoch um Einsparungen durch das Erkennen von Fehlverbräuchen zu ermöglichen.

Der Nutzen wird daher als groß bewertet. Das volle Potential kann jedoch nur bei Einsatz geschulter **Energiemanager** ausgeschöpft werden. Die Kosten sind insgesamt moderat, jedoch können möglicherweise schwer zu kalkulierende Aufwände für Zählerwechsel anfallen. Mit möglichen Zählerwechseln kann auch die Skalierbarkeit leiden, da der Aufwand für die Koordination von Zählerwechseln durch die/den zuständige/n Messstellenbetreibende/n ebenfalls schwer abschätzbar ist. Die Skalierbarkeit wird in diesem Fall als moderat bewertet, da in Delbrück zwar bereits viele digitale Gaszähler mit wireless mBUS Schnittstelle eingesetzt werden, die Auslesung dieser Schnittstelle aber die individuelle Einrichtung einer sogenannten wireless mBUS Bridge erfordert. Die Zuverlässigkeit wird als gut bewertet, da bewährte Zählertechnik eingesetzt wird und alles in nicht öffentlich zugänglichen Bereichen verbaut wird.

12.12 Stromverbrauchsmessung

Mit Hilfe von Stromzählern sollte der Stromverbrauch in kommunalen Liegenschaften erfasst werden. Die Daten lassen sich vielfältig verwenden, insbesondere jedoch um Einsparungen durch das Erkennen von Fehlverbräuchen zu ermöglichen.

Der Nutzen wird daher als groß bewertet. Das volle Potential kann jedoch nur bei Einsatz geschulter **Energiemanager** ausgeschöpft werden. Die Kosten sind insgesamt moderat, jedoch können möglicherweise schwer zu kalkulierende Aufwände für Zählerwechsel anfallen. Mit möglichen Zählerwechseln kann auch die Skalierbarkeit leiden, da der Aufwand für die Koordination von Zählerwechseln durch die/den zuständige/n Messstellenbetreibende/n ebenfalls schwer abschätzbar ist. Die Skalierbarkeit wird in diesem Falle jedoch als generell gut bewertet, da in Delbrück bereits viele digitale Stromzähler eingesetzt werden, welche durch

einfaches Aufsetzen eines speziellen Sensors ausgelesen werden können. Die Zuverlässigkeit wird als gut bewertet, da bewährte Zählertechnik eingesetzt wird und alles in nicht öffentlich zugänglichen Bereichen verbaut wird.

12.13 Kühlkammerüberwachung

Bei der Überwachung von Kühlkammern (für den Kantinenbetrieb in Schulen) werden die Innen- und Außentemperatur sowie die Stromaufnahme mittels LoRaWAN-Sensorik erhoben. Das dauerhafte Monitoring ermöglicht es zum einen Fehlfunktionen zu erkennen. Zum anderen können auch Fehler in der Bedienung, wie z.B. falsche Temperaturen oder offen gelassene Türen, erkannt werden. Insbesondere das **Verhältnis aus Energieverbrauch und Temperatur** liefert dabei wichtige Werte.

Als Mehrwert stellte sich hier unter anderem heraus, dass bei rechtzeitigem Erkennen von und Eingreifen bei steigenden Temperaturen in der Kühlkammer, das Verderben von Lebensmitteln verhindert werden kann.

Dieser Anwendungsfall weist ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Auch die Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit werden als gut bewertet. Damit ist dies einer der wenigen Anwendungsfälle, der in allen Bereichen als tendenziell gut bis sehr gut bewertet wird.

12.14 Heizungsüberwachung

Die Überwachung von Heizungen ermöglicht das **Erkennen von Fehlern im Betrieb**. Dazu wurden Temperatursensoren an den Vor- und Rückläufen installiert. Ein Heizungsausfall kann dann sofort erkannt und schneller behoben werden. Aber auch Heizzyklen können durch die Datenerhebung umfassender analysiert und optimiert werden.

Die in diesem Anwendungsfall umgesetzte Heizungsüberwachung gibt keinen Aufschluss über die Art des Fehlers oder über die verbrauchte Energie der Heizung. Daher wird der Nutzen eher als moderat angesehen, die Kosten sind hingegen gering. Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit sind gut bewertet, da einfach auszurollende und einfach zu integrierende, simple Technik eingesetzt wird.

12.15 Tür- / Fensterkontaktüberwachung

Mit Hilfe geeigneter Sensorik sollten in verschiedenen städtischen Gebäuden Türen und Fenster überwacht werden. Dabei sollte überwacht werden, ob Türen und Fenster geöffnet oder geschlossen sind. Ziel ist es festzustellen, ob eine **unerlaubte oder unerwartete Öffnung** vorliegt, um z.B. Missbrauch oder Einbrüche zu erkennen und ggf. zu verhindern.

Der Nutzen wird insgesamt als gering angesehen, da keine relevanten Einsparpotentiale gesehen werden. Die Kosten werden ebenfalls als gering bewertet, da Sensorkosten und weitere Aufwände sehr gering sind. Die Skalierbarkeit wird als sehr gut bewertet, da bei der Montage und der Datenverarbeitung keine besonderen Hindernisse gesehen werden. Die Zuverlässigkeit leidet jedoch unter übermäßigem **Vandalismus und Diebstahl** der leicht erreichbaren Sensoren (im Pilotversuch wurden rund 15% der Sensoren entwendet oder beschädigt). Sensoren die sich in Fenster- und Türrahmen integrieren lassen können hier von großem Vorteil sein.

12.16 Überwachung durch Bewegungsmelder

Neben der Warnung bei unbefugtem Eindringen, sollten mit Hilfe der Bewegungsmelder **Auslastungen und Raumnutzungsprofile** untersucht werden können. Durch die Zählung der Bewegungen und die Erfassung der entsprechenden Uhrzeit, kann die Auslastung im Hinblick auf Umfang, Dauer und Zeitpunkt untersucht werden. Daraus abzuleitende Maßnahmen könnten unter anderem eine optimierte Raumaufteilung und -nutzung sein, aber auch die **Optimierung des Schließdienstes**.

Kosten und Nutzen werden insgesamt als eher niedrig bewertet. Als gut wird die Skalierbarkeit bewertet, da bei der Montage und der Datenverarbeitung keine besonderen Hindernisse gesehen werden. Die Zuverlässigkeit wird als eher gut bewertet. Einfluss können hier auch Probleme mit Vandalismus haben.

12.17 Rauchmelder

Die LoRaWAN Rauchmelder sollen sich selber überwachen und eine Meldung abgeben, wenn zum Beispiel die **Batterie** leer ist oder jemand versucht den **Sensor** zu **demontieren**. Eine Rauch- oder Feuermeldung erfolgt bewusst nicht über LoRaWAN, da es vorkommen kann, dass mal ein Datenpaket verloren geht.

Der Nutzen wird hier insgesamt als eher groß bewertet da Schäden durch Vandalismus schneller erkannt werden und sich durch die rechtzeitige Batteriemeldung auch die Instandhaltungseinsätze besser planen und koordinieren lassen. Die Kosten sind als gering bewertet, da bei der Montage und der Datenverarbeitung keine besonderen Hindernisse gesehen werden. Die Zuverlässigkeit wird als eher gut bewertet.

12.18 Regelung von Oberlichtern

Die eingesetzte Technologie sollte in verschiedenen Gebäuden Oberlichter in Abhängigkeit zur Innenraumtemperatur öffnen und schließen. Ziel war insbesondere das **nächtliche Herunterkühlen** von Schulen und anderen Gebäuden, um die ansonsten in den Sommermonaten anfallende frühmorgendliche Arbeitszeit der HausmeisterInnen zu reduzieren.

Umgesetzt wurde dieser Anwendungsfall als **Pilot** in einer Schule. Installiert wurden Temperatursensoren im und auf dem Gebäude sowie Aktoren im Schaltschrank der Oberlichtsteuerung. Die Aktoren ließen sich durch eine LoRaWAN Fernbedienung vom Zuhause des zuständigen Hausmeisters aus bedienen. Letztlich wurde der Anwendungsfall jedoch nicht ausgerollt, weil u.a. der (zeitliche) Aufwand für die Verkabelung in die bestehende Regelung nicht im Verhältnis zum Nutzen steht. Außerdem stellte sich die **Fernbedienung** als nicht jederzeit zuverlässig dar.

12.19 Überwachung von Rettungswegen

Mittels LoRaWAN Parksensoren wurden bestimmte Einfahrten und Halteverbotszonen (Feuerwehrezufahrten) überwacht. Im Falle einer Belegung dieser Flächen wurde eine **Meldung** automatisch an zuständige Mitarbeitende des **Ordnungsamtes** versendet, damit der Platz schnellstmöglich geräumt werden kann. Die gewonnenen Daten können auch dafür genutzt werden, Bedarfe für z.B. Kurzzeitparkplätze oder gesonderte Haltezonen zu ermitteln.

Der Nutzen wird als moderat bewertet. Grundsätzlich steht hier ein enorm hoher Nutzen (Schutz von Leib und Leben) einer extrem geringen Wahrscheinlichkeit entgegen (die Auswertung der Daten zeigt, dass die Sperrflächen extrem selten bis nie zugeparkt werden). Die Kosten werden als eher niedrig bewertet. Skalierbarkeit wird als moderat bewertet, da die Installation der Sensoren mit gewissem Aufwand verbunden ist. Die Zuverlässigkeit wird ebenfalls als nur moderat bewertet, da die Sensoren der Witterung ausgesetzt sind und im Winter einige Sensoren der Schneeräumung zum Opfer fielen.

12.20 Überwachung von Behindertenparkplätzen

Mittels LoRaWAN Parksensoren wurden Sonderparkplätze überwacht, für die eine spezielle Genehmigung benötigt wird. Die Informationen werden über das City Dashboard (siehe Kapitel 7.2) veröffentlicht. Zudem werden die Informationen der Sensoren Live an das Ordnungsamt (Politessen) mittels SMS direkt auf die Diensttelefone übermittelt. Die Mitarbeitenden können so **gezielte Kontrollen** durchführen.

Die Daten können auch genutzt werden, um die **Auslastung der Plätze** zu analysieren und ggf. das Parkplatzangebot zu optimieren. Dazu sollen die Daten einmal jährlich analysiert werden.

Der Nutzen wird als eher gering bewertet, da keine direkten Einsparungen möglich sind. Auch führen die Daten nicht grundsätzlich zu einer Anpassung des Kontrollverhaltens des Ordnungsamts. Die Informationen werden lediglich für gezielte Kontrollen genutzt, wenn sich Personal vor Ort bzw. in der Nähe befindet. Die Kosten sind als gering bewertet worden. Skalierbarkeit wird als moderat bewertet, da die Installation der Sensoren mit gewissem Aufwand verbunden ist. Die Zuverlässigkeit wird ebenfalls als nur moderat bewertet, da die Sensoren der Witterung ausgesetzt sind und im Winter einige Sensoren der Schneeräumung zum Opfer fielen.

12.21 Glätteüberwachung

Aktuell basiert die Arbeit des Winterdienstes auf regelmäßigen Kontrollfahrten und Erfahrungswerten. Hochlokale Witterungsunterschiede konnten bisher nicht erkannt werden und führen immer wieder zu unerkannten Gefahrensituationen. Der Einsatz von geeigneten Sensoren zur **Bestimmung des Glätterisikos** sollte die Entscheidungsfindung und Maßnahmenplanung des Winterdienstes unterstützen. So sollten Kontrollfahrten reduziert und gezielter durchgeführt werden können. In Konsequenz können die Einsätze zur Beseitigung von Schnee und Eis effizienter werden.

Der Anwendungsfall ist beim zuständigen Bauhof auf großes Interesse gestoßen. Bei der praktischen Umsetzung zeigte sich jedoch, dass die Sensorwerte maximal zuverlässig sein müssen, damit der Winterdienst diese verwenden kann, da durch Glätte ein potentielles Risiko für Leib und Leben entsteht. Der Nutzen wird als eher gut bewertet, kritisch wird hier aber gesehen, dass die Daten aus haftungsrechtlichen Gründen nicht als direkte Entscheidungsgrundlage genutzt werden dürfen. Die Kosten werden als gering, die Skalierbarkeit als gut bewertet. Die Zuverlässigkeit wird eher moderat gesehen, da die Sensoren größtenteils der Witterung ausgesetzt sind.

12.22 Wetterstationen

Ziel dieses Anwendungsfalles war es unter anderem, hochlokale Wetterdaten zu erheben und diese den Bürgerinnen und Bürgern über das City Dashboard (siehe Kapitel 7.2) bereit zu stellen. Auf lange Sicht liefern die Wetterdaten zudem eine gute Datenbasis für die **Auswertung von Klimaereignissen**.

Der Nutzen wird als sehr gering eingeschätzt, die Kosten als eher moderat. Zwar sind die Kosten pro Wetterstation groß, sonstige Kostenbestandteile werden aber als eher niedrig bewertet. Zudem ist die Anzahl der verbauten Stationen vergleichsweise niedrig. Die Skalierbarkeit ist aufgrund komplexerer Montagearbeiten eher moderat. Die Zuverlässigkeit wird als eher gut bewertet.

12.23 Luftgütemessung

Ursprünglich war geplant, separate Luftgütemessungen im Stadtgebiet umzusetzen. Diese sollten Aufschlüsse über die Luftgüte an definierten Stellen, wie z.B. große Straßenkreuzungen oder Grünanlagen, geben.

Die Messung der Luftgüte erfolgte letztlich in Kombination mit dem Anwendungsfall „Wetterstationen“. Die Wetterstationen sind in der Lage den **CO₂-Gehalt** der Luft sowie **Feinstaub** zu messen.

12.24 Personenzählung

Mit Hilfe von sogenannten PAX Countern wurde auf Basis von WLAN- und Bluetooth-Signalen die Personenzählung beispielhaft durchgeführt. Die WLAN- und Bluetooth-Signale können nicht einzelnen Personen zugeordnet werden, weshalb sich aus den Daten keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Anzahl an Personen ziehen lassen. Allerdings ist die **Aussagekraft** darüber, wie sich Personenansammlungen verändern, gegeben. So lässt sich gut erkennen, wie sich Ansammlungen über die Zeit vergrößern oder verkleinern.

Die Daten können genutzt werden, um Erkenntnisse z.B. bei Großveranstaltungen zu sammeln. Da keine Einsparungen oder Effizienzgewinne erzielt werden, wird der Nutzen als sehr gering bewertet. Die Kosten sind hingegen ebenfalls gering. Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit werden ebenfalls als gut bewertet.

12.25 Schwefelwasserstoffmessung

Durch H₂S-Sensoren wurden einzelne Kanäle überwacht. Dadurch sollte ermittelt werden können, wie durch die Zufuhr von Sauerstoff eine **Geruchsbelästigung** an Kanalaustrittstellen verhindert werden kann.

Die Teststellung hat zunächst gut funktioniert, musste letztlich jedoch wieder abgebaut werden, da die Sensoren nach einer gewissen Zeit (einige Monate) keine zuverlässigen Werte mehr lieferten. Es stellte sich heraus, dass die Hardware in den Kanälen **signifikanten Abnutzungen** ausgesetzt ist (durch die Gase) und daher nicht länger als ein halbes Jahr verlässliche Daten liefert.

Aufgrund dieser kurzen Lebensdauer und den verhältnismäßig hohen Preisen für die Sensorik, hat sich die Stadt Delbrück entschieden, den Anwendungsfall nicht weiter auszurollen.

12.26 Überwachung von EDV Schränken

In diesem Anwendungsfall wurden vor/in die Netzwerkschränke der städtischen Liegenschaften sogenannte Smart-Plugs zur **Erfassung der Stromverbräuche** und als **Hard-Reset-Möglichkeit** vorgeschaltet. Dabei handelt es sich um per LoRaWAN schaltbare Steckdosen, welche zugleich die Stromverbräuche der daran angeschlossenen Verbraucher messen/zählen können. Die Verbräuche können im e2watch als Lastgang dargestellt werden, um dadurch auch Lastspitzen oder Anomalitäten erkennen zu können.

Der Nutzen wird als moderat bewertet. Grundsätzlich können Vor-Ort-Einsätze vermieden werden, ein komplettes Stromlosschalten der IT-Technik ist jedoch nicht sehr häufig notwendig. Die Kosten werden als eher gering bewertet. Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit werden als sehr gut bewertet.

12.27 Druckmessung in Wasserleitungen

Mit Hilfe von Drucksensoren sollte die Erkennung von starken Druckschwankungen im Sommer bei starker Wasserentnahme ermöglicht werden. Weiterhin können die Daten zur Analyse der Netzauslastung sowie Planung von Netzanpassung genutzt werden.

Der Nutzen und die Kosten werden als moderat bewertet. Der Einbau der Sensoren ist grundsätzlich aufwändig, jedoch wird keine große Anzahl von Sensoren verbaut. Die Skalierbarkeit ist dementsprechend nur moderat. Die Zuverlässigkeit wird jedoch als groß eingeschätzt.

13 AnsprechpartnerInnen und weitere Informationen

Projektleitung Stadt Delbrück

Stabsstelle Digitalisierung
Miriam Mattiza
05250 / 996-134
miriam.mattiza@delbrueck.de

EDV und Telekommunikation
Michael Nettelnbreker
05250 / 996-137
michael.nettelnbreker@delbrueck.de

LoRaWAN Elektroniker
Markus Bochnig
0151 / 407 143 43
markus.bochnig@delbrueck.de

Projektleitung regio iT

Simon Wilbertz
Projektleiter / Consultant
0241 / 41359-1677
simon.wilbertz@regioit.de

Thomas Schulz
Centerleiter Urban Solution
0241 / 41359-1675
Thomas.schulz@regioit.de

Linkliste

Projektinformationen auf der Delbrücker Homepage

<https://www.stadt-delbrueck.de/de/rathaus-online/delbrueck-digital/LoRaWAN.php>


City Dashboard Delbrück

<https://dashboard-delbrueck.regioit.de/>


14 Anlagen

Die hier zur Ansicht bereitgestellten (Blanko-)Vorlagen können bei Bedarf auf Anfrage im Original zur eigenen Anpassung und Verwendung übersendet werden.

14.1 Checkliste Gatewaystandortbegehungen

STADT DELBRÜCK		 <small>Zehn Orte, eine Stadt.</small>	
Checkliste Gatewaystandortbegehungen		Datum:	
		Standort:	
Montagemöglichkeit	Ja	Nein	Infos
Mastmontage möglich?			
Befestigung an Hauswand oder bestehendem Mast?			
Können Löcher gebohrt werden?			
Wird die Dichtigkeit des Daches gefährdet?			
Gibt es störende Elemente (Mobilfunk etc.) in der Nähe?			
Stromversorgung			
Wo ist der nächste Stromanschluss?			
Wo ist die nächste POE Injektionsstelle?			
Aktives oder passives POE?			
Wo kann ein Kabel verlegt werden?			
Welche Löcher müssen gebohrt werden?			
Müssen die Löcher abgedichtet werden?			
Wie viele Meter Kabel werden benötigt?			
Internetversorgung (Internetkonfiguration)			
Wo ist die nächste nutzbare Ethernet Buchse?			
Wie ist die Internetbuchse mit dem Internet verbunden?			
Firewalls, Router, Proxy, DMZ, ...			
Müssen Nutzungsgebühren für die Ethernetleitung gezahlt werden?			
Wie viele Meter Kabel werden benötigt?			
Blitzschutz			
Gibt es ein Blitzschutzsystem?			
Wie kann das Gateway in das Blitzschutzkonzept integriert werden?			
Gebäudeverantwortlicher			
Wem gehört das Gebäude?			
Wer verschafft Zugang zum Gebäude?			
Wann ist der Zugang zum Gebäude möglich?			
Fotos in alle Himmelsrichtung			
Fotos der Montagestelle			
Sonstige Bemerkungen/ ToDo			
Unterschrift: _____			

14.2 Vorlage für Personalrat: Netzabdeckungstest

STADT DELBRÜCK DER BÜRGERMEISTER	 Zehn Orte, eine Stadt.
<u>Stadt Delbrück • Postfach 14 63 • 33122 Delbrück</u>	Lange Straße 45, 33129 Delbrück ☎ 05250 996-0 E-Mail: Info@delbrueck.de Internet: www.delbrueck.de Gläubiger-ID: DE28111 00000 100345
An den Personalrat	Name: Frau Mattiza Stabsstelle Digitalisierung, Zimmer 18
im Hause	☎ 05250 996-134 E-Mail: miriam.mattiza@delbrueck.de
	02.09.2020
LoRaWAN-Netzabdeckungstest durch städtische Mitarbeiter	
<p>Im Rahmen des Projekts „LoRaWAN 2.0“ wird in der Stadt Delbrück eine moderne Funkinfrastruktur aufgebaut. Um den Netzaufbau abzuschließen, wird eine Netzabdeckungskarte benötigt, welche die Empfangsstärke an beliebigen Punkten im Stadtgebiet darstellt. Diese Karte wird durch Messungen mit speziellen Messgeräten (Feldtester) erstellt. Um die Qualität dieser Karte sicherzustellen, müssen umfangreiche Messungen im gesamten Netzgebiet stattfinden. Da dies sehr zeitaufwändig ist, wurde nach Wegen gesucht, die Messungen zu automatisieren. Dies kann realisiert werden, indem ein Feldtester in ein Fahrzeug gelegt wird, das regelmäßig große Teile des Stadtgebietes abfährt.</p>	
<p>Der Feldtester sendet in regelmäßigen Abständen den aktuellen Standpunkt mit der gemessenen Empfangsstärke und setzt einen Zeitstempel. Für die Erstellung der Netzabdeckungskarte wird der Zeitstempel verworfen. Auf Basis der Karte können außerdem keine Rückschlüsse über die gefahrene Route, Verweilzeiten und Personen gezogen werden. Zudem sollen die Messungen zeitlich begrenzt stattfinden, es werden also explizit keine dauerhaften Messungen durchgeführt.</p>	
<p>Die Projektmitarbeiter [REDACTED] haben sich bereits freiwillig bereit erklärt, an dieser Maßnahme mitzuwirken. Darüber hinaus ist [REDACTED] (Mitarbeiter beim Abwasserwerk) bereit, einen Feldtester für eine begrenzte Zeit in den Dienstwagen zu legen.</p>	
Ich bitte um Zustimmung zu dieser Maßnahme.	
Im Auftrag	
gez. Mattiza	
_____ Urschriftlich zurück	
Der Personalrat stimmt der o.a. Entscheidung zu / nicht zu.	
_____ (Datum)	_____ (Unterschrift)

14.3 Projektstatusbericht



Projekt-Statusbericht

Projektname:	
Berichtszeitraum:	
Datum der Erstellung:	
Erstellt von:	

1) Kurzbeschreibung des Projekts

2) Projektstatus ● ● ●

3) Meilensteine

4) Projektrisiken

5) Termine

6) Strahlkraft / Außenwirkung