



Bericht im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw

Projektkonzepte / Use-Case-Katalog

Stuttgart, 30. Dezember 2024



Baden-Württemberg
MINISTERIUM DES INNEREN, FÜR DIGITALISIERUNG UND KOMMUNEN



Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT



Fraunhofer
IAO

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Projektkonzepte.....	3
2.1	Friedrichshafen.....	3
2.2	Brigachtal.....	9
2.3	Herrenberg	12
2.4	Karlsruhe	16
2.5	Knittlingen	19
2.6	Neckarsulm	22
2.7	Neulingen	26
2.8	Ölbronn-Dürrn	29
2.9	Ulm.....	33
3	Abbildungsverzeichnis	37
4	Tabellenverzeichnis	38

1

Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält die Dokumentation der im Rahmen der »Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw« gemeinsam mit Kommunen und Umsetzungspartnern erarbeiteten und teilweise umgesetzten LoRaWAN-Projektkonzepte. Für jedes Projektkonzept werden die zugrundeliegenden Use Cases und die damit verbundenen Innovations- und Forschungspotenziale dargestellt. Dort, wo eine Umsetzung erfolgt ist, liegen außerdem Produktlisten und Kostenkalkulationen vor.

Der Projektkonzeption gingen eine Ist-Analyse, ein Benchmarking und eine Best-Practice-Analyse sowie eine Reihe von Workshops voraus. Die Ist-Analyse wurde durchgeführt, um den Status Quo der kommunalen LoRaWAN-Nutzung in Baden-Württemberg zu erfassen. Im Rahmen des Benchmarkings wurde dieser auf nationaler und internationaler Ebene verglichen. Anschließend wurden Best-Practice-Beispiele aus geografischen Regionen recherchiert und analysiert, die zuvor im Hinblick auf die kommunale Nutzung von LoRaWAN als fortgeschritten eingestuft worden waren. Die Ergebnisse der drei wissenschaftlichen Analysen flossen in die co-kreativen Workshops mit den am Forschungsprojekt beteiligten Kommunen und Umsetzungspartnern ein, in denen Use Cases erarbeitet wurden, die als Ausgangspunkt für die Projektkonzepte dienten.

Kommunale Projektbeteiligte:

- Gemeinde Brigachtal
- Gemeinde Neulingen
- Gemeinde Ölbrenn-Dürrn
- Stadt Friedrichshafen
- Stadt Herrenberg
- Stadt Karlsruhe
- Stadt Knittlingen
- Stadt Neckarsulm
- Stadt Ulm

Umsetzungspartner:

- citysens GmbH
- Fichtner IT Consulting GmbH
- SWP Stadtwerke Pforzheim GmbH & Co. KG

Abbildung 1 zeigt, wie die Projektkonzepte in die Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw eingebettet sind.

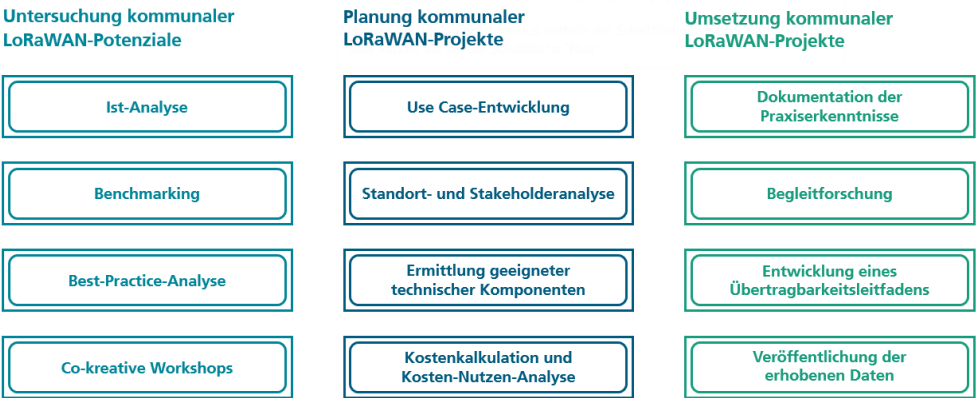


Abbildung 1: Überblick über die Arbeitsschritte im Projekt »Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw« (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

2 Projektkonzepte

2.1 Friedrichshafen

Umsetzungspartner: Citysens, Fichtner IT Consulting

Umsetzungszeitraum: Oktober bis Dezember 2024

Use Cases: Gemeinsam mit dem Amt für Digitalisierung, Smart City und Informationstechnik der Stadt Friedrichshafen, citysens und Fichtner IT Consulting wurden fünf Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Rettungszufahrten und Bodenfeuchte, die Füllstandsmessung von Altglascontainern und das Asset-Tracking. Um den Betrieb der Use Cases zu ermöglichen, wird in Friedrichshafen ein öffentlich nutzbares LoRaWAN-Netz mit 6 stationären Gateways installiert. Hierfür werden mit dem Projektpartner Citysens und der Stadt Friedrichshafen strategisch günstige Gebäude identifiziert. Wichtige Kriterien dabei sind z. B. eine möglichst gute Abdeckung im Stadtgebiet und gute Zugangsmöglichkeiten im Wartungs- oder Reparaturfall. Zusätzlich sollen mobile Gateways zur Netzinfrastruktur beitragen.

Überwachung von Rettungszufahrten (Use Case 1): An den Rettungszufahrten städtischer Liegenschaften in Friedrichshafen werden Parksensoren installiert, um die Einhaltung des dortigen Halteverbots zu überwachen. Ihre Anbringung erfolgt durch Verklebung mit dem Boden und in der für die Überwachung der gesamten Zufahrt erforderlichen Anzahl (ca. 15 m² Fläche können mit einem einzelnen Parksensor überwacht werden). In den Parksensoren sind Magnetometer eingebaut, die minimale Änderungen des Erdmagnetfeldes, wie sie beim Ein- und Ausparken von Fahrzeugen auftreten, erfassen können.

Die Parksensoren senden über LoRaWAN ein Signal, sobald sie erkennen, dass ein Fahrzeug eine Rettungszufahrt blockiert (oder wieder verlässt). Über eine Schnittstelle zwischen den Sensordaten und einem städtischen Alarmserver werden bei einer übermittelten Fehlbelegung Mitarbeitende in der zugehörigen städtischen Liegenschaft informiert, die die gemeldete Fehlbelegung überprüfen und gegebenenfalls eskalieren können. Dies geschieht durch Verständigung des Gemeindevollzugsdienstes, der sich dann zur Rettungszufahrt begibt, um die falschparkende Person zu warnen bzw. die Räumung zu veranlassen. Darüber hinaus kann die Feuerwehr ihre Einsatzplanung anhand der Informationen über blockierte Rettungszufahrten auf dem Alarmserver anpassen.

Im weiteren Verlauf der Konzeptionsphase wurde entschieden, an den Rettungszufahrten alternativ zu den Parksensoren Kamerasensoren des Modells SenseCAP A1101 einzusetzen. Diese arbeiten mit einer KI-Bilderkennungssoftware, die Fahrzeuge anhand ihrer Silhouette identifiziert. Personenbezogene Daten werden dabei nicht erfasst und gespeichert, so dass Datenschutzkonformität gewährleistet ist. In einem festen Zeitintervall von 5 Minuten senden die Kameras über LoRaWAN ein Signal, das darüber informiert, ob ein Fahrzeug die von ihnen überwachte Rettungszufahrt blockiert oder nicht. Dies unterscheidet sich von der ereignisgesteuerten Datenübertragung der Parksensoren, wird aber von allen Projektbeteiligten als unproblematisch für die Erreichung der dem Use Case zugrundeliegenden Ziele angesehen.

Ein wesentlicher Vorteil der SenseCAP-Kamerasensoren gegenüber den Parksensoren ist der deutlich geringere Stückpreis¹ bei gleichzeitiger Möglichkeit, eine größere Fläche zu überwachen. Dem stehen die Entwicklungskosten für die KI-Bilderkennungssoftware gegenüber, die jedoch mit zunehmender Skalierung an Bedeutung verlieren. Ein weiterer Vorteil der Kamerasensoren ist, dass sie nicht auf dem Boden montiert werden müssen, wodurch sie nicht zu Stolperfallen werden und sich Konflikte mit dem Tiefbauamt vermeiden lassen. Stattdessen können sie an Masten angebracht werden, was in der Regel bürokratisch einfacher zu bewerkstelligen ist. Außerdem wird eine höhere Datenqualität als bei den Parksensoren erwartet, da diese anfällig für Erfassungsfehler durch Umwelteinflüsse wie Regen, Schnee oder Laub sind, die das Magnetometer verdecken und seine Funktion beeinträchtigen können.

Ziel des Use Case ist es, die ungehinderte Nutzung der Rettungszufahrten in Friedrichshafen sicherzustellen, um im Notfall schnelle und effektive Rettungseinsätze zu unterstützen.

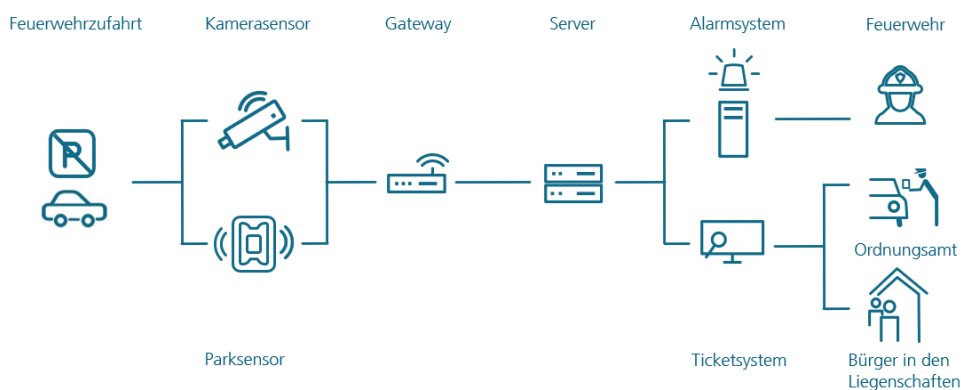


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Mobile Gateways (Use Case 2): In Friedrichshafen werden städtische Fahrzeuge mit mobilen Gateways ausgestattet, die an wechselnden Standorten das stationäre LoRaWAN-Netzwerk ergänzen. Dadurch wird zum einen die Redundanz im Gesamtnetz erhöht, zum anderen können auch Anwendungen außerhalb des stationären LoRaWAN-Netzes in Betrieb genommen werden. Für den Transport werden Fahrzeuge ausgewählt, deren Routen sich möglichst auf Teile der Stadt konzentrieren, in denen keine stationäre Netzabdeckung vorhanden oder diese besonders störanfällig ist. Darüber hinaus können die mobilen Gateways die Aktivierung von Endgeräten unterstützen. Dieser Prozess beinhaltet die Registrierung und Authentifizierung der Endgeräte und deren Anmeldedaten im LoRaWAN-Netzwerk. Dabei wird temporär eine deutlich höhere Empfangsqualität als im Regelbetrieb benötigt, die durch den gezielten Einsatz der mobilen Gateways gewährleistet werden kann. Ziel des Use Case ist es, das Potenzial mobiler Gateways für den Betrieb kommunaler LoRaWAN-Netze, insbesondere in der Aufbauphase vor Erreichen eines flächendeckenden Netzes, zu ermitteln.

Fahrzeuge, mit denen z.B. die mobilen Gateways transportiert werden können:

- Botenfahrzeuge
- Feuerwehrfahrzeuge
- Müllfahrzeuge

¹ Stückkosten für den SenseCAP: 105 €; typische Stückkosten für hochwertige Parksensoren: 200 - 350 €.

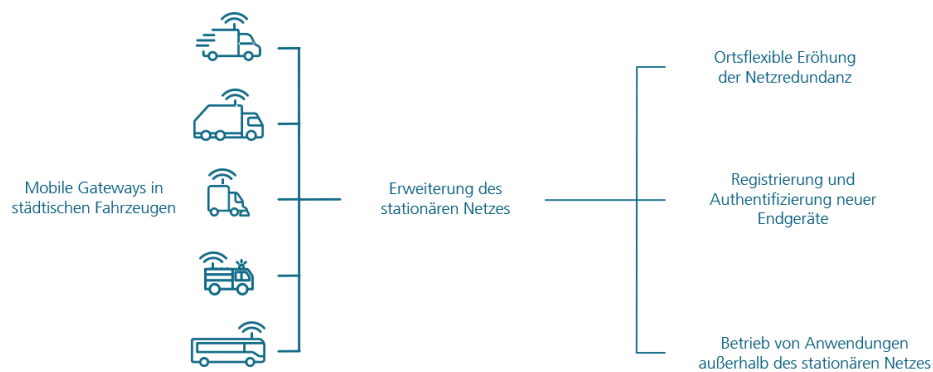


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Asset-Tracking (Use Case 3): In Friedrichshafen werden Asset-Tracker an den Geldtaschen des städtischen Botendienstes, an Rettungsringen und -stangen entlang des Bodensees sowie an Outdoor-Möbeln angebracht. Sie sind mit einem GPS-Modul ausgestattet, das in festen Zeitintervallen Satellitensignale zur Positionsbestimmung empfängt und über LoRaWAN an eine digitale Kartenanwendung weiterleitet. Dort kann jederzeit überprüft werden, ob sich die überwachten Gegenstände am vorgesehenen Ort oder auf dem vorgesehenen Weg befinden und wohin sie bei Verlust verschwunden sind. Bei Bedarf kann auch ein Alarm ausgelöst werden, wenn ein überwachter Gegenstand einen bestimmten Bereich verlässt. Zusätzlich senden die Tracker alle 24 Stunden eine Statusmeldung, so dass Defekte, z.B. durch Vandalismus, frühzeitig erkannt werden können. Neben dem GPS-Modul verfügen die Asset-Tracker auch über einen Kontaktknopf, der im Notfall während des Transports der Geldtaschen von den Mitarbeitenden des städtischen Botendienstes betätigt werden kann und einen sofortigen, ortsbezogenen Alarm auslöst. Um möglichen Datenschutzbedenken der Mitarbeitenden Rechnung zu tragen, kann vereinbart werden, dass eine Standortübermittlung nur im Notfall nach Betätigung des Knopfes erfolgt.

Ziel des Use Case ist es, schnell und gezielt auf verschiedene Verlustszenarien im Zusammenhang mit Geldtaschen, Rettungsringen und -stangen sowie Outdoor-Möbeln reagieren zu können. Gleichzeitig soll dem städtischen Kurierdienst zusätzliche Sicherheit geboten werden.

Überwachung von Altglascontainern (Use Case 4): In Friedrichshafen werden Füllstandssensoren an städtischen Altglascontainern installiert. Sie sind an der Decke der Container angebracht und messen von dort aus mit einem Radarmodul den Abstand zum Inhalt. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard öffentlich zugänglich gemacht. Das für die Altglasentsorgung zuständige Entsorgungsunternehmen kann somit eine bedarfsorientierte Routen- und Zeitplanung vornehmen, ohne auf Erfahrungswerte und Kontrollfahrten angewiesen zu sein. Wird ein vordefinierter Füllstand überschritten, wird ein Alarm ausgelöst. Um sicherzustellen, dass die Mitarbeitenden die Daten auch tatsächlich berücksichtigen, wird gegebenenfalls ein entsprechender vertraglicher Rahmen geschaffen und ein zuverlässiges Kontrollsystem eingerichtet. Die Stadtverwaltung kann anhand der historischen Datenbasis Muster und Trends analysieren, um Standorte und Anzahl der Altglascontainer entsprechend der Nutzung durch die Bürgerschaft zu optimieren.

Ziel des Use Case ist die Erhöhung der Stadtsauberkeit durch Reduzierung der Vermüllung von Altglascontainern, insbesondere zu Zeiten städtischer Großveranstaltungen. Eine Skalierung des Use Case auf Altkleidercontainer ist möglich.

Intelligente Bewässerung (Use Case 5): Auf öffentlichen Grünflächen in Friedrichshafen werden Bodenfeuchtesensoren installiert. Die gewonnenen Daten werden dem für die Bewässerung zuständigen Bauhof über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über den bestehenden Wasserbedarf. In Verbindung mit dem Wissen und der Erfahrung der Gärtnerinnen und Gärtner können so Bewässerungszeitpunkte und -mengen bedarfsorientiert geplant werden. Bei Unterschreitung vordefinierter Feuchtwerte, die auf drohenden Trockenstress hinweisen, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Bei Bedarf kann durch Kopplung der Bodenfeuchtesensoren mit Steuereinheiten, die auf vordefinierte Feuchtgrenzwerte reagieren, eine automatisierte Bewässerung realisiert werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte schalten die Steuereinheiten eigenständig die zugeordneten Sprinkleranlagen ein und bewässern mit der Menge, die erforderlich ist, um den Bodenfeuchtegehalt wieder auf ein in Abhängigkeit vom Wetter sinnvolles Niveau zu bringen.

Ziel des Use Case ist eine effiziente Bewässerung mit genau der Wassermenge, die für die Gesunderhaltung des öffentlichen Grüns notwendig ist. Eine Unterversorgung, die zu Trockenstress führt, soll ebenso vermieden werden wie ein übermäßiger Wasserverbrauch, der Wurzelfäule begünstigt und eine unnötige Ressourcenverschwendung darstellt. Gleichzeitig soll der Bürgerschaft ein transparenter Einblick in den Gesundheitszustand der städtischen Grünflächen gegeben werden.

Innovationspotenzial: Im Use Case »Überwachung von Rettungszufahrten« lösen LoRaWAN-Sensoren einen Alarm aus, wenn sie erkennen, dass ein Fahrzeug eine Rettungszufahrt blockiert. In Kommunen, die dieses Verfahren bereits in der Praxis implementiert haben, wird der Alarm in der Regel nur an das Ordnungsamt weitergeleitet. Dieses fährt dann die dem Alarm zugeordnete Rettungszufahrt an, überprüft, ob tatsächlich eine Blockade vorliegt und fordert nötigenfalls die Räumung an. Vor diesem Hintergrund soll in Friedrichshafen eine Prozessoptimierung realisiert werden, die auf der Einbindung von Personen basiert, die sich regelmäßig in räumlicher Nähe zu den Sensoren aufhalten - in diesem Fall Personen, die in städtischen Liegenschaften arbeiten, in denen Rettungszufahrten überwacht werden. Diese haben die Aufgabe, die Alarmer zu verifizieren und die Notwendigkeit einer weiteren Eskalation zu prüfen, bevor das Ordnungsamt eingeschaltet wird. Dies erspart dem Ordnungsamt unnötige Anfahrten, z.B. aufgrund eines Fehlalarms, und kann im Ernstfall wertvolle Zeit bis zur Räumung gewinnen. Eine solche Form der Bürgerbeteiligung bei der LoRaWAN-basierten Überwachung von Rettungszufahrten ist als innovativ zu bewerten.

Ein weiteres Innovationspotenzial liegt im geplanten Einsatz der SenseCAP-Kamerasensoren zur Überwachung von Rettungszufahrten. Bislang wurden diese noch nicht für diesen Zweck eingesetzt. Ihre Offenheit für den Betrieb eigens entwickelter KI-Bilderkennungsprogramme deutet jedoch darauf hin, dass eine zuverlässige LoRaWAN-basierte Fahrzeugdetektion möglich ist. Gelingt es, den Sense-CAP im Use Case erfolgreich zu implementieren, wäre eine vielversprechende Alternative zu Parksensoren identifiziert, die sich durch eine höhere Reichweite, Kosteneffizienz und Datengenauigkeit auszeichnet. Davon würden die Kommunen nicht nur hinsichtlich der Überwachung von Rettungszufahrten, sondern auch hinsichtlich der Parkraumüberwachung profitieren.

Der geplante Einsatz von mobilen Gateways zur ortsflexiblen Erweiterung des stationären Netzes, zur Erhöhung der Netzredundanz und zur Unterstützung der Geräteaktivierung ist ebenfalls als innovativ zu bewerten. Mobile Gateways werden bisher von keiner Kommune in diesem Umfang eingesetzt. Sollte sich im Rahmen des Projektes herausstellen, dass dieser Ansatz einen echten Nutzen hinsichtlich der Netzzuverlässigkeit und der Implementierung von Anwendungen bietet, wäre eine Lösung identifiziert, mit der der Netzbetrieb insbesondere in der Aufbauphase mit geringem Ressourceneinsatz optimiert werden kann. Entscheidend für eine erfolgreiche Erprobung ist, dass Fahrzeugrouten identifiziert werden können, die es ermöglichen, die mobilen Gateways regelmäßig und

gezielt durch Stadtteile zu bewegen, die durch das stationäre Gateway-Netz nicht oder nur schlecht erschlossen sind.

Forschungspotenzial: Ein großes Forschungspotenzial besteht darin, gemeinsam mit Vertretenden der Stadt Friedrichshafen sowie der Umsetzungspartner citysens und Fichtner IT Consulting zu untersuchen, welche technischen Maßnahmen zu ergreifen sind, um den SenseCAP für die Überwachung von Rettungszufahrten nutzbar zu machen. Eine entsprechende Wissens- und Erfahrungsbasis bei Kommunen, Hersteller und Distributoren fehlt noch. Es können sowohl Anforderungen und Möglichkeiten für die Anbringung des SenseCAP - z.B. Befestigungsart, optimale Höhe und Neigung - als auch für das Training der KI-Software - z.B. Trainingsdaten- und zeit, Validierungsmethoden und Potenzial zur Präzisionssteigerung - betrachtet werden.

Darüber hinaus kann im Rahmen der Use Cases »Überwachung von Rettungszufahrten« und »Asset-Tracking« untersucht werden, inwieweit die öffentlichkeitswirksame Ausstattung von Rettungszufahrten und städtischen Gegenständen mit LoRaWAN-Sensoren eine abschreckende Wirkung auf falschparkende Personen, Diebinnen und Vandalisten hat. Eine Bewertungsgrundlage dafür kann der Vergleich historischer Daten mit ab der Sensorinstallation eingehenden Daten sein. Durch die Befragung der Mitarbeitenden des städtischen Kurierdienstes kann ermittelt werden, ob sie sich durch die Ausstattung mit den Asset-Trackern inklusive Notfallknopf sicherer fühlen.

Ein weiteres Forschungspotenzial besteht in der Untersuchung der Anforderungen, Chancen und Herausforderungen beim Einsatz mobiler Gateways zur Erhöhung der Redundanz in kommunalen LoRaWAN-Netzwerken. In Zusammenarbeit mit Vertretenden der Stadt Friedrichshafen sowie den Umsetzungspartnern citysens und Fichtner IT Consulting können hierzu technische und administrative Aspekte beleuchtet werden. So ist es z.B. denkbar, einen der Asset-Tracker gezielt an einen Ort zu bewegen, an dem das stationäre Netz keinen oder nur schlechten Empfang bietet, und zu erproben, inwieweit die Datenübertragung dort auf Basis eines mobilen Gateways überhaupt erst hergestellt bzw. verbessert werden kann. Dies würde Aufschluss darüber geben, inwieweit mobile Gateways den Bereich erweitern können, in dem ein zuverlässiges Asset-Tracking (im Rahmen von Use Case 3) möglich ist.

Eingrenzung der Use Cases für die praktische Umsetzung: Bei der Planung des Umsetzungsprojektes in Friedrichshafen wurde unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden personellen und finanziellen Ressourcen sowie einer detaillierten Bewertung des jeweiligen Einzelnutzens der konzipierten Use Cases entschieden, die Use Cases »Überwachung von Altglascontainern« und »Intelligente Bewässerung« nicht in die Umsetzung einzubeziehen, sondern für ein weiteres zukünftiges LoRaWAN-Projekt zurückzustellen.

Ausgewählte Hardware-Komponenten:

Tabelle 1: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Friedrichshafen)

Gerät	Produkt
Gateways	Kerlink iStation, Kerlink iFemtocell
Asset-Tracker	ioTracker 3
Kamerasensor	SenseCAP A1101

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter,

online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

Projektkonzepte

2.2 Brigachtal

Use Cases: Gemeinsam mit der Gemeinde Brigachtal wurden vier Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Verwaltungsgebäuden, Hochwasser, Straßenglätte und Bodenfeuchte. Um einen flächendeckenden Betrieb der Use Cases zu ermöglichen, wird in Brigachtal ein LoRaWAN-Netzwerk mit 2 Gateways installiert.

Gebäudeüberwachung (Use Case 1): In Verwaltungsgebäuden in Brigachtal werden in sensiblen Bereichen Bewegungsmelder installiert, die außerhalb der Nutzungszeiten ein Signal senden, wenn sie eine Bewegung registrieren, die auf ein unbefugtes Eindringen schließen lässt. Dieses Signal kann über entsprechende Schnittstellen als direkter Alarm an die Gemeindeverwaltung und die Polizei weitergeleitet werden. Dadurch wird ein frühzeitiges Eingreifen bei Einbrüchen ermöglicht und die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Diebesgut sichergestellt und Täter gefasst werden können.

Ziel des Use Case ist es, nicht nur besser auf Einbrüche reagieren zu können, sondern auch durch die öffentlichkeitswirksame Einführung des Überwachungssystems vor Einbrüchen abzuschrecken.

Pegelüberwachung (Use Case 2): An der Brigach wird ein Pegelsensor installiert. Dieser misst den Wasserstand, indem er Ultraschallwellen aussendet und die Zeit misst, die diese Wellen benötigen, um von der Wasseroberfläche reflektiert zu werden und zum Sensor zurückzukehren. Steht für die Sensorinstallation keine Brücke zur Verfügung, kann die Installation an einem stabilen Mast erfolgen, der in ausreichender Höhe am Fluss platziert wird. Die gewonnenen Daten werden über ein Dashboard zur Verfügung gestellt, wo sie der Gemeindeverwaltung und der Bürgerschaft einen Überblick über den Zustand der lokalen Wasserressourcen und das lokale Hochwasserrisiko geben. Wird ein vordefinierter Pegelstand überschritten, der auf eine drohende Überschwemmung hinweist, löst der Sensor einen Alarm aus. Auf dieser Grundlage kann die Gemeindeverwaltung fundierte Entscheidungen über die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen bei Starkregenereignissen treffen. Durch die Nutzung der historischen Datenbasis für prädiktive Analysen kann die Hochwassergefahr zunehmend vorausschauend ermittelt werden.

Ziel des Use Case ist es, die Bürgerschaft, ihr Eigentum und die kommunale Infrastruktur besser vor Hochwasserereignissen zu schützen und das Wasserressourcenmanagement zu optimieren.

Intelligenter Winterdienst (Use Case 3): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Brigachtal werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur sowie der Luftfeuchtigkeit installiert. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard veröffentlicht und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Der für den Winterdienst zuständige Bauhof kann so Streuzeiten und -mengen bedarfsgerecht planen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Glättewert unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Die integrierte KI-Analyse der historischen und aktuellen Glättedaten mit weiteren Daten, wie z.B. Bodenfeuchtedaten (siehe Use Case 4), Umweltdaten einer LoRaWAN-Wetterstation und topografischen Daten, ermöglicht darüber hinaus Glätteprognosen für das gesamte Gemeindegebiet.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Brigachtal werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und reflektierte Wellen empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im

Behälter zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsgerechte Planung der Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Intelligente Bewässerung (Use Case 4): Auf öffentlichen Grünflächen in Brigachtal werden Bodenfeuchtesensoren installiert. Die gewonnenen Daten werden dem für die Bewässerung zuständigen Bauhof über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über den bestehenden Wasserbedarf. In Verbindung mit dem Wissen und der Erfahrung der Gärtnerinnen und Gärtner können so Bewässerungszeitpunkte und -mengen bedarfsgerecht geplant werden. Bei Unterschreitung vordefinierter Feuchtwerte, die auf drohenden Trockenstress hinweisen, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Bei Bedarf kann durch Kopplung der Bodenfeuchtesensoren mit Steuereinheiten, die auf vordefinierte Feuchtegrenzwerte reagieren, eine automatisierte Bewässerung realisiert werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte schalten die Steuereinheiten eigenständig die zugeordneten Sprinkleranlagen ein und bewässern mit der Menge, die erforderlich ist, um den Bodenfeuchtegehalt wieder auf ein in Abhängigkeit vom Wetter sinnvolles Niveau zu bringen.

Ziel des Use Case ist eine effiziente Bewässerung mit genau der Wassermenge, die für die Gesunderhaltung des öffentlichen Grüns notwendig ist. Eine Unterversorgung, die zu Trockenstress führt, soll ebenso vermieden werden wie ein übermäßiger Wasserverbrauch, der Wurzelfäule begünstigt und eine unnötige Ressourcenverschwendung darstellt. Gleichzeitig soll der Bürgerschaft ein transparenter Einblick in den Gesundheitszustand der städtischen Grünflächen gegeben werden. Darüber hinaus möchte die Gemeindeverwaltung auf Basis der Bodenfeuchtedaten bestehende Diskussionen mit den Nutzerinnen und Nutzern der Sportplätze über die Bewässerungsmenge entschärfen.

Innovations- und Forschungspotenzial: Im Rahmen des Projektes kann das Integrationspotenzial verschiedener LoRaWAN-Sensortypen und anderer Datenquellen für die Entwicklung effektiver und effizienter KI-Prognosemodelle für den Winterdienst untersucht werden. In Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten z.B. aus den Bereichen IoT, KI und Data Science, Geoinformatik, Meteorologie, Winterdienst- und Straßenmanagement sollen relevante Parameter und bestehende Zusammenhänge identifiziert und eine funktionierende Prozesslogik für die KI-Prognose erarbeitet werden. Daraus ergibt sich ein hohes Forschungs- und auch Innovationspotenzial, da bisher keine vergleichbaren Prognosemodelle für diesen Zweck entwickelt wurden.

Im Use Case »Gebäudeüberwachung« kann in Abhängigkeit der spezifischen Gebäudegegebenheiten untersucht werden, wie mit möglichst wenigen Bewegungsmeldern an neuralgischen Punkten eine möglichst hohe Detektionswahrscheinlichkeit von Einbrüchen erreicht werden kann.

Geeignete Hardware-Komponenten:

Projektkonzepte

Tabelle 2: Geeignete Hardware-Komponenten (Brigachtal)

Gerät	Produkt
Gateways	Kerlink iStation including PoE Injector
Bewegungsmelder	MerryIoT MS10 LoRaWAN Motion Sensor
Bodenfeuchtesensor	SenseCAP S2104 Soil Moisture and Temperature Sensor
Wasserpegelsensor	ELSYS ELT Ultrasonic
Winterdienstsensor	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor

2.3 Herrenberg

Umsetzungspartner: Citysens, Fichtner IT Consulting

Use Cases: Gemeinsam mit der Stadt Herrenberg, citysens und Fichtner IT Consulting wurden zwei Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Parkraum- und Glätteüberwachung. Das bestehende kommunale LoRaWAN-Netzwerk in Herrenberg ermöglicht den Betrieb der Use Cases.

Parkraumüberwachung (Use Case 1): In Herrenberg wird an mehreren Standorten in der Innenstadt sowie am Wohnmobilhafen mit drei verschiedenen Sensortypen getestet, welcher die jeweils technisch effektivste und effizienteste Lösung zur Parkraumüberwachung darstellt. Der erste Sensortyp ist der klassische Parksensor. Er wird in der Mitte eines Parkplatzes in den Boden geschraubt. In seinem Inneren befindet sich ein Magnetometer, der in der Lage ist, minimale Änderungen des Erdmagnetfeldes, wie sie beim Ein- und Ausparken von Fahrzeugen auftreten, zu erfassen. Als zweiter Sensortyp wird der Kamerasensor SenseCAP 1101 geprüft, mit dem die Belegung mehrerer benachbarter Parkplätze gleichzeitig erfasst werden soll. Die dritte Lösung ist das sogenannte I-ottraffic-Kamerasystem der Firma Iotec, mit dem die Parkraumüberwachung ganzer Straßenabschnitte durch Fahrzeugzählung an den Ein- und Ausfahrten realisiert werden soll. Im Gegensatz zum Parksensor und SenseCAP benötigt das Kamerasystem einen Stromanschluss.

Die SenseCAP-Kamerasensoren und die Iottraffic-Kamerasysteme werden mit einer KI-Bilderkennungssoftware betrieben, die Fahrzeuge anhand ihrer Silhouette identifiziert. Personenbezogene Daten werden dabei nicht erfasst und gespeichert, so dass Datenschutzkonformität gewährleistet ist. In einem festen Zeitintervall von 5 Minuten senden die Kameras über LoRaWAN ein Signal, das Auskunft über die Belegung der überwachten Parkplätze gibt. Dies unterscheidet sich von der ereignisgesteuerten Datenübertragung der Parksensoren, bei der ein Signal genau dann gesendet wird, wenn ein Fahrzeug ein- oder ausparkt, was aber für die Qualität der Überwachung als unerheblich angesehen wird.

Ein wesentlicher Vorteil der SenseCAP-Kamerasensoren gegenüber den Parksensoren ist der deutlich geringere Stückpreis bei gleichzeitiger Möglichkeit, eine größere Fläche zu überwachen. Dem stehen die Entwicklungskosten für die KI-Bilderkennungssoftware gegenüber, die jedoch mit zunehmender Skalierung an Bedeutung verlieren. Die Iottraffic-Kamerasysteme sind deutlich teurer als die Parksensoren (und die SenseCAP-Kamerasensoren). Durch die Möglichkeit der Überwachung ganzer Straßenabschnitte mittels Fahrzeugzählung an Ein- und Ausfahrten wird jedoch erwartet, dass auch mit ihnen eine Kostenersparnis gegenüber den klassischen Parksensoren erreicht werden kann. Insbesondere dann, wenn sie in Sackgassen eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil der Kamerasensoren ist, dass sie nicht auf dem Boden montiert werden müssen, wodurch sie nicht zu Stolperfallen werden und sich Konflikte mit dem Tiefbauamt vermeiden lassen. Stattdessen können sie an Masten angebracht werden, was in der Regel bürokratisch einfacher zu bewerkstelligen ist. Außerdem wird eine höhere Datenqualität als bei den Parksensoren erwartet, da diese anfällig für Erfassungsfehler durch Umwelteinflüsse wie Regen, Schnee oder Laub sind, die das Magnetometer verdecken und seine Funktion beeinträchtigen können.

Die gewonnenen Belegungsdaten sollen zum einen auf der intermodalen Mobilitätsplattform „stadtnavi Herrenberg“ und zum anderen auf der Open Data-Plattform „MobiData BW“ zur Verfügung gestellt werden. Ziel des Use Case es, die Parkraumnutzung in Herrenberg effizienter zu gestalten, Parksuchverkehr und Umweltbelastungen zu reduzieren und damit die Lebensqualität der Bürgerschaft zu erhöhen. Darüber hinaus sollen

fundierte Erkenntnisse über Muster und Trends der Parkraumnutzung generiert werden, die in Maßnahmen der Stadtentwicklung und Parkraumplanung einfließen können.

Projektkonzepte

Folgende Parkflächen wurden von der Stadtverwaltung Herrenberg als mögliche Einsatzorte für die drei LoRaWAN-Sensortypen identifiziert:

- Oberer und unterer Graben, Innenstadt Herrenberg
- Wohnmobilhafen Herrenberg
- Ggf. folgende weitere:
- Seeländer-Parkhaus
- Bronntor-Parkhaus
- Nufringer Tor-Parkhaus
- Stadthallenparkplatz
- Altstadtgarage
- Volksbank Parkhaus
- Parkplatz Horberstraße/ Nagolderstraße
- P&R Kalkofenstraße
- Taxistand am Bahnhof

Die Erprobung der drei Sensortypen im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw soll sich auf die stark frequentierten Parkplätze am Oberen und Unteren Graben sowie den Wohnmobilhafen konzentrieren. Auf Basis der Ergebnisse können dann weitere Standorte ausgerüstet werden.

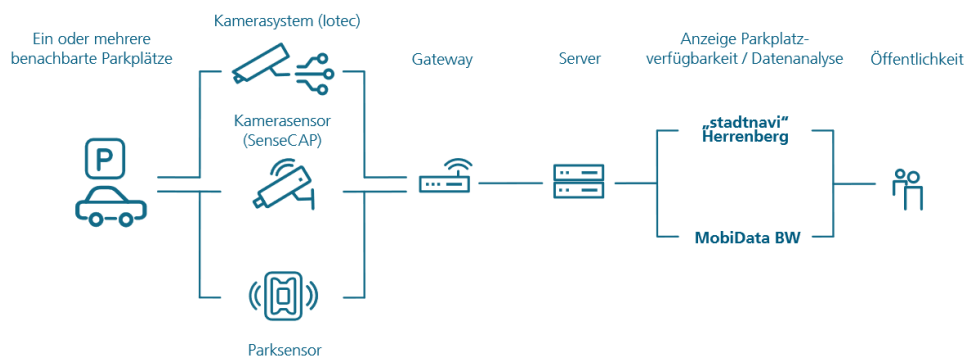


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Intelligenter Winterdienst (Use Case 2): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Herrenberg werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur sowie der Luftfeuchtigkeit installiert. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard veröffentlicht und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Der für den Winterdienst zuständige Bauhof kann so Streuzeiten und -mengen bedarfsgerecht planen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Glättewert unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Herrenberg werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und deren Reflektion empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im Behälter zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsorientierte Planung von Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die Einsatzplanung allein auf Basis von

Erfahrungswerten des Bauhofpersonals. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Innovationspotenzial: Ein großes Innovationspotenzial liegt im geplanten Einsatz der SenseCAP-Kmerasensoren zur Parkraumüberwachung. Bislang wurden diese noch nicht für diesen Zweck eingesetzt. Ihre Offenheit für den Betrieb eigens entwickelter KI-Bilderkennungsprogramme deutet jedoch darauf hin, dass eine zuverlässige LoRaWAN-basierte Fahrzeugdetektion möglich ist. Gelingt es, den Sense-CAP im Use Case erfolgreich zu implementieren, wäre eine vielversprechende Alternative zu Parksensoren identifiziert, die sich durch eine höhere Reichweite, Kosteneffizienz und Datengenauigkeit auszeichnet. Davon würden Kommunen nicht nur hinsichtlich der Parkraumüberwachung, sondern auch hinsichtlich der Überwachung von Rettungszufahrten profitieren.

Forschungspotenzial: Ein großes Forschungspotenzial besteht darin, unterschiedliche Sensortypen, die derzeit auf dem Markt verfügbar und für die Parkraumüberwachung nutzbar sind, im direkten Vergleich daraufhin zu untersuchen, welche Qualität sie in welchen städtischen Umgebungen bieten. Zudem können für die verschiedenen Sensortypen die Chancen und Herausforderungen der Datenintegration auf Mobilitätsplattformen untersucht werden.

Die Stadtverwaltung Herrenberg berichtet von einem gefühlten Parkplatzmangel in der Innenstadt, den sie durch die Bereitstellung der Belegungsdaten widerlegen möchte. Im Rahmen der Forschung kann die Eignung verschiedener Kommunikationskanäle und -formate sowie das sensorgestützte Potenzial zur Reduzierung des innerstädtischen Parksuchverkehrs anhand von Bürgerbefragungen und Zugriffszahlen untersucht werden. Darüber hinaus kann untersucht werden, inwieweit durch die Analyse von Mustern und Trends auf Basis der Belegungsdaten relevante Erkenntnisse für Maßnahmen der Stadtentwicklung generiert werden können.

Ein weiteres Forschungspotenzial besteht darin, gemeinsam mit Vertretenden der Stadt Herrenberg sowie der Umsetzungspartner citysens und Fichtner IT Consulting zu untersuchen, welche technischen Maßnahmen zu ergreifen sind, um den SenseCAP für die Parkraumüberwachung nutzbar zu machen. Eine entsprechende Wissens- und Erfahrungsbasis bei Kommunen, Hersteller und Distributoren fehlt noch. Es können sowohl Anforderungen und Möglichkeiten für die Anbringung des SenseCAP - z.B. Befestigungsart, optimale Höhe und Neigung - als auch für das Training der KI-Software - z.B. Trainingsdaten und -zeit, Validierungsmethoden und Potenzial zur Präzisionssteigerung - betrachtet werden.

Geeignete Hardware-Komponenten:

Tabelle 3: Geeignete Hardware-Komponenten (Herrenberg)

Gerät	Produkt
Parksensor	PNI LoRaWAN PlacePod In-Ground Parking Sensor
Kmerasensor	SenseCAP A1101, lotraffic-Kamerasystem
Winterdienstsensor	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

Projektkonzepte

Umsetzungspartner: Citysens, Fichtner IT Consulting

Use Cases: Gemeinsam mit der Stadt Karlsruhe, citysens und Fichtner IT Consulting wurde ein Use Case konzipiert, der für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommt. Dieser betrifft die Überwachung von Behindertenparkplätzen. Das bestehende kommunale LoRaWAN-Netzwerk in Karlsruhe ermöglicht den Betrieb des Use Case.

Überwachung von Behindertenparkplätzen (Use Case 1): An den Behindertenparkplätzen in der Karlsruher Innenstadt werden Parksensoren des Modells PNI PlacePod installiert. Ihre Anbringung erfolgt jeweils in der Mitte der Parkplätze durch Verschraubung im Boden. In den Parksensoren sind Magnetometer eingebaut, die minimale Veränderungen des Erdmagnetfeldes, wie sie beim Ein- und Ausparken von Fahrzeugen auftreten, erfassen können. Die Parksensoren senden über LoRaWAN ein Signal, sobald sie eine Änderung des Belegungsstatus registrieren. So kann die Parkplatzverfügbarkeit nahezu in Echtzeit über verschiedene digitale Kanäle der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Dazu gehören:

- Mobilitätsportal der Stadt Karlsruhe
- Open Data-Dashboard der Stadt Karlsruhe
- Portal »Karlsruhe: Barrierefrei mobil«
- MobiData BW

Sowohl Menschen mit Behinderungen als auch die Stadtverwaltung profitieren von einer vereinfachten Parkplatzsuche, die sich in einem höheren Alltagskomfort und einer effizienteren Nutzung der städtischen Infrastruktur niederschlägt. Unter Einbeziehung der historischen Datenbasis können Bedarfsanalysen hinsichtlich Anzahl und Lage städtischer Behindertenparkplätze durchgeführt werden. Darüber hinaus unterstützen die Belegungsdaten gezielte Kontrollen durch das Ordnungsamt. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass unberechtigte Nutzende von städtischen Behindertenparkplätzen identifiziert und geahndet werden.

Alternativ zu den Parksensoren sollen auch Kamerasensoren des Typs SenseCAP A1101 zur Überwachung der Behindertenparkplätze eingesetzt werden. Der Vergleich der beiden Sensortypen in Bezug auf Aspekte wie Einfachheit der Installation, Kosten, Energieeffizienz und Datengenauigkeit soll zeigen, welche Lösung technisch effektiver und effizienter ist. Die Kamerasensoren werden mit einer KI-Bilderkennungssoftware betrieben, die Fahrzeuge anhand ihrer Silhouette identifiziert. Personenbezogene Daten werden nicht erfasst und gespeichert, so dass Datenschutzkonformität gewährleistet ist. In einem festen Zeitintervall von 5 Minuten senden die Kameras über LoRaWAN ein Signal, das darüber informiert, ob ein Fahrzeug auf dem überwachten Behindertenparkplatz parkt oder nicht. Dies unterscheidet sich von der ereignisgesteuerten Datenübertragung der Parksensoren, wird aber von allen Projektbeteiligten als unproblematisch für die Erreichung der dem Use Case zugrundeliegenden Ziele angesehen.

Ein wesentlicher Vorteil der SenseCAP-Kamerasensoren gegenüber den Parksensoren ist der deutlich geringere Stückpreis bei gleichzeitiger Möglichkeit, eine größere Fläche zu überwachen. Dem stehen die Entwicklungskosten für die KI-Bilderkennungssoftware gegenüber, die jedoch mit zunehmender Skalierung an Bedeutung verlieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Kamerasensoren nicht auf dem Boden montiert werden müssen. Dies ermöglicht ihren gezielten Einsatz an Behindertenparkplätzen, wo die Installation von Parksensoren aufgrund der Nähe zu unterirdischen Telekommunikationsschächten nicht realisierbar ist. Voraussetzung ist jeweils, dass die Möglichkeit besteht, die Kamera in erhöhter Position am Parkplatz zu montieren, z.B. an einer Straßenlaterne. Außerdem

wird eine höhere Datenqualität als bei den Parksensoren erwartet, da diese anfällig für Erfassungsfehler durch Umwelteinflüsse wie Regen, Schnee oder Laub sind, die das Magnetometer verdecken und seine Funktion beeinträchtigen können.

Zur Erweiterung der Belegungsüberwachung der Behindertenparkplätze werden diese mit RFID-Lesegeräten ausgestattet, die über ein LoRaWAN-Modul verfügen. Bürgerinnen und Bürger mit einem Behindertenparkausweis erhalten ihrerseits RFID-Tags, die beim Einparken auf einem Behindertenparkplatz ein Signal an das zugehörige Lesegerät senden, das die Nutzungsberechtigung bestätigt. Wesentlich ist dabei der Einsatz einer Middleware zur Datenkonvertierung und -übertragung zwischen LoRaWAN und RFID. Auf einer Cloud-Plattform werden die Belegungs- und Berechtigungsdaten hinsichtlich ihrer zeitlichen Korrespondenz abgeglichen. Wird in einem bestimmten Zeitraum eine Belegung, aber keine RFID-basierte Verifikation registriert, erfolgt eine Alarmierung an das Ordnungsamt, das dann eine gezielte Kontrolle durchführen kann.

Szenarien, in denen das Überwachungssystem fälschlicherweise keine Berechtigung für einen belegten Behindertenparkplatz registriert:

- Die parkende Person ist noch nicht mit einem RFID-Tag ausgestattet
- Die parkende Person stammt von außerhalb
- Der RFID-Tag der parkenden Person ist defekt
- Das RFID-Lesegerät am belegten Parkplatz ist defekt

Im weiteren Verlauf der Konzeptionsphase wurde entschieden, dass es praktikabler ist, die Überwachung der Nutzungsberechtigung ohne Sensorik zu realisieren. Stattdessen können Bürgerinnen und Bürger mit einem Behindertenparkausweis die Nutzung eines Behindertenparkplatzes über das Portal »Karlsruhe: Barrierefrei mobil« melden, was ebenfalls gezielte Kontrollen bei Unstimmigkeiten mit den Belegungsdaten der Park- und Kamerasensoren ermöglicht.

Ziel des Use Case ist es, die Nutzung von Behindertenparkplätzen in Karlsruhe effizienter zu gestalten, Parksuchverkehr und Umweltbelastungen zu reduzieren und damit die Lebensqualität der betroffenen Bürgerinnen und Bürger zu erhöhen. Durch die öffentlichkeitswirksame Einführung des Überwachungssystems und gezielte Kontrollen soll ein deutlicher Rückgang des Falschparkens auf Behindertenparkplätzen erreicht werden. Darüber hinaus sollen fundierte Erkenntnisse über Muster und Trends der Parkraumnutzung generiert werden, die in Maßnahmen der Stadtentwicklung und Parkraumplanung einfließen können.

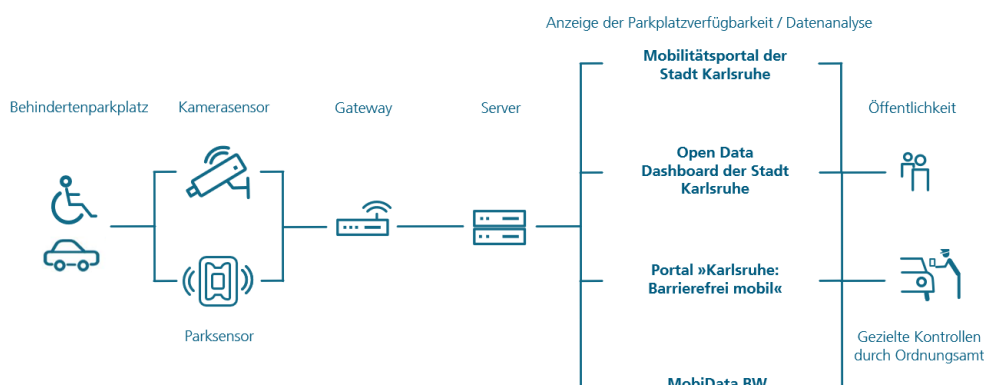


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Innovationspotenzial: Es gibt bereits Kommunen, die über LoRaWAN erhobene Belegungsdaten von Behindertenparkplätzen nutzen, um Kontrollen durch das Ordnungsamt

zu optimieren. Die in Karlsruhe geplante Realisierung eines zusätzlichen digitalen Verifikationsprozesses, um datenbasierte Kontrollen noch zielgerichteter durchführen zu können, hebt sich jedoch deutlich von solchen bereits realisierten Projekten ab. Es besteht eine höhere Kontrolleffizienz, die wiederum eine höhere Kooperationsbereitschaft des Ordnungsamtes zur Anpassung seiner Arbeitsabläufe erwarten lässt. In dieser Weiterentwicklung eines etablierten Use Case liegt ein großes Innovationspotenzial.

Ein weiteres Innovationspotenzial liegt im geplanten Einsatz der SenseCAP-Kamerasensoren zur Parkraumüberwachung. Bislang wurden diese noch nicht für diesen Zweck eingesetzt. Ihre Offenheit für den Betrieb eigens entwickelter KI-Bilderkennungsprogramme deutet jedoch darauf hin, dass eine zuverlässige LoRaWAN-basierte Fahrzeugdetektion möglich ist. Gelingt es, den Sense-CAP im Use Case erfolgreich zu implementieren, wäre eine vielversprechende Alternative zu Parksensoren identifiziert, die sich durch eine höhere Reichweite, Kosteneffizienz und Datengenauigkeit auszeichnet. Davon würden die Kommunen nicht nur hinsichtlich der Parkraumüberwachung, sondern auch hinsichtlich der Überwachung von Rettungszufahrten profitieren.

Forschungspotenzial: Ein großes Forschungspotenzial besteht darin, gemeinsam mit Vertretenden der Stadt Karlsruhe zu untersuchen, welche technischen Maßnahmen zu ergreifen sind, um den SenseCAP für die Überwachung von Behindertenparkplätzen nutzbar zu machen. Eine entsprechende Wissens- und Erfahrungsbasis bei Kommunen, Hersteller und Distributoren fehlt noch. Es können sowohl Anforderungen und Möglichkeiten für die Anbringung des SenseCAP - z.B. Befestigungsart, optimale Höhe und Neigung - als auch für das Training der KI-Software - z.B. Trainingsdaten und -zeit, Validierungsmethoden und Potenzial zur Präzisionssteigerung - betrachtet werden.

Darüber hinaus kann im Rahmen des Use Case untersucht werden, inwieweit die Einführung eines LoRaWAN-basierten Überwachungssystems für Behindertenparkplätze eine abschreckende Wirkung auf Falschparkende hat und inwieweit durch gezielte datenbasierte Kontrollen des Ordnungsamtes Falschparkende verstärkt geahndet werden können. Bewertungsgrundlage hierfür können neben dem Vergleich historischer Falschparkerkdaten mit den ab Sensorinstallation eingehenden Daten auch Befragungen der Bürgerschaft und Mitarbeitenden des Ordnungsamtes sein.

Geeignete Hardware-Komponenten:

Tabelle 4: Geeignete Hardware-Komponenten (Karlsruhe)

Gerät	Produkt
Parksensor	PNI LoRaWAN PlacePod In-Ground Parking Sensor
Kamerasensor	SenseCAP A1101

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

2.5 Knittlingen

Umsetzungspartner: Stadtwerke Pforzheim

Use Cases: Gemeinsam mit der Stadt Knittlingen und den Stadtwerken Pforzheim wurden fünf Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Verwaltungsgebäuden, Straßenglätte, Bodenfeuchte sowie einer Halteverbotszone und die Belegungskontrolle des Freibades und der Sporthalle. Das bestehende kommunale LoRaWAN-Netzwerk in Knittlingen ermöglicht den Betrieb der Use Cases.

Gebäudeüberwachung (Use Case 1): In Verwaltungsgebäuden in Knittlingen werden in sensiblen Bereichen Tür- und Fensterkontaktsensoren sowie Bewegungsmelder installiert, die außerhalb der Nutzungszeiten ein Signal senden, wenn sie eine Bewegung registrieren, die auf ein unbefugtes Eindringen schließen lässt. Dieses Signal kann über entsprechende Schnittstellen als direkter Alarm an die Gemeindeverwaltung und die Polizei weitergeleitet werden. Dadurch wird ein frühzeitiges Eingreifen bei Einbrüchen ermöglicht und die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Diebesgut sichergestellt und Täter gefasst werden können.

Ziel des Use Case ist es, nicht nur besser auf Einbrüche reagieren zu können, sondern auch durch die öffentlichkeitswirksame Einführung des Überwachungssystems vor Einbrüchen abzuschrecken.

Intelligenter Winterdienst (Use Case 2): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Knittlingen werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit und weiterer meteorologischer Parameter installiert. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard veröffentlicht und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Der für den Winterdienst zuständige Bauhof kann so Streuzeiten und -mengen bedarfsgerecht planen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Glättestand unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Knittlingen werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und deren Reflektion empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im Behälter zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsgerechte Planung der Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Belegungskontrolle (Freibad) (Use Case 3): An den Ein- und Ausgängen des Knittlinger Freibads werden Personenzähler installiert. Dabei handelt es sich um Radarsensoren, die Bewegungen inklusive der zugehörigen Laufrichtung erkennen. Die gewonnenen Daten werden der Öffentlichkeit über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über die aktuelle Auslastung. Durch den Abgleich der Anzahl der

Personen, die das Freibad verlassen, mit der Anzahl der verkauften Tageskarten kann die Stadtverwaltung feststellen, wie viele Personen sich unberechtigt Zugang zum Freibad verschaffen. Dies ist insofern von Interesse, als vermutet wird, dass nicht wenige Bürgerinnen und Besucher der Stadt über die Zäune klettern, anstatt eine Tageskarte zu kaufen. Der Datenabgleich soll Aufschluss darüber geben, wie hoch die Einnahmeverluste sind und inwieweit sich verstärkte Sicherheitsmaßnahmen lohnen.

Belegungskontrolle (Sporthalle) (Use Case 4): In der Knittlinger Sporthalle werden an den Ein- und Ausgängen Personenzähler installiert. Dabei handelt es sich um Radarsensoren, die Bewegungen inklusive der zugehörigen Laufrichtung erkennen. Die gewonnenen Daten werden der Öffentlichkeit über ein Dashboard zur Verfügung und geben dort einen Überblick über die aktuelle Auslastung. Die Stadtverwaltung kann anhand der Daten die Einhaltung der Nutzungszeiten kontrollieren. So kann die Bereitstellung der Sporthalle bedarfsorientiert geplant und Missbrauch besser geahndet werden.

In der Vergangenheit wurde in Knittlingen bereits versucht, die Nutzung der Sporthalle mit Hilfe eines LoRaWAN-Lärmsensors zu überwachen. Dies scheiterte daran, dass die erhobenen Daten keine eindeutige Unterscheidung zwischen Lärm in der Halle selbst und Lärm außerhalb der Halle, z.B. in den Umkleieräumen, zuließen.

Überwachung von Halteverbotszonen (Use Case 5): In Knittlingen befindet sich in unmittelbarer Nähe zu verschiedenen Freizeiteinrichtungen, wie dem städtischen Freibad, eine 500 m² große Halteverbotszone. Diese wird regelmäßig von Bürgern und Besucherinnen der Stadt widerrechtlich beparkt. Auf Basis von LoRaWAN soll eine Überwachung der Halteverbotszone realisiert werden, die eine effiziente Ahndung von Falschparkenden ermöglicht. Der Einsatz von Parksensoren ist aufgrund der Größe der Halteverbotszone, die willkürlich zugeparkt wird, nicht sinnvoll, da für eine flächendeckende Überwachung Dutzende von Parksensoren installiert werden müssten. Daher wurden zwei alternative Ansätze zur Überwachung entwickelt:

- Im Boden der Halteverbotszone werden Induktionsschleifen verlegt, die mit einem LoRaWAN-Modul verbunden sind. Solche Schleifen werden z.B. bei Schranken eingesetzt, um die davor stehenden und durchfahrenden Fahrzeuge zu erfassen. Parkt ein Fahrzeug in der Nähe einer der Induktionsschleifen und damit auf der Halteverbotszone, sendet diese ein Signal an das LoRaWAN-Modul. Von dort aus werden die Belegungsdaten wiederum über ein Dashboard dem Ordnungsamt zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht ein gezieltes Eingreifen und Ahnden von Parkverstößen.
- Ein LoRaWAN-basiertes Kamerasystem (z.B. vom Unternehmen Iotec) wird an der (einzigen) Ein- und Ausfahrt der Halteverbotszone installiert. Dieses verwendet eine KI-Bilderkennungssoftware, um Fahrzeuge anhand ihrer Silhouette zu detektieren. Personenbezogene Daten werden dabei nicht erfasst und gespeichert, so dass Datenschutzkonformität gewährleistet ist. In einem festen Zeitintervall von 5 Minuten sendet die Kamera über LoRaWAN ein Signal, das darüber informiert, ob ein oder mehrere Fahrzeuge in die Halteverbotszone eingefahren sind. Die entsprechenden Daten werden dem Ordnungsamt auf einem Dashboard zur Verfügung gestellt, was ein gezieltes Eingreifen und Ahnden von Parkverstößen unterstützt.

Innovationspotenzial: Das Innovationspotenzial innerhalb des Projektkonzeptes liegt im Wesentlichen im Use Case »Überwachung einer Halteverbotszone«. Bis vor kurzem gab es keine geeigneten LoRaWAN-Sensoren, um großflächige Halteverbotszonen von mehreren hundert Quadratmetern zuverlässig zu überwachen. Das hat sich in den letzten zwei Jahren geändert: Firmen wie Iotec bieten LoRaWAN-basierte Kamerasysteme an, über die eine KI-Software zur Fahrzeugerkennung betrieben werden kann. Diese

Systeme wurden zunächst zur Verkehrsflussanalyse eingesetzt - inzwischen werden sie auch zur Parkraumüberwachung verwendet. In Knittlingen soll ihr Nutzen erstmals im Zusammenhang mit der Überwachung von Halteverbotszonen getestet werden.

Forschungspotenzial: Im Rahmen des Use Case »Belegungskontrolle (Freibad)« können die gewonnenen Daten genutzt werden, um den finanziellen Verlust durch unbefugte Zutritte in das städtische Freibad über einen längeren Zeitraum zu quantifizieren und damit eine fundierte Aussage zu treffen, inwieweit sich eine Verstärkung der Sicherheitsmaßnahmen lohnt. Im Rahmen des Use Case »Belegungskontrolle (Sporthalle)« können Bürgerbefragungen durchgeführt und Belegungsdaten ausgewertet werden, um die Bürgerakzeptanz und die Wirksamkeit der Überwachung der Hallennutzung zu untersuchen.

Ein weiteres Forschungspotenzial besteht darin, im Use Case »Überwachung einer Halteverbotszone« anhand der gesammelten Daten zu quantifizieren, über welchen Zeitraum das Kamerasystem betrieben werden muss, um die Anschaffungskosten durch zusätzlich verhängte Bußgelder zu amortisieren. Dies kann der Stadtverwaltung die Entscheidung erleichtern, inwieweit sich die Anschaffung des Systems für weitere Standorte lohnt.

Im Use Case »Gebäudeüberwachung« kann in Abhängigkeit der spezifischen Gebäudegegebenheiten untersucht werden, an welchen Montageorten der Tür- und Fensterkontaktsensoren sowie Bewegungsmelder die höchste Wahrscheinlichkeit besteht, einbrechende Personen zu detektieren.

Geeignete Hardware-Komponenten:

Tabelle 5: Geeignete Hardware-Komponenten (Knittlingen)

Gerät	Produkt
Bewegungsmelder	MerryIoT MS10 LoRaWAN Motion Sensor
Bodenfeuchtesensor	SenseCAP S2104 Soil Moisture and Temperature Sensor
Kamerasensor	lotraffic-Kamerasystem
Personenzähler	Milesight VS350 LoRaWAN People Counter Dual Pyr
Tür- und Fensterkontaktsensoren	Ascoel CM868LRCMCB Door/Window Sensor Outdoor
Winterdienstsensor	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

2.6 Neckarsulm

Umsetzungspartner: citysens, Fichtner IT Consulting

Umsetzungszeitraum: November bis Dezember 2024

Use Cases: Gemeinsam mit der Stadt Neckarsulm, citysens und Fichtner IT Consulting wurden zwei Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Straßenglätte und Bodenfeuchte. Um den Betrieb der Use Cases zu ermöglichen, wird in Neckarsulm ein LoRaWAN-Netzwerk mit 6 Gateways installiert. Mindestens eines dieser Gateways soll autark betrieben werden können, z.B. durch ein Solarmodul.

Intelligenter Winterdienst (Use Case 1): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Neckarsulm werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit installiert. Die gewonnenen Daten werden dem für den Winterdienst zuständigen Bauhof über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsorientierte Planung der Streuzeiten und -mengen erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die Einsatzplanung allein auf Basis von Erfahrungswerten des Bauhofpersonals. Wird ein vordefinierter Glättewert unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Durch die integrierte Analyse historischer und aktueller Glättedaten sowie weiterer geeigneter Daten, wie z.B. Wetter- und Bodenfeuchtedaten, werden KI-gestützte Glätteteprognosen für das gesamte Stadtgebiet von Neckarsulm erstellt. Zusätzlich wird der Einfluss der Topografie auf die Glättebildung an 2 Standorten durch die zusätzliche Installation von LoRaWAN-Wetterstationen¹ untersucht. Im Sommer dienen die Glättedaten zusammen mit den Bodenfeuchtedaten aus Use Case 2 zur Identifizierung von Hitzeeinseln im Stadtgebiet.

Zusätzlich zu den stationären Winterdienstsensoren werden Infrarot-Temperatursensoren am Boden von städtischen Fahrzeugen montiert. Diese messen während der Fahrt alle 5 Minuten die von der Straßenoberfläche emittierte Infrarotstrahlung, ein sogenannter Mikrocontroller wandelt die Messergebnisse in Temperaturwerte um. So erfolgt eine mobile Erfassung von Straßentemperaturdaten. Auf einer Stadtkarte werden diese mit den zugehörigen Geokoordinaten dargestellt. Möglich wird dies, indem den Infrarot-Temperatursensoren jeweils ein GPS-Tracker zugeordnet wird, der im selben Fahrzeug installiert ist. Auf diese Weise kann die Glätteüberwachung auf weitere Punkte ausgedehnt werden, die nicht von den stationären Sensoren erfasst werden. Die zugrundeliegenden Transportrouten konzentrieren sich möglichst (begrenzt durch die bestehenden Routenpläne der einsetzbaren städtischen Fahrzeuge) auf Teile der Stadt, in denen die Glättegefahr besonders hoch ist, aber (noch) keine stationären Sensoren vorhanden sind. In diesem Zusammenhang können Erkenntnisse generiert werden, wo eine Nachrüstung mit stationären Sensoren erfolgen sollte. Darüber hinaus können die mobilen Temperatursensoren zur verstärkten Überwachung bestimmter Verkehrsflächen bei städtischen Veranstaltungen eingesetzt werden.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Neckarsulm werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und deren Reflektion empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im Behälter

¹ Die Wetterstationen sind mit Sensoren zur Messung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit ausgestattet, was für die topografische Analyse von zentraler Bedeutung ist.

zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsgerechte Planung der Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Intelligente Bewässerung (Use Case 2): Auf öffentlichen Grünflächen in Neckarsulm werden Bodenfeuchtesensoren installiert. Die gewonnenen Daten werden dem für die Bewässerung zuständigen Bauhof über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über den bestehenden Wasserbedarf. In Verbindung mit dem Wissen und der Erfahrung der Gärtnerinnen und Gärtner können so Bewässerungszeitpunkte und -mengen bedarfsorientiert geplant werden. Bei Unterschreitung vordefinierter Feuchtwerte, die auf drohenden Trockenstress hinweisen, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Durch die Nutzung der historischen Datenbasis zusammen mit aktuellen Daten für prädiktive Analysen kann die Bewässerung zunehmend vorausschauend erfolgen. Bei Bedarf kann durch Kopplung der Bodenfeuchtesensoren mit Steuereinheiten, die auf vordefinierte Feuchtegrenzwerte reagieren, eine automatisierte Bewässerung realisiert werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte schalten die Steuereinheiten eigenständig die zugeordneten Sprinkleranlagen ein und bewässern mit der Menge, die erforderlich ist, um den Bodenfeuchtegehalt wieder auf ein in Abhängigkeit vom Wetter sinnvolles Niveau zu bringen.

Ziel des Use Case ist eine effiziente Bewässerung mit genau der Wassermenge, die für die Gesunderhaltung des öffentlichen Grüns notwendig ist. Eine Unterversorgung, die zu Trockenstress führt, soll ebenso vermieden werden wie ein übermäßiger Wasserverbrauch, der Wurzelfäule begünstigt und eine unnötige Ressourcenverschwendung darstellt. Gleichzeitig soll der Bürgerschaft ein transparenter Einblick in den Gesundheitszustand der städtischen Grünflächen gegeben werden.

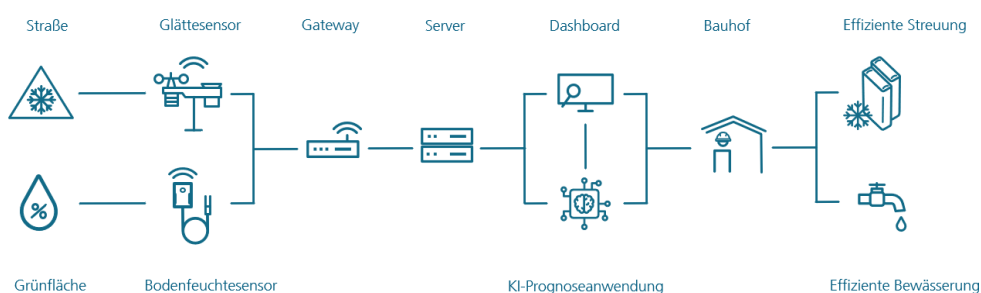


Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Innovationspotenzial: In den Kommunen, die den Winterdienst bereits in der Praxis mit LoRaWAN-Sensorik unterstützen, werden in der Regel ausschließlich stationäre Sensoren eingesetzt. Die ergänzende Einbindung mobiler Sensoren zur Glättemessung, wie mit Neckarsulm angedacht, orientiert sich an einem aktuellen Vorreiterprojekt mit der LPWAN-Technologie NB-IoT in Heidenheim und weist ein hohes Innovationspotenzial auf. Mit einem einzigen mobilen Sensor kann an einem Tag die Glätte an vielen verschiedenen Stellen im Stadtgebiet gemessen werden. Dies ermöglicht eine im Vergleich zu

rein stationären LoRaWAN-Winterdienstsystemen wesentlich großflächigere Glätteüberwachung im Verhältnis zu den eingesetzten Mitteln. Entscheidend für die tatsächliche Innovationskraft ist, inwieweit es gelingt, die Einsatzorte der stationären und mobilen Sensoren optimal aufeinander abzustimmen und geeignete Fahrzeuge bzw. Fahrzeugrouten für den Transport zu identifizieren.

Ein weiteres Innovationspotenzial liegt in der Integration der Daten von Winterdienst- und Bodenfeuchtesensoren mit weiteren Daten, z.B. Wetterdaten, zur KI-gestützten Erstellung von Prognosen für das gesamte Stadtgebiet.

Forschungspotenzial: Ein wesentliches Forschungspotenzial besteht darin, zu untersuchen, inwieweit sich aus den im Projekt gewonnenen Daten Trends, Muster und Zusammenhänge erkennen lassen, die zuverlässige Prognosen von Glätte und Bodenfeuchte ermöglichen. Gleichzeitig kann untersucht werden, welche weiteren Sensoren bzw. Daten kurz- bis langfristig integriert werden können, um die Prognosequalität zu optimieren. In die entsprechenden Forschungsarbeiten können verschiedene Expertinnen und Experten eingebunden werden, z.B. aus den Bereichen Meteorologie, Umwelttechnik, Klimaforschung, Geoinformatik, Statistik, Künstliche Intelligenz und Datenwissenschaften.

Darüber hinaus kann im Rahmen des Use Case »Intelligenter Winterdienst« unter Einbeziehung von LoRaWAN-Wetterstationen (bzw. darin integrierter Windsensoren) an verschiedenen Standorten untersucht werden, wie sich die vorhandene Topografie auf die Glättebildung auswirkt, was die Einsatzplanung für das gesamte Stadtgebiet unterstützen kann.

Ein weiteres Forschungspotenzial besteht darin, zu untersuchen, wie der kombinierte Einsatz von mobilen und stationären Glättesensoren im Use Case »Intelligenter Winterdienst« möglichst nutzbringend gestaltet werden kann. Dies erfordert eine integrierte Betrachtung der verfügbaren Sensorik und Netzabdeckung, der Erfahrungswerte und Arbeitsabläufe des Bauhofpersonals, der Routen der einsetzbaren städtischen Fahrzeuge, des städtischen Verkehrsaufkommens und weiterer Aspekte. Zusätzlich kann ermittelt werden, welche Anzahl von (mobilen und stationären) Sensoren und welche Netzabdeckung und damit welche Investitionen notwendig sind, um den Use Case »Intelligenter Winterdienst« auf das gesamte Stadtgebiet auszuweiten.

Eingrenzung der Use Cases für die praktische Umsetzung: Bei der Planung des Umsetzungsprojektes in Neckarsulm wurde unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden personellen und finanziellen Ressourcen sowie einer detaillierten Bewertung des jeweiligen Einzelnutzens der konzipierten Use Cases entschieden, den Einsatz von mobilen Temperatursensoren sowie Wetterstationen im Use Case »Intelligenter Winterdienst« nicht in die Umsetzung einzubeziehen, sondern für ein weiteres zukünftiges LoRaWAN-Projekt zurückzustellen.

Ausgewählte Hardware-Komponenten:

Tabelle 6: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Neckarsulm)

Gerät	Produkt
Gateways	Kerlink iStation
Glättesensor	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor
Bodenfeuchtesensor	Tinovi TW5/LW5

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet

und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

Projektkonzepte

2.7 Neulingen

Umsetzungspartner: Stadtwerke Pforzheim

Umsetzungszeitraum: Oktober bis Dezember 2024

Use Cases: Gemeinsam mit der Gemeinde Neulingen und den Stadtwerken Pforzheim wurden vier Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Straßenglätte, Bodenfeuchte, Raumklima und Wohnmobilstellplätzen. Um den Betrieb der Use Cases zu ermöglichen, wird in Neulingen ein LoRaWAN-Netzwerk mit 2 Gateways installiert.

Intelligenter Winterdienst (Use Case 1): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Neulingen werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit installiert. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard veröffentlicht und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Der für den Winterdienst zuständige Bauhof kann so Streuzeiten und -mengen bedarfsgerecht planen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Glättewert unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Durch die Nutzung der historischen Datenbasis für prädiktive Analysen kann die Steuerung zunehmend vorausschauend erfolgen.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Neulingen werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und deren Reflektion empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im Behälter zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsgerechte Planung der Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Intelligente Bewässerung (Use Case 2): Auf öffentlichen Grünflächen und Sportplätzen in Neulingen werden Bodenfeuchtesensoren installiert. Die gewonnenen Daten werden den für die Bewässerung zuständigen Bauhofmitarbeitenden, Dienstleister und Vereinsmitgliedern über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über den aktuellen Wasserbedarf. Auf dieser Grundlage können Bewässerungszeitpunkte und -mengen bedarfsgerecht geplant werden. Bei Unterschreitung vordefinierter Feuchtwerte, die auf drohenden Trockenstress hinweisen, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Die vollständige Verlegung der Sensoren in den Untergrund bietet Schutz vor Vandalismus und Beschädigungen durch den Sportbetrieb. Bei Bedarf kann durch Kopplung der Bodenfeuchtesensoren mit Steuereinheiten, die auf vordefinierte Feuchtegrenzwerte reagieren, eine automatisierte Bewässerung realisiert werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte schalten die Steuereinheiten eigenständig die zugeordneten Sprinkleranlagen ein und bewässern mit der Menge, die erforderlich ist, um den Bodenfeuchtegehalt wieder auf ein in Abhängigkeit vom Wetter sinnvolles Niveau zu bringen.

Ziel des Use Case ist eine effiziente Bewässerung mit genau der Wassermenge, die für die Gesunderhaltung des öffentlichen Grüns notwendig ist. Eine Unterversorgung, die zu Trockenstress führt, soll ebenso vermieden werden wie ein übermäßiger Wasserverbrauch, der Wurzelfäule begünstigt und eine unnötige Ressourcenverschwendung darstellt. Gleichzeitig soll der Bürgerschaft ein transparenter Einblick in den Gesundheitszustand der städtischen Grünflächen gegeben werden. Darüber hinaus möchte die Gemeindeverwaltung auf Basis der Bodenfeuchtedaten bestehende Diskussionen mit den Nutzerinnen und Nutzern der Sportplätze über die Bewässerungsmenge entschärfen.

Raumklimaüberwachung (Use Case 3): In der Sporthalle der Gemeinde Neulingen wird ein LoRaWAN-Sensor zur Messung von Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Helligkeit und CO₂-Konzentration installiert. Die gewonnenen Daten werden der Öffentlichkeit über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über das vorhandene Raumklima. Darüber hinaus alarmiert der Sensor die Nutzerinnen und Nutzer der Sporthalle über eine Ampelanzeige, wenn ein vordefinierter Grenzwert überschritten wird, der auf ein drohendes ungesundes Raumklima hinweist. Dies ermöglicht einerseits die gezielte und frühzeitige Einleitung von Lüftungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung eines gesunden Raumklimas. Die Entscheidung, wann und wie viel gelüftet wird, hängt nicht mehr von individuellen, oft divergierenden Befindlichkeiten ab. Zum anderen können die Raumklimadaten vom Facility Management genutzt werden, um Energieverschwendung durch unnötiges Heizen und falsches Lüften zu erkennen und zu vermeiden. Im Zusammenhang mit Sporthallen ist die Raumklimaüberwachung besonders sinnvoll, da sportliche Aktivitäten in Innenräumen schnell zu einer schlechten Luftqualität führen. Ziel des Use Case ist es, die Nutzerinnen und Nutzer der Sporthalle vor einem ungesunden Raumklima zu schützen und Energie einzusparen.

Parkraumüberwachung (Use Case 4): Auf den Wohnmobilstellplätzen in Neulingen werden Parksensoren installiert. Ihre Installation erfolgt jeweils in der Mitte der Stellplätze durch Verschraubung in den Boden. In den Parksensoren sind Magnetometer eingebaut, die minimale Änderungen des Erdmagnetfeldes, wie sie beim Ein- und Ausparken von Fahrzeugen auftreten, erfassen können.

Die Parksensoren senden ein Signal über LoRaWAN, sobald sie eine Änderung des Belegungsstatus registrieren. Auf diese Weise kann die Stellplatzverfügbarkeit nahezu in Echtzeit über verschiedene digitale Kanäle der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, so dass Personen, die Neulingen mit dem Wohnmobil besuchen möchten, vor ihrer Ankunft besser einschätzen können, ob bei ihrer Ankunft ein Stellplatz frei sein wird. Die Gemeindeverwaltung wiederum kann anhand der historischen Datenbasis analysieren, ob mehr oder weniger Wohnmobilstellplätze benötigt werden.

Innovationspotenzial: Neulingen und Ölbronn-Dürren teilen sich im Rahmen eines Zweckverbandes einen Bauhof. Dieser soll an beiden Standorten beim Winterdienst und bei der Bewässerung öffentlicher Grünflächen durch LoRaWAN-Anwendungen unterstützt werden. Vor diesem Hintergrund sollen möglichst einheitliche Rahmenbedingungen für die Nutzung der LoRaWAN-Technologie durch den Bauhof geschaffen werden. Dies gilt sowohl für die zugrundeliegende Hard- und Software als auch für die Handlungsleitlinien zur Datennutzung im betrieblichen Alltag. Dieser Ansatz der interkommunalen Zusammenarbeit bei der Konzeption und dem Betrieb von LoRaWAN-Anwendungen ist als innovativ zu bewerten.

Forschungspotenzial: Ein wesentliches Forschungspotenzial besteht in der Untersuchung von Anforderungen, Chancen und Herausforderungen der interkommunalen Zusammenarbeit im Rahmen der LoRaWAN-Technologie. In Kooperation mit Vertretenden der Gemeinden Neulingen und Ölbronn-Dürren sowie den Stadtwerken Pforzheim können rechtliche, administrative und finanzielle Aspekte bei der interkommunalen Konzeption und Realisierung von LoRaWAN-Anwendungen beleuchtet werden.

Im Kontext des Use Case »Intelligente Bewässerung« können geeignete Anreiz- oder Kontrollsysteme untersucht werden, um die Nutzung der Daten durch die Gärtnerinnen und Gärtner im betrieblichen Alltag sicherzustellen.

Eingrenzung der Use Cases für die praktische Umsetzung: Bei der Planung des Umsetzungsprojektes in Neulingen wurde unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden personellen und finanziellen Ressourcen sowie einer detaillierten Bewertung des jeweiligen Einzelnutzens der konzipierten Use Cases entschieden, den Use Case "Parkraumüberwachung" nicht in die Umsetzung einzubeziehen, sondern für ein weiteres zukünftiges LoRaWAN-Projekt zurückzustellen.

Ausgewählte Hardware-Komponenten:

Tabelle 7: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Neulingen)

Gerät	Produkt
Gateways	Kerlink iStation
Luftqualitätssensor	ELSYS ERS2 CO2 LoRaWAN Luftqualitätssensor
Wasserpegelsensor	Pepperl+Fuchs Wilen Ultraschall- Funksensor
Winterdienstsensor	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

2.8 Ölbronn-Dürrn

Umsetzungspartner: Stadtwerke Pforzheim

Umsetzungszeitraum: Oktober bis Dezember 2024

Use Cases: Gemeinsam mit der Gemeinde Ölbronn-Dürrn und den Stadtwerken Pforzheim wurden fünf Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRa-WAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Überwachung von Hochwasser, Straßenglätte, Bodenfeuchte und Raumklima sowie die intelligente Straßenbeleuchtung. Um den Betrieb der Use Cases zu ermöglichen, wird in Ölbronn-Dürrn ein LoRaWAN-Netzwerk mit 2 Gateways installiert.

Pegelüberwachung (Use Case 1): Am Bachlauf in Ölbronn-Dürrn wird ein Pegelsensor installiert. Dieser misst den Wasserstand, indem er Ultraschallwellen aussendet und die Zeit bestimmt, die diese Wellen benötigen, um von der Wasseroberfläche reflektiert zu werden und zum Sensor zurückzukehren. Steht für die Sensorinstallation keine Brücke zur Verfügung, kann die Installation an einem stabilen Mast erfolgen, der in ausreichender Höhe am Fluss platziert wird. Die gewonnenen Daten werden über ein Dashboard zur Verfügung gestellt, wo sie der Gemeindeverwaltung und Bürgerschaft einen Überblick über den Zustand der lokalen Wasserressourcen und das lokale Hochwasserrisiko geben. Wird ein vordefinierter Pegelstand überschritten, der auf eine drohende Überschwemmung hinweist, löst der Sensor einen Alarm aus. Ölbronn-Dürrn selbst ist derzeit nicht hochwassergefährdet, wohl aber die Nachbargemeinde Ötisheim, die durch die Pegeldata in die Lage versetzt werden soll, fundierte Entscheidungen über die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen bei Starkregenereignissen zu treffen.

Intelligenter Winterdienst (Use Case 2): An verschiedenen neuralgischen Straßenpunkten in Ölbronn-Dürrn werden Sensoren zur Messung der Straßenoberflächen- und Umgebungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit installiert. Die gewonnenen Daten werden über LoRaWAN auf einem Dashboard veröffentlicht und geben dort einen Überblick über die bestehende Straßenglätte. Der für den Winterdienst zuständige Bauhof kann so Streuzeiten und -mengen bedarfsgerecht planen. Kontrollfahrten zur Überprüfung der Glättegefahr entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Glättewert unterschritten, der auf eine hohe Unfallgefahr hinweist, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Durch die Nutzung der historischen Datenbasis für prädiktive Analysen kann die Streuung zunehmend vorausschauend erfolgen.

An den Deckeln der Streusalzbehälter in Ölbronn-Dürrn werden Füllstandssensoren angebracht. Sie verfügen über ein Radarmodul, das elektromagnetische Wellen aussendet und deren Reflektion empfängt, um den Abstand zur Oberfläche des Inhalts im Behälter zu messen. Dies ermöglicht eine Erweiterung des Dashboards um Daten über die jeweils vorhandene Streusalzmenge in den Streusalzbehältern. Auf dieser Grundlage kann eine bedarfsgerechte Planung der Nachfüllfahrten erfolgen. Kontrollfahrten zur Überprüfung des Nachfüllbedarfs entfallen ebenso wie die allein auf Erfahrungswerten des Bauhofpersonals basierende Einsatzplanung. Wird ein vordefinierter Füllstand unterschritten, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Anhand der historischen Datenbasis kann beurteilt werden, ob eine Neupositionierung einzelner Streusalzbehälter sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, die Mitarbeitenden und den Fuhrpark des Bauhofes im Zusammenhang mit dem Winterdienst zu entlasten, die Verkehrssicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen und versicherungsrechtliche Fragen zum Verschulden des Bauhofes bei Glätteunfällen besser klären zu können.

Intelligentes Gebäudemanagement (Use Case 3): In kommunalen Gebäuden in Ölbronn-Dürrn werden LoRaWAN-Sensoren zur Messung des Energieverbrauchs (Smart Meter) sowie von Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Helligkeit und CO₂-Konzentration (Raumklimasensoren) installiert. Die gewonnenen Daten werden dem in den Gebäuden arbeitenden Verwaltungspersonal über ein Dashboard zur Verfügung gestellt, das eine kombinierte Betrachtung von Energieverbrauch und Raumklima ermöglicht. Auf dieser Basis kann die Beheizung und Belüftung der Gebäude und damit die Energieeffizienz optimiert werden. Bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte, die auf ein drohendes ungesundes Raumklima hinweisen, lösen die Raumklimasensoren einen Alarm über eine Ampelanzeige aus. Dies ermöglicht eine gezielte und frühzeitige Einleitung von Lüftungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung eines gesunden Raumklimas. Die Entscheidung, wann und wie viel gelüftet wird, ist nicht mehr von individuellen, oft divergierenden Befindlichkeiten abhängig.

Ziel des Use Case ist es, Personen in den überwachten Verwaltungsgebäuden vor ungesundem Raumklima zu schützen und Energie einzusparen.

Intelligente Bewässerung (Use Case 4): Auf Sportplätzen und öffentlichen Grünflächen in Ölbronn-Dürrn werden Bodenfeuchtesensoren installiert. Die gewonnenen Daten werden den für die Bewässerung zuständigen Bauhofmitarbeitenden, Dienstleister und Vereinsmitgliedern über ein Dashboard zur Verfügung gestellt und geben dort einen Überblick über den aktuellen Wasserbedarf. Auf dieser Grundlage können Bewässerungszeitpunkte und -mengen bedarfsgerecht geplant werden. Bei Unterschreitung vordefinierter Feuchtwerte, die auf drohenden Trockenstress hinweisen, lösen die Sensoren einen Alarm aus. Die vollständige Verlegung der Sensoren in den Untergrund bietet Schutz vor Vandalismus und Beschädigungen durch den Sportbetrieb. Bei Bedarf kann durch Kopplung der Bodenfeuchtesensoren mit Steuereinheiten, die auf vordefinierte Feuchtigkeitsgrenzwerte reagieren, eine automatisierte Bewässerung realisiert werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte schalten die Steuereinheiten eigenständig die zugeordneten Sprinkleranlagen ein und bewässern mit der Menge, die erforderlich ist, um den Bodenfeuchtegehalt wieder auf ein in Abhängigkeit vom Wetter sinnvolles Niveau zu bringen.

Ziel des Use Case ist eine effiziente Bewässerung mit genau der Wassermenge, die für die Gesunderhaltung des öffentlichen Grüns notwendig ist. Eine Unterversorgung, die zu Trockenstress führt, soll ebenso vermieden werden wie ein übermäßiger Wasserverbrauch, der Wurzelfäule begünstigt und eine unnötige Ressourcenverschwendung darstellt. Gleichzeitig soll der Bürgerschaft ein transparenter Einblick in den Gesundheitszustand der städtischen Grünflächen gegeben werden.

Intelligente Straßenbeleuchtung (Use Case 5): In Ölbronn-Dürrn werden an den verkehrsreichsten Straßen sogenannte Zeitschaltuhren zur intelligenten Steuerung der Straßenbeleuchtung installiert. Die Installation erfolgt in den Verteilerkästen, die den Straßen und der dortigen Beleuchtung zugeordnet sind. Die Zeitschaltuhren überwachen zum einen die Stromversorgung aller Leuchten ihres jeweiligen Straßenabschnitts und lösen bei Störungen einen Alarm beim für die Beleuchtungsinfrastruktur zuständigen Bauhof aus. Dadurch reduziert sich der Wartungsaufwand und Reparaturen können frühzeitig durchgeführt werden. Darüber hinaus ermöglichen die Zeitschaltuhren eine individuelle Fernsteuerung der Beleuchtungszeiten und -stärken, um bedarfsgerechte Anpassungen z.B. an bestimmte Witterungsverhältnisse oder bei Volksfesten vorzunehmen. Ziel des Use Case ist es, die Sicherheit der Bürgerschaft zu erhöhen, die Energie-, Wartungs- und Reparaturkosten für die Straßenbeleuchtung zu senken und den Bauhof zu entlasten.

Innovationspotenzial: Neulingen und Ölbronn-Dürrn teilen sich im Rahmen eines Zweckverbandes einen Bauhof. Dieser soll an beiden Standorten beim Winterdienst und bei der Pflege öffentlicher Grünflächen durch LoRaWAN-Anwendungen unterstützt werden. Vor diesem Hintergrund sollen möglichst einheitliche Rahmenbedingungen für die

Nutzung der LoRaWAN-Technologie durch den Bauhof geschaffen werden. Dies gilt sowohl für die zugrundeliegende Hard- und Software als auch für die Handlungsleitlinien zur Datennutzung im betrieblichen Alltag. Dieser Ansatz der interkommunalen Zusammenarbeit bei der Konzeption und dem Betrieb von LoRaWAN-Anwendungen ist als innovativ zu bewerten.

Innovationspotenzial liegt darüber hinaus in der geplanten Implementierung eines von Ölbronn-Dürrn und Ötisheim gemeinsam genutzten Pegelsensors. Dieser wird an einem Bach in Ölbronn-Dürrn installiert, die gewonnenen Daten können aufgrund der räumlichen Nähe der beiden Gemeinden auch von Ötisheim für die Hochwasservorhersage genutzt werden. Somit kann Ötisheim auf die Anschaffung, Installation und Wartung eines eigenen Pegelsensors verzichten.

Ausgehend von der gemeinsamen Nutzung des Pegelsensors durch Ölbronn-Dürrn und Ötisheim soll das Projekt einen Impuls für die Entwicklung innovativer interkommunaler LoRaWAN-Systeme für den Hochwasserschutz geben, in die Kommunen eines ganzen Landkreises, Regierungsbezirks oder Bundeslandes eingebunden sind. Dabei werden Pegelsensoren strategisch so platziert, dass für alle Kommunen ein maximaler Informationsgewinn bei minimalem Infrastrukturaufwand erzielt wird. Die gewonnenen Daten werden anschließend analysiert, um Trends, Muster und Zusammenhänge in der regionalen Hochwasserentwicklung zu verstehen und ein zunehmend vorausschauendes Handeln zu ermöglichen. Ziel ist es, dass, wenn ein bestimmter Pegelsensor einen Hochwasseralarm auslöst, alle Gemeinden einer Region genau ableiten können, was dies für sie unter Berücksichtigung ihrer geografischen Lage bedeutet.

Forschungspotenzial: Ein wesentliches Forschungspotenzial besteht in der Untersuchung von Anforderungen, Chancen und Herausforderungen der interkommunalen Zusammenarbeit im Rahmen der LoRaWAN-Technologie. In Kooperation mit Vertretenden der Gemeinden Neulingen und Ölbronn-Dürrn und deren Dienstleistern sowie den Stadtwerken Pforzheim können rechtliche, administrative und finanzielle Aspekte bei der interkommunalen Konzeption und Realisierung von LoRaWAN-Netzwerken und -Anwendungen beleuchtet werden.

Daneben kann untersucht werden, wie sich auf Basis von LoRaWAN interkommunale Frühwarnsysteme zur Optimierung des Hochwasserschutzes realisieren lassen. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Expertinnen und Experten, z.B. aus den Bereichen öffentliche Verwaltung, IoT, Geoinformatik, Hydrologie, Katastrophenschutz, kann eine wissenschaftlich fundierte Vorgehensweise für die regionale Platzierung von Pegelsensoren entwickelt werden, die einen maximalen Erkenntnisgewinn bei minimalem Infrastruktureinsatz zum Ziel hat. Der Enzkreis, in dem Ölbronn-Dürrn liegt, kann im Rahmen der Forschungsarbeiten exemplarisch als Orientierung dienen.

Des Weiteren kann im Rahmen des Projekts das Integrationspotenzial verschiedener LoRaWAN-Sensortypen für die Entwicklung effektiver Vorhersagemodelle für den Hochwasserschutz untersucht werden. Im Mittelpunkt stehen dabei die Forschungsfragen, welche Sensoren neben Pegelsensoren hochwasserrelevante Informationen liefern können und welche Wechselwirkungen zwischen den Sensordaten bestehen. Diese Fragen können in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen Disziplinen der Umweltwissenschaften beantwortet werden.

Im Kontext des Use Case »Intelligente Bewässerung« können geeignete Anreiz- oder Kontrollsysteme untersucht werden, um die Nutzung der Daten durch die Gärtnerinnen und Gärtner im betrieblichen Alltag sicherzustellen.

Eingrenzung der Use Cases für die praktische Umsetzung: Bei der Planung des Umsetzungsprojektes in Ölbronn-Dürrn wurde unter Berücksichtigung der zur Verfügung

stehenden personellen und finanziellen Ressourcen sowie einer detaillierten Bewertung des jeweiligen Einzelnutzens der konzipierten Use Cases entschieden, den Aspekt der Energieverbrauchsmessung im Use Case »Intelligentes Gebäudemanagement« sowie den Use Case "Intelligente Straßenbeleuchtung" nicht in die Umsetzung einzubeziehen, sondern diese für ein weiteres zukünftiges LoRaWAN-Projekt zurückzustellen.

Ausgewählte Hardware-Komponenten:

Tabelle 8: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Ölbronn-Dürrn)

Gerät	Produkt
Gateways	Kerlink iStation
Luftqualitätssensor	ELSYS ERS2 CO2 LoRaWAN Luftqualitätssensor
Wasserpegelsensor	Pepperl+Fuchs Wilsen Ultraschall- Funksensor
Winterdienst	Decentlab DL-WRM-002 LoRaWAN Infrarot Winterdienstsensor

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

Umsetzungspartner: Citysens, Fichtner IT Consulting

Umsetzungszeitraum: September bis Dezember 2024

Use Cases: Gemeinsam mit der Stadt Ulm, citysens und Fichtner IT Consulting wurden zwei Use Cases konzipiert, die für eine praktische Umsetzung im Rahmen der Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw in Betracht kommen. Diese betreffen die Visualisierung von Straßensperren und die Unterstützung von Einsatzkräften bei städtischen Veranstaltungen durch GPS-Tracker. Das bestehende kommunale LoRaWAN-Netzwerk in Ulm ermöglicht den Betrieb der Use Cases.

Visualisierung von Straßensperren (Use Case 1): In Ulm gibt es über das Jahr verteilt mehrere Veranstaltungen und Baustellen, für die temporäre Straßensperren erforderlich sind. Bisher war es eine große Herausforderung, die Errichtung und vor allem Aufhebung dieser Sperren der breiten Öffentlichkeit effektiv zu kommunizieren, da die personellen Kapazitäten für eine kontinuierliche Information über die Presse und die Online-Kanäle der Stadt fehlten.

Vor diesem Hintergrund wird in Ulm Absperrmaterial für Straßensperren mit Asset-Trackern ausgestattet. Diese sind mit einem GPS-Modul ausgestattet, das in festgelegten Zeitintervallen Satellitensignale zur Positionsbestimmung empfängt. Sobald eine Straßensperre errichtet ist, wird der entsprechende Asset-Tracker am zugehörigen Absperrmaterial durch das zuständige Auf- und Abbauteam aktiviert und der jeweilige Standort auf einer digitalen Stadtkarte angezeigt. Über eine einfache Eingabemaske können über den Standort hinausgehende Informationen, wie z.B. die ungefähre Dauer der Sperre, die Art der Verkehrsbeeinträchtigung und Ausweichrouten, in die Karte integriert werden. Ändert sich die Position eines Trackers um einen festgelegten Abstand, der darauf hindeutet, dass die entsprechende Straßensperre aufgehoben wurde, wird dies durch eine Logik erkannt, die eigenständig eine entsprechende Aktualisierung der Karte veranlasst. Alternativ kann die Aufhebung einer Straßensperre auch durch Abschalten des Trackers signalisiert werden, z.B. wenn das Absperrmaterial nach Aufhebung der Straßensperre nicht sofort entfernt, sondern nur zur Seite geschoben wird. Im Ergebnis kann die Öffentlichkeit - bei relativ geringem Kommunikationsaufwand für die Stadtverwaltung - in übersichtlicher Form und gebündelt an einem Ort über alle bestehenden Straßensperren informiert werden. Ein positiver Nebeneffekt des beschriebenen Verfahrens ist, dass das getrackte Absperrmaterial bei Diebstahl oder sonstigem Verlust leichter wiedergefunden werden kann.

Alternativ können die Auf- und Abbauteams die GPS-Tracker mit sich führen und über in den Trackern integrierte Kontaktknöpfe die Errichtung und Aufhebung von Straßensperren melden. Wird ein Knopf an einer Stelle zum ersten Mal gedrückt, wird dort auf der Karte eine Straßensperre angezeigt. Jeder weitere Knopfdruck an (ungefähr) der gleichen Stelle führt abwechselnd zur Aufhebung und Wiedererrichtung dieser Straßensperre. Dieses Verfahren ermöglicht es, innerhalb kurzer Zeit den Status mehrerer Straßensperren mit einem einzigen Tracker zu aktualisieren.

Ein weiterer Ansatz besteht darin, geplante Straßensperren, z.B. im Rahmen von städtischen Großveranstaltungen, auf einer digitalen Stadtkarte vorzudefinieren. Anschließend können Auf- und Abbauteams den Status dieser Sperren auf der Karte einfach aktualisieren, indem sie die GPS-Tracker mit Kontaktknopf verwenden. Wird der Knopf eines Trackers in unmittelbarer Nähe einer der vordefinierten Straßensperren zum ersten Mal betätigt, wird die Sperre auf der digitalen Karte veröffentlicht, beim zweiten Mal wieder aufgehoben. Dies scheint der vielversprechendste Ansatz zu sein, da er nicht auf eine exakte GPS-Datenübertragung angewiesen ist.

Unabhängig von der genauen Vorgehensweise soll die Karte zunächst über die Homepage bzw. das Daten-Dashboard der Stadt Ulm und über veranstaltungsspezifische Internetseiten zugänglich gemacht werden. Zu einem späteren Zeitpunkt ist auch eine Kommunikation über (noch in Entwicklung befindliche) digitale Anzeigetafeln der Stadt, über Monitore in städtischen Parkhäusern und über die Mobilitäts-App der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm vorgesehen. Darüber hinaus kann mit den Stadtwerken Ulm/Neu-Ulm geprüft werden, ob eine Integration in deren Fahrgast-TV in den städtischen Bussen und Straßenbahnen möglich und sinnvoll ist.

Ziel des Use Case ist es, den Komfort für die Bürgerschaft und Besuchende bei der Fortbewegung in der Stadt zu erhöhen, den Verkehrsfluss zu optimieren und damit verkehrsbedingten Lärm und CO₂-Emissionen zu reduzieren. Eine Erprobung des Use Case soll erstmals im Rahmen des Einstein-Marathons erfolgen, der alljährlich im Herbst in Ulm stattfindet und eine der größten Laufveranstaltungen in Süddeutschland darstellt. Typischerweise werden dort bis zu 250 Straßensperren errichtet.

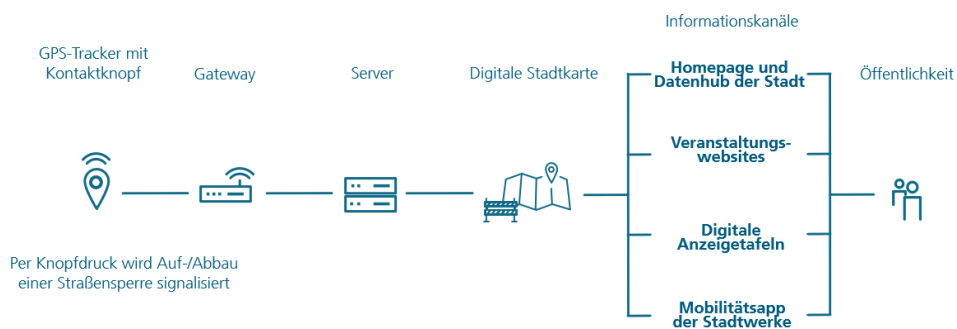


Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

GPS-Tracking von Sicherheits- und Rettungsdiensten (Use Case 2): In Ulm werden die mobilen Einsatzteams der Rettungs- und Sicherheitsdienste bei städtischen Großveranstaltungen mit Personen-Trackern ausgestattet. Diese verfügen über ein GPS-Modul, das in regelmäßigen Abständen Satellitensignale zur Positionsbestimmung empfängt, und einen Notfallknopf. Auf Basis der Tracker ist es möglich, die Standorte der mobilen Einsatzkräfte zusammen mit denen der stationären Einsatzkräfte auf einer digitalen Stadtkarte abzubilden und sofortige, ortsbezogene Alarmierungen durchzuführen. So kann die Einsatzkoordination vor dem Hintergrund oft unübersichtlicher und über das Stadtgebiet verteilter Veranstaltungsorte optimiert werden. Die Karte kann nur intern genutzt werden oder auch der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, so dass z.B. Veranstaltungsbesuchende Einsatzkräfte gezielt ansteuern bzw. im Notfall an den richtigen Ort lotsen können. Der Zugriff auf die Karte soll über die Homepage bzw. das Daten-Dashboard der Stadt Ulm sowie über veranstaltungsspezifische Internetseiten und Apps erfolgen. Ziel des Use Case ist es, die Arbeit von Rettungs- und Sicherheitsdiensten bei städtischen Veranstaltungen zu vereinfachen und damit die öffentliche Sicherheit zu erhöhen.

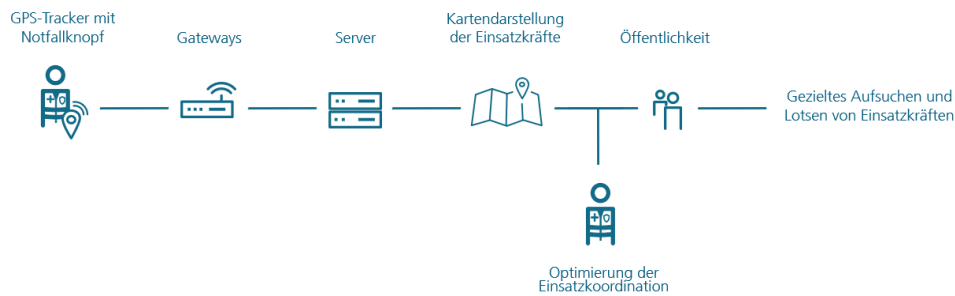


Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)

Innovationspotenzial: Der Einsatz von LoRaWAN-fähigen GPS-Trackern zur Visualisierung von Straßensperren ist als innovativ zu bewerten, da bisher keine entsprechende Anwendung von einer Kommune realisiert wurde, jedoch ein konkreter Nutzen erkennbar ist. Wenn es gelingt, ein Verfahren zu etablieren, das im operativen Alltag eine große Nutzerfreundlichkeit aufweist und zuverlässige Informationen gewährleistet, besteht ein hohes Skalierungspotenzial auf andere Städte, insbesondere größere Städte. Gleiches gilt für den Einsatz von LoRaWAN-fähigen GPS-Trackern zur Unterstützung von Einsatzkräften bei städtischen Veranstaltungen. Entscheidend für die tatsächliche Innovationskraft ist neben der technischen Funktionalität vor allem, inwieweit es gelingt, die in den Use Cases generierten Informationen in die Breite der Ulmer Bürger- und Besucherschaft zu tragen.

Forschungspotenzial: Ein wesentliches Forschungspotenzial besteht darin, zu untersuchen, wie die in den Use Cases 1 und 2 gewonnenen Informationen kommuniziert werden können, damit sie eine breite Anwendung in der Ulmer Bürgerschaft und bei Besuchenden der Stadt finden. Grundlage hierfür können Bürgerbefragungen sein, in deren Rahmen bestehende und geplante Informationskanäle evaluiert und weiterentwickelt sowie Konzepte für gänzlich neue Informationskanäle konzipiert werden. Bei der Auswahl der Befragten sollte auf eine Diversität geachtet werden, die den vielfältigen Gewohnheiten und Präferenzen des heutigen Informationskonsums Rechnung trägt. Darüber hinaus können Expertinnen und Experten aus relevanten Bereichen wie Kommunikationswissenschaft, Psychologie und Informationsdesign in die Untersuchung einbezogen werden. Die Analyse der Zugriffszahlen auf die digitalen Karten über verschiedene Kanäle, wie z.B. das Daten-Dashboard der Stadt, kann ebenfalls wichtige Erkenntnisse liefern. Nicht nur über die Beliebtheit einzelner Kanäle, sondern auch über die Wirksamkeit verschiedener Marketingstrategien.

Des Weiteren kann untersucht werden, wie der Nutzen von den GPS-Trackern von den Auf- und Abbauteams sowie den Einsatzkräften in der Praxis bewertet wird. Grundlage hierfür können Befragungen sein, in denen die wahrgenommenen Vorteile, Nachteile, Anforderungen, Chancen und Herausforderungen diskutiert werden. Abhängig von den Ergebnissen können anschließend Möglichkeiten zur Prozessoptimierung abgeleitet werden.

Ausgewählte Hardware-Komponenten:

Tabelle 9: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Ulm)

Gerät	Produkt
GPS-Tracker	ioTracker 3

Die Auswahl der Hardware basierte auf einem fundierten Marktvergleich, bei dem Kosten, Qualität, Verfügbarkeit und Beschaffungsdauer verschiedener Produkte betrachtet und vor dem Hintergrund der finanziellen Projektmittel, der Anwendungsziele und der zeitlichen Projektanforderungen priorisiert wurden. Als Bewertungsgrundlage für die Produktqualität dienten die von den Herstellern angegebenen Leistungsparameter, online verfügbare Rezensionen sowie persönlich übermittelte Erfahrungsberichte von projektinternen und -externen IoT-Dienstleistern und Kommunen.

Projektkonzepte

<i>Abbildung 1: Überblick über die Arbeitsschritte im Projekt »Smart City LoRaWAN Integration Labs@bw« (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>2</i>
<i>Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der Use Case-Funktionalität (Quelle: Fraunhofer IAO, 2024)</i>	<i>35</i>

<i>Tabelle 1: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Friedrichshafen).....</i>	<i>7</i>
<i>Tabelle 3: Geeignete Hardware-Komponenten (Brigachtal).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 5: Geeignete Hardware-Komponenten (Herrenberg).....</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 7: Geeignete Hardware-Komponenten (Karlsruhe).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 8: Geeignete Hardware-Komponenten (Knittlingen)</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 9: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Neckarsulm).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 11: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Neulingen)</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 13: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Ölbronn-Dürrn)</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 15: Ausgewählte Hardware-Komponenten (Ulm).....</i>	<i>35</i>