

**Konzept zur Umsetzung der Anwendungsfälle
Smart Waste, Anwohnerparken und Umweltdatenerfassung
unter Einsatz von LoRaWAN Technologie**

Inhaltsverzeichnis

1	Smart City Bielefeld.....	3
2	Ausgangssituation.....	3
3	Anwendungsfälle.....	5
3.1	Smart Waste.....	5
3.1.1	Ziele und Nutzen des Anwendungsfalls	5
3.1.2	Analyse geeigneter Messmethoden	5
3.1.3	Installationsanforderungen.....	7
3.1.4	Mögliche Einsatzgebiete	7
3.2	Anwohnerparken	9
3.2.1	Ziele und Nutzen des Anwendungsfalls	9
3.2.2	Analyse geeigneter Messmethoden	9
3.2.3	Installationsanforderungen.....	11
3.2.4	Mögliche Einsatzgebiete	13
3.3	Umweltdatenerfassung.....	14
4	Datenfluss	16
5	Visualisierung und Bereitstellung der Daten	18
6	Kostenabschätzung.....	19
7	Fazit	21

1 Smart City Bielefeld

Auszug aus der Smart City Strategie des Digitalisierungsbüros:

Auf dem Weg zur Smart City setzt Bielefeld auf eine ganzheitliche Betrachtung von Stadtentwicklung, Digitalisierung, Krisenresilienz und Nachhaltigkeit als ineinandergreifende Elemente für die Gestaltung unserer Stadt. Die Digitalisierung ermöglicht es uns, neue Wege einzuschlagen, um uns den gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit gemeinsam zu stellen und unsere Stadt gemeinwohlorientiert, zukunftsfähig und krisenresilient zu machen. Die Smart City als vielfältiges und sektorübergreifendes Handlungsfeld städtischer Entwicklung und Zukunftsfähigkeit gewinnt zunehmend an Bedeutung. Um sowohl im städtischen, als auch gesellschaftlichen Kontext eine Sprache zu sprechen, wurde vom Digitalisierungsbüro nachfolgendes Verständnis der Smart City Bielefeld abgeleitet:

„In der Smart City Bielefeld entdecken und verbinden wir die Vorteile von analoger und digitaler Welt miteinander.

Mit vereinten Kräften und kreativen Köpfen erschaffen wir neue Mehrwerte für Mensch und Natur, die begeistern.

Die Entwicklung zur intelligenten Stadt und der gesellschaftliche Kulturwandel gehen dabei Hand in Hand.

Ideen und Daten bilden das Fundament unserer Smart City“

2 Ausgangssituation

Der Digitalisierungsausschuss der Stadt Bielefeld hat in seiner Sitzung (DA/008/2021) am 21.10.2021 den Beschluss gefasst, die Anwendungen Anwohnerparken, Smart Waste und Umweltdatenerfassung mit Hilfe der LoRaWAN-Technologie umzusetzen. Der Beschluss (s. Abbildung 1) ist mit dem Ziel gefasst worden, durch den Einsatz von intelligenter Sensorik einen Mehrwert für die Bürger:innen in Bielefeld zu schaffen.

Beschluss:

- 1. Die Verwaltung wird beauftragt, gemeinsam mit den Stadtwerken Bielefeld mit Hilfe der LoRaWAN-Technologie die Anwendungen Anwohnerparken, Smart Waste und Umweltdatenerfassung umzusetzen. Ein Konzept zur Umsetzung der drei Anwendungen ist dem Digitalisierungsausschuss Anfang des Jahres 2022 vorzustellen. Die durch die Anwendungen erfassten Daten sind im OpenData-Portal der Stadt darzustellen.**
- 3. Eine Erhöhung des Budgets durch die Beteiligung Dritter (z.B. Stadtwerke Bielefeld) sowie weitere Fördermöglichkeiten sollen geprüft werden.**

Abbildung 1: Beschluss des Digitalisierungsausschusses vom 21.10.2021

In der darauffolgenden Sitzung des Digitalisierungsausschusses am 17.11.2021 folgte ein Zusatz, bei dem eine technologieoffene Herangehensweise an die Use-Cases beschlossen wurde (s. Abbildung 2).

Beschluss:

Der öffentliche Teil der Niederschrift über die Sitzung des Digitalisierungsausschusses am 21.10.2021 wird mit folgendem Zusatz zu Tagesordnungspunkt 2.2 nach Inhalt und Form genehmigt. Der Zusatz lautet: „Herr Eichler teilt mit: Die Use Cases werden an eine vorhandene Technologie geknüpft, das ist nicht unbedingt das ideale Vorgehen, da damit die Technologieoffenheit beeinträchtigt sein könnte. Darin kann ein Risiko bestehen. Wir empfehlen die Herangehensweise als Innovationsmanagement anzulegen und zunächst die Use Cases / Konzepte für Anwendungen zu entwickeln und ausgehend davon die techn. Lösung.“

Abbildung 2: Zusatz zum Beschluss vom 17.11.2021

Um den Beschluss mit Blick auf die angeführte Technologieoffenheit einzuordnen, wird im Folgenden kurz auf die Funktechnologie LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) in Abgrenzung zu weiteren Funktechnologien eingegangen.

Die Funktechnologie LoRaWAN zeichnet sich im Allgemeinen für den Einsatz im Smart City Kontext aus, da sie energiesparsam arbeitet und die Sensoren i.d.R. mit Batterien betrieben werden können. Ein weiteres Merkmal der Technologie ist die niedrige Übertragungsfrequenz. Diese ermöglicht zum einen die Übertragung von Daten über weite Strecken, wodurch eine gute Netzabdeckung erreicht werden kann. Zum anderen bietet die niedrige Übertragungsfrequenz eine starke Gebäudedurchdringung, was den Einsatz von Sensoren innerhalb von Gebäuden ermöglicht.

Allerdings ist LoRaWAN nicht für jeden Anwendungsfall im Rahmen einer Smart City geeignet. Da die Funktechnologie in der Größe der zu übermittelnden Datenrate begrenzt ist, bietet sie sich nicht für datenintensive Anwendungsfälle wie bspw. die Übertragung von Tönen oder Bildern an. Für diese Szenarien ist die Nutzung von Mobilfunk oder WLAN deutlich besser geeignet.

In diesem Kontext soll das Konzept den Einsatz von LoRaWAN für die genannten Anwendungsfälle betrachten, diesen jedoch in Abhängigkeit zu den Zielen der Anwendungsfälle hinterfragen und prüfen, ob eine alternative Technologie für die Übertragung der Daten besser geeignet ist.

3 Anwendungsfälle

3.1 Smart Waste

Der Anwendungsfall Smart Waste beinhaltet die Erfassung von Füllständen an öffentlichen Mülleimern durch den Einsatz von LoRaWAN Sensorik. In diesem Anwendungsfall ist LoRaWAN die ideale Übertragungstechnologie, da nur kleine Datenmengen erfasst werden und durch die Energiesparsamkeit lange Laufzeiten der Sensoren erreicht werden.

3.1.1 Ziele und Nutzen des Anwendungsfalls

Die Überwachung von Füllständen bietet die Möglichkeit der Erfassung von Informationen über den Zustand von dezentralen Mülleimern oder Containern. Das Ziel liegt hierbei in der Ermittlung von Statusinformationen der Objekte zur Analyse der individuellen Auslastung. Anhand der Sensoren können Daten über den Füllstand erhoben werden, welche innerhalb einer IoT-Plattform erfasst, digitalisiert und visualisiert werden. Durch die Betrachtung dieser Daten in Zeitreihen, können die Füllstände der jeweiligen Mülleimer mit Blick auf die Auslastung analysiert werden. Hiervon abgeleitet lassen sich Maßnahmen ergreifen, um die Leerung der Mülleimer effizienter zu gestalten. So können bspw. die Routen zur Entleerung der Mülleimer anhand der Informationen optimiert oder auch die Menge an vorhanden Mülleimern angepasst werden.

Ein weiterer Nutzen liegt im Bereich des Beschwerdemanagements. Anhand der Informationen zur Auslastung der Mülleimer können überfüllte Mülleimer frühzeitig erkannt werden, wodurch den Beschwerden der Bürger:innen zuvorgekommen und einer Verschmutzung der Umwelt proaktiv entgegengewirkt wird.

3.1.2 Analyse geeigneter Messmethoden

Für die Messung von Füllständen sind diverse Anbieter mit unterschiedlichen Messmethoden am Markt verfügbar. Bei der Auswahl der Sensorik spielen neben der Messmethode und ihrer Genauigkeit, der Formfaktor und die Installationsmöglichkeiten (4.1.3) des Sensors eine wichtige Rolle. Die Messmethoden der Sensoren lassen sich in drei Hauptarten unterscheiden:

1. Ultraschall Sensor

Eine weit verbreitete Methode ist die Messung anhand von Ultraschall Sensoren. Hierbei werden vom Sensor Ultraschallwellen in Richtung des Abfalls abgegeben. Je nach Schnelligkeit und Stärke der zurückgeworfenen Wellen wird die Differenz zwischen Abfall und Sensor und somit der Füllstand berechnet.

2. Radar Sensor

Ähnlich wie bei Sensoren mit Ultraschall, werden bei Radar Sensoren Wellen verschickt, wodurch sich der Füllstand berechnet. Im Vergleich zu Ultraschall, ist die Radar Technik allerdings noch genauer. Die Technologie bietet außerdem die Möglichkeit, den Inhalt eines Behälters auch von außen zu

messen. Voraussetzung ist hierbei ein nicht metallischer Behälter.

3. Optischer Sensor

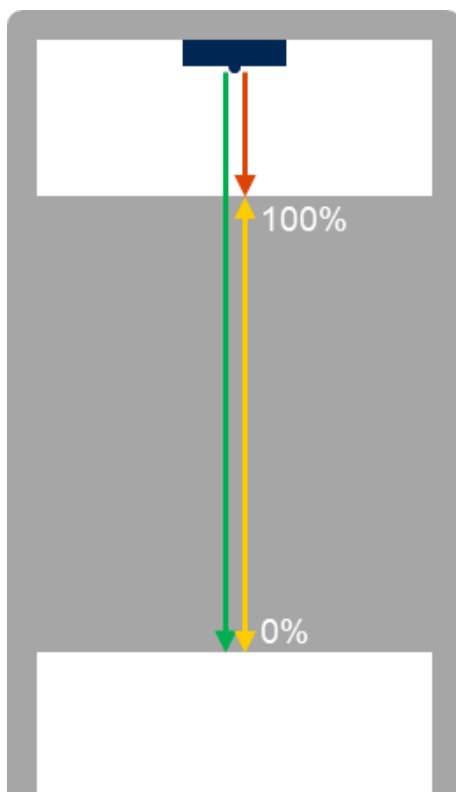
Bei optischen Sensoren wird der Füllstand durch Licht gemessen. Häufig wird hierbei auf das ToF (time of flight) Prinzip gesetzt, bei dem der Sensor Lichtimpulse ausgibt und die Dauer berechnet, die die Impulse vom Sensor zum Objekt und wieder zurück benötigen. Anhand eines Messfelds, das aus mehreren Punkten besteht, kann somit ein genaues Bild des Inhalts errechnet werden. Dieses Messprinzip ermöglicht die Betrachtung von unregelmäßigen Oberflächen und erkennt dadurch die unterschiedlichen Höhen und Tiefen des im Behälter befindlichen Inhalts.

4. Sensor Kombination

Um die Vorteile von unterschiedlichen Methoden zu kombinieren, setzen diverse Hersteller auf das Zusammenspiel von mehreren Messmethoden wie bspw. Radar und ToF.

Die Batterielaufzeit der Sensoren richtet sich nach der Messmethode, der Batteriekapazität, dem Sendungsintervall und der Empfangsqualität am Einsatzort. Wenn der Sensor alle zwei Stunden einen Wert versendet und an dem Standort ein guter Empfang verfügbar ist, kann die Batterie bis zu 12 Jahre halten.¹

Die meisten Füllstandssensoren messen den Abstand zwischen Sensor und Objekt. Dieser Abstand wird über den Sensor in Millimeter oder Zentimeter übermittelt.



Für die Berechnung des Füllstands wird der Abstand zwischen dem Sensor und der Oberkante des Mülleimers (Rote Linie) gemessen und vom Abstand zwischen Sensor und dem Boden des Mülleimers (Grüne Linie) abgezogen. Somit wird der zu messende Bereich (Gelbe Linie) festgelegt.

Auf der IoT-Plattform ist dann der Füllstand des jeweiligen Mülleimers in Prozent angegeben. Je nach Messmethode wird der höchste gemessene Punkt für den Füllstand herangezogen oder aber anhand einer 3D-Analyse, der real verfügbare Platz ermittelt.

Neben dem Füllstand übermitteln die Sensoren je nach Hersteller noch die interne Temperatur im Sensor in °C und die Spannung der Batterie in V.

¹ <https://www.sentinum.de/apollon-q/>

3.1.3 Installationsanforderungen

Die auf dem Markt verfügbaren Sensoren haben eine durchschnittliche Größe von ca. 11x5x3cm und bieten unterschiedliche Möglichkeiten zur Montage. Für die Montage des Sensors ist es zwingend erforderlich, dass der Mülleimer über einen Deckel, eine Abdeckung oder einen Bügel verfügt, welcher über dem Mülleimer ist. Hier werden die Sensoren anhand einer der aufgeführten Montagearten installiert.

1. Montage mittels Magneten

An die Sensoren können je nach Modell 2-4 Magneten angebracht werden. Diese Montageart empfiehlt sich bei Mülleimern, bei denen der Sensor flexibel ab und an montiert werden soll. Hierbei besteht allerdings die Gefahr, dass der Sensor von Dritten entfernt wird. Somit ist er in diesem Fall nicht vor Diebstahl geschützt.

2. Montage mittels Kleber

Die Sensoren können mittels Montagkleber in den Mülleimer installiert werden. Hierdurch wären die Sensoren fest verbaut und vor Diebstahl geschützt. Nachteil an dieser Montageart ist der Wechsel von Batterien oder die Instandhaltung des Sensors. Des Weiteren wird hierdurch auch ein Wechsel des Mülleimers schwierig, da der Sensor mit diesem fest verbunden ist.

3. Montage mittels Schrauben

Je nach Ausführung des Mülleimers, können die Sensoren auch verschraubt werden. Hierfür müssen bei Bedarf, Löcher in den Mülleimer gebohrt werden, um den Sensor dann mit Schrauben und Muttern zu fixieren. Ähnlich wie beim Kleben liegt der Vorteil hier in der starken Befestigung des Sensors und dem Schutz gegen Diebstahl. Allerdings könnte der Sensor bei dieser Methode mit einfachem Werkzeug auch entfernt werden.

4. Montage mittels Nieten

Wie bei der Installation mittels Schrauben, müssten auch bei der Installation mittels Nieten, Löcher in den Mülleimer gebohrt werden. Durch die Vernietung der Sensoren wären diese aber noch stärker geschützt.

Nach Rücksprache mit dem Umweltbetrieb wird die Montage mittels Nieten bevorzugt, da die Sensoren so am stärksten vor Vandalismus geschützt werden. Außerdem kann im Fall eines Mülleimerwechsels am Standort die Niete aufgebohrt und der Sensor an einem neuen Mülleimer befestigt werden.

3.1.4 Mögliche Einsatzgebiete

Nach Abstimmung mit dem Umweltbetrieb bietet sich der Einsatz von Füllstandsensoren bei öffentlichen Mülleimern auf den ersten Blick vor allem in zwei expliziten Anwendungsfällen an.

Erstens: Innerhalb des Stadtgebiets gibt es diverse Standorte von Mülleimern, die nicht ohne weiteres mit einem Fahrzeug angefahren werden können. Diese

Standorte zeichnen sich in der Regel dadurch aus, dass sie weiter abgelegen als andere sind und erfordern deshalb zur Überprüfung und Entleerung mehr Zeit. Aus Sicht des Entleerungsprozesses ist der Einsatz von Füllstandssensoren an diesen Standorten von großem Vorteil, da die Mülleimer somit zielgerichteter angefahren werden können. Hierdurch wird die Anfahrt von noch fast leeren Mülleimern vermieden und der Zeitpunkt zur Leerung kann individuell auf den Bedarf angepasst werden.

In einem Beispiel des Umweltbetriebs befindet sich ein Mülleimer weit abgelegen an einem Feldweg in der Nähe eines Spielplatzes. Der Spielplatz wird zwar in einem Regelmäßigen Rhythmus jede Woche zur Entleerung der Mülleimer angefahren. Die Überprüfung des abgelegenen Mülleimers erfordert allerdings eine intensivere Anfahrt, da auf der Strecke nicht gewendet werden kann. Somit muss der Mitarbeiter die angefahrene Strecke, nach der Kontrolle und Entleerung des Mülleimers, langsam Rückwärts wieder zurückfahren.

Durch die Information des Füllstands, kann individuell entschieden werden, ob der Mülleimer angefahren wird oder nicht.

Solche speziellen Standorte sind nicht der Regelfall, kommen im operativen Betrieb aber immer wieder vor. Der Einsatz von Füllstandssensoren führt in diesem Beispiel in erster Linie dazu, dass die Prozesse der Entleerung des Umweltbetriebs optimiert werden. Zusätzlich wird durch die konstante Füllstandüberwachung der Mülleimer eine bedarfsgerechte Entleerung vorgenommen und somit einem Vermüllen der umliegenden Grünflächen vorgebeugt. Dies hat einen unmittelbaren Effekt auf die Wahrnehmung der Müll Thematik und dient einer Verbesserung des Bildes der Bürger:innen auf die Stadt.

Zweitens: Weitere Orte, die sich für den Einsatz von Füllstandssensoren eignen sind Waldgebiete in denen eine Vielzahl von Mülleimern zur Verfügung stehen. Durch die Erfassung der Füllstände, können die Routen zur Entleerung der Mülleimer gezielter festgelegt werden. Durch den Fokus auf stärker frequentierte Mülleimer, wird einem Vermüllen der Bereiche um den Mülleimer vorgebeugt. Denn sobald ein Mülleimer voll ist lässt sich das Verhalten der Bürger:innen feststellen, dass sie ihren Müll neben den Mülleimer stellen oder sogar in der Umwelt entsorgen. Eine daraus bedingte Reinigung der Grünflächen ist deutlich aufwändiger als die Entleerung der Mülleimer. Zudem besteht, das Risiko, dass nicht alle Abfälle in den Grünanlagen gefunden und entfernt werden, sodass dieser Müll in der Umwelt bleibt. Die Überwachung der Füllstände lässt sich auch auf weitere Teile des Stadtgebiets wie bspw. Parks oder den innerstädtischen Raum übertragen.

Neben den Vorteilen für die Umwelt kann eine proaktive Leerung der Mülleimer auch vor Imageschäden durch negative Berichtserstattung in der Presse schützen.

Diese Einsatzgebiete sind nur zwei Beispiele für Bereiche in denen die Information über den Füllstand der Mülleimer einen Mehrwert bietet. Eine großflächige Installation von Sensoren wird weitere Vorteile in der Verwendung aufzeigen.

3.2 Anwohnerparken

Der Anwendungsfall Anwohnerparken beinhaltet die Erfassung von Parkplätzen im städtischen Raum, um Parksuchverkehre von Anwohner:innen, durch den Einsatz von LoRaWAN Sensorik zu reduzieren.

3.2.1 Ziele und Nutzen des Anwendungsfalls

Im innerstädtischen Bereich Bielefelds, herrscht wie in vielen Großstädten ein Mangel an Parkflächen. Für Anwohner:innen in der Innenstadt, führt dies umso häufiger zu einer langwierigen Parkplatzsuche. Intelligente Sensorik bietet hier die Möglichkeit, die Zustände der jeweiligen Parkplätze zu erfassen und zu analysieren. Dies ermöglicht eine Abbildung der belegten und verfügbaren Parkplätze innerhalb eines mit Sensoren abgedeckten Bereichs der Stadt. Durch die Visualisierung der erfassten Informationen, können den Anwohner:innen verfügbare Parkplätze aufgezeigt und somit die Parkplatzsuche minimiert werden. Neben der Einsparung von Zeit bei der Suche nach freien Parkplätzen, wird durch das Erfassen von freien Parkplätzen das Verkehrsaufkommen und der damit verbundene CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge deutlich reduziert.

Das Identifizieren und Aufzeigen von verfügbaren Parkplätzen stellt jedoch nicht nur einen Mehrwert für die betroffenen Anwohner:innen dar, sondern wirkt sich durch die Verringerung des CO₂-Ausstoßes auch positiv auf die Umwelt aus. Somit ergibt sich hierbei ein Mehrwert für die gesamte Stadt.

Ein Beispiel für den ökologischen Nutzen des Einsatzes von intelligenter Parkplatz-Sensorik, zeigt das Unternehmen Rheinenergie. In der Stadt Köln wurden innerhalb des Projekts „Digitales Parkraummanagement“ ca. 800 Parkplätze analysiert. Durch die Etablierung einer sensorgestützten Parkraumerfassung und der Darstellung dieser Informationen für die Bürger:innen konnten nach eigenen Aussagen von Rheinenergie ca. 45% der Parksuchzeit und ca. 41% der gefahrenen Distanz bei der Suche nach freien Parkplätzen eingespart werden.

Dies zeigt auf, welches Potential hinter der Digitalisierung des Parkraummanagements liegt und dass diese durch geeignete Methoden genutzt werden kann. In der Praxis lassen sich hierbei unterschiedliche Messmethoden hervorheben.

3.2.2 Analyse geeigneter Messmethoden

Für die Erfassung von freien Parkplätzen bieten sich zwei unterschiedliche Sensortypen an, die sich sowohl in ihrem Einsatzgebiet, als auch in ihrer Messmethode und Installationsweise unterscheiden.

1. Bodensensoren

Die auch als Einzelplatzsensoren bezeichneten Geräte, werden direkt auf dem Parkplatz montiert und sind somit für die Messung des Belegungszustands des jeweiligen Parkplatzes zuständig. Die Bodensensoren sind in der Regel mit einem Magnetsensor ausgestattet, welcher mit hoher Genauigkeit parkende Autos erkennt und hierdurch eine Aussage zum Status des Parkplatzes treffen kann. Je nach Hersteller werden auch Sensoren mit einer Kombination von Magnet- und Radarsensor angeboten, wodurch die Messung etwas genauer wird und

Störgrößen minimiert werden. Die Sensoren unterscheiden hierbei nicht nach Größe oder Position des Autos und verändern ihren Status nur genau dann, wenn ein Teil des Autos sie bedeckt.

Diese Messmethode weist unterschiedliche Vorteile, aber auch Nachteile auf. So bietet sich der Einsatz vor allem auf Parkplätzen an, die über eine genaue Markierung der Parkfläche verfügen und die und getrennt von anderen Parkplätzen liegen wie bspw. einzelne Parkboxen. Bei nicht eingezeichneten Parkflächen gestaltet sich eine exakte Platzierung der Sensoren als schwierig, da je nach Größe des Fahrzeugs der Abstand zum nächsten Parkplatz variiert und somit der Status nicht eindeutig identifiziert werden kann. Die Messmethode eignet sich somit am besten bei klar definierten und eingezeichneten Parkboxen, Parkstreifen mit einzeln definierten Parkplätzen oder vereinzelt Parkplätzen.

Die meisten Anbieter setzen auf den Einsatz von fest installierten Batterien in den Bodensensoren, welche je nach Hersteller eine Laufzeit von bis zu 7 Jahren aufweisen. Der Betrieb pro Batterie ermöglicht eine flexible Nutzung der Sensoren im Anwendungsgebiet, ohne auf einen verfügbaren Stromanschluss achten zu müssen. Darüber hinaus sind die Datenmenge der übermittelten Informationen der Sensoren sehr gering und können somit über LoRaWAN übertragen werden.

2. Kamerabasierte Sensoren

Eine zweite Messmethode stellt die kamerabasierte Sensorik dar. Hierbei wird der Parkraum, Parkplatz oder Straßenzug anhand von fest installierten Kameras erfasst. Innerhalb des erfassten Bildes werden die Parkplätze virtuell definiert wodurch der Zustand der einzelnen Parkplätze separat betrachtet werden kann. Die von der Kamera erfassten Bilder können durch die Verwendung von Edge-Computern direkt vor Ort auf dem Gerät ausgewertet werden. Hierdurch wird eine Übertragung des Parkplatzstatus ermöglicht, welches dazu führt, dass eine Übermittlung der Bilder nicht nötig ist. Dies gewährleistet das Einhalten aller notwendigen Datenschutzrichtlinien². Die Auswertung der Bilder auf dem Edge-Computer erfolgt je nach Anbieter entweder über eine Künstliche Intelligenz (KI), oder über einen festen Algorithmus.

Die KI lernt durch die erfassten Größen und Positionen der geparkten Fahrzeuge kontinuierlich dazu und wird somit immer genauer. Die Weiterentwicklung der KI erfordert hierbei ein regelmäßiges Update, welches aufgrund der Datenmengen eine Mobilfunkverbindung erfordert. Anbieter von kamerabasierten Sensoren wie bspw. Cleverciti setzen daher auf den Mobilfunkstandard LTE, um auch die Übertragung von großen Datenmengen zu gewährleisten, was über LoRaWAN nicht möglich ist.

Eine alternative Auswertung über einen festen Algorithmus erfordert im Vergleich hierzu keine regelmäßigen Updates, weshalb Sensoren von Anbietern wie bspw. Isarsoft auch über LoRaWAN den Parkplatzstatus übermitteln können. Auf Basis von Erfahrung aus dem Markt, ist die Nutzung einer KI in diesem Kontext

² In Köln werden die Parkplätze mit dieser Technologie überwacht und sind vom Datenschutzbeauftragten NRW als datenschutzkonform bewertet. Auch andere Datenschützer kommen zu diesem Schluss, welches sich am Einsatz in diversen deutschen Städten zeigt.

sinnvoller, um hierdurch die Genauigkeit der Parkplatzinformationen zu verbessern.

Sowohl die kamerabasierten Sensoren, welche die Daten über LTE übertragen, als auch die LoRaWAN Variante eint, dass der jeweiligen Edge-Computer zur Auswertung der Daten einen hohen Stromverbrauch aufweist und deshalb hierfür eine kontinuierliche Stromversorgung empfohlen wird. Dies erfordert, dass die Sensoren fest an eine externe Stromversorgung angeschlossen werden müssen.

Der Hauptvorteil der kamerabasierten Sensoren liegt in der zeitgleichen Erfassung von bis zu 20 Parkplätzen über einen Sensor, was eine Erfassung von ganzen Straßenzügen mit einer geringen Menge an Sensoren ermöglicht. Als Nachteil kann die geringere Flexibilität durch die externe Stromversorgung und die damit einhergehende erforderliche Infrastruktur genannt werden. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass die Sensoren eine freie Sicht auf die zu erfassenden Parkplätze benötigen. Hier zeigt sich in Praxisberichten aus anderen Städten, dass bspw. Spinnenweben oder Äste für eine temporäre Einschränkung der Sicht sorgen, diese aber im Regelfall schnell beseitigt werden können.

3.2.3 Installationsanforderungen

Der größte Unterschied der beiden Messmethoden liegt in ihrer Installation, weshalb auf diese separat je Messmethode eingegangen wird.

Bodensensoren

In Abhängigkeit zur Beschaffenheit des Parkplatzes, können die Bodensensoren auf unterschiedliche Arten montiert werden. Zu berücksichtigen ist hierbei die Beständigkeit der gewählten Montageart mit Blick auf Vandalismus und einen Defekt der Sensoren.

1. Montage mittels Schrauben

Die gängigste Methode ist es, die Sensoren mittels Schrauben auf dem Boden zu fixieren. Durch die Verschraubung der Sensoren werden diese fest im Boden verankert und bleiben auch bei größerem Widerstand am Parkplatz bestehen. Die Schrauben werden bei den meisten Anbietern abgedeckt, wodurch der Sensor vor Diebstahl geschützt wird. Durch eine Verschraubung der Sensoren besteht die Möglichkeit, dass diese bei Bedarf demontiert und ausgetauscht werden können.

2. Montage mittels Kleber

Neben der Verschraubung der Sensoren besteht des Weiteren auch die Möglichkeit, die Sensoren mittels 2-Komponenten-Kleber auf dem Parkplatz zu installieren. Diese Art der Montage hat sich in der Praxis als am unkompliziertesten erwiesen, allerdings ist die Sicherheit und Beständigkeit der Sensoren hierbei auch am geringsten. Im Vergleich zur verschraubten Variante sind die geklebten Sensoren nicht gut gegen starke Belastungen geschützt. Dies zeigt sich insbesondere, wenn mit einem Reifen auf dem Sensor gewendet wird. Auch wenn die geklebten Sensoren gegen den Druck

von Fahrzeugen geschützt sind, kann eine zu starke Bewegung den Sensor vom Boden lösen.

3. Montage mittels Fräser

Neben der oberflächlichen Montage der Sensoren mittels Schrauben oder Kleber, gibt es auch Anbieter am Markt, dessen Sensoren in den Parkplatz eingelassen werden können.³ Hierbei wird ein Loch in dem Durchmesser des Sensors in den Boden gefräst, in das der Sensor dann eingelassen wird. Das Loch wird dann bspw. mit Epoxidharz aufgefüllt wodurch der Sensor zu einer ebenen Fläche mit dem Boden wird. Diese Art der Montage von Bodensensoren ist im Vergleich die aufwendigste, allerdings bietet sie hierdurch auch Vorteile. So ist der Sensor durch das Einlassen im Boden vor starken Belastungen geschützt – auch vor Schneeräumungsfahrzeugen.

Kamerabasierte Sensoren

Die kamerabasierten Sensoren werden nicht wie die Bodensensoren durch eine eingebaute Batterie mit Strom versorgt, sondern müssen an einen externen Stromanschluss angeschlossen werden. Hierbei wird die Installation an bestehenden Laternenmasten empfohlen. Diese bieten in der Regel eine ausreichende Höhe um mit der Kamera möglichst viele Parkplätze zu erfassen und zusätzlich eine Möglichkeit, die Sensoren mit Strom zu versorgen. Je höher der Sensor installiert wird, desto mehr Parkplätze können von der Kamera erfasst werden. Wenn die örtlichen Gegebenheiten es zulassen und die Sensoren an bereits bestehenden Straßenlaternen montiert werden, stellt diese bereits die Installationsbasis und Infrastruktur für die Stromzufuhr dar. Laut dem Anbieter Cleverciti, kann ein kamerabasierter Sensor innerhalb von einer Stunde an einen vorbereiteten Laternenmast installiert, kalibriert und eingerichtet werden.

Eine Installation der kamerabasierten Sensoren, unabhängig von bestehenden Laternenmasten, stellt einen deutlich höheren Montageaufwand dar, als bei den Bodensensoren. Neben dem Aufbau eines Mastes zur Anbringung der Kamera, muss an den Standorten eine Stromzufuhr gelegt werden, für die in der Regel Tiefbauarbeiten nötig sind. Neben der Umsetzung sind hier auch planungstechnische Aspekte, wie Genehmigungsverfahren etc. zu berücksichtigen.

Auch wenn am potentiellen Einsatzort bereits Straßenlaternen vorhanden sind und genutzt werden können, ist dies als Installationsbasis nicht zwangsläufig ausreichend. So bieten nicht alle Straßenlaterne eine konstante Stromversorgung, sondern stehen nur dann unter Spannung, wenn sie auch in Betrieb sind. Hierfür bieten Hersteller wie bspw. Cleverciti die Möglichkeit, den Sensor um einen Akku zu erweitern. Durch den Akku kann der Sensor dann über den Tag mit Strom versorgt werden, wodurch eine externe Stromzufuhr umgangen werden kann. Sobald die Straßenlaterne Nachts in Betrieb ist, wird der Akku wieder aufgeladen.

³ Die Firma PNI bietet einen Sensor für den Verbau in der Fahrbahn an

3.2.4 Mögliche Einsatzgebiete

Das Amt für Verkehr der Stadt Bielefeld ist aktuell in der Planung für eine Fahrradstraße im Bereich des Ehlenruper Wegs in Bielefeld. Über eine Länge von ca. 2 Kilometern soll hier ein Pilotprojekt für eine Fahrradstraße gestartet werden, bei dem auch der Parkraum zum Bereich für Anwohnerparken angepasst werden soll.

Das Projekt würde sich aufgrund der Begebenheiten als Standort für eine sensorbasierte Erfassung von Anwohnerparkplätzen anbieten. Im Rahmen des Projektes ist es aktuell geplant, neue Parkstreifen und einzelne Parkplätze für Anwohner auszuweisen. Diese Parkplätze werden am Straßenrand eingeplant und haben somit durch ihr Beschaffenheit eine gute Grundvoraussetzung für den Einsatz von Sensorik.

Nach ersten Schätzung würden in dem Bereich ca. 200 Anwohnerparkplätze zur Verfügung stehen. Diese mittels intelligenter Sensorik auszustatten, bietet die Möglichkeit das Pilotprojekt mit einer digitalen Erfassung der freien und belegten Anwohnerparkplätze zu verknüpfen. Hierdurch könnten die Parkflächen effizienter genutzt und somit ein Mehrwert für die Bürger:innen generiert werden.

Da durch den Umbau des Ehlenruper Wegs zur Fahrradstraße auch Parkflächen wegfallen werden, liegt in der digitalen Erfassung der neuen Parkplätze der Vorteil, dass diese von den Anwohner über eine digital Plattform eingesehen und direkter angefahren werden können.

3.3 Umweltdatenerfassung

Der Anwendungsfall Umweltdatenerfassung ist weniger konkret formuliert als die Anwendungsfälle Smart Waste und Anwohnerparken und betrachtet einen weitläufigeren Bereich, was alles mit Sensorik erfasst werden kann.

Im Allgemeinen können unter Umweltdaten alle Informationen verstanden werden, die aus der Umwelt im Raum Bielefeld entstehen oder aber einen direkten Einfluss auf diese haben. Diese Daten können Bereiche wie die Qualität des Bodens, des Wassers oder der Luft umfassen oder auch Aussagen zu Klima und Wetter beinhalten. Auch Daten rund um den Natur- und Artenschutz können innerhalb dieses Themas erfasst und aufbereitet werden.

Um die Möglichkeiten von Sensoren aufzuzeigen, werden nachfolgend einige Anwendungsfälle als Beispiele für den Bereich der Umweltdaten aufgeführt. Diese sollen als erste Ansatzpunkte und Ideen zur weiteren Ausgestaltung gesehen werden und zeigen welche Daten mittels intelligenter Sensorik erfasst werden können.

Wetterdaten

Kompakte Wetterstationen bieten die Möglichkeit durch unterschiedliche Sensoren wetterrelevante Daten zu messen und diese anhand einer Übertragungstechnologie wie LoRaWAN in eine IoT-Plattform zu übermitteln. Anhand dieser Informationen können Daten über das Aufkommen von bspw. Temperaturschwankungen in einzelnen Stadtteilen, Starkregen oder Trockenheit erfasst werden. Die am Markt verfügbaren IoT Wetterstationen sind unter anderem in der Lage, Parameter wie bspw. Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck oder Windgeschwindigkeit zu messen.

Mit Blick auf vergangene Starkregenereignisse oder Trockenperioden, können Daten über einen längeren Zeitraum erfasst und ausgewertet werden. In Kombination mit anderen Anwendungsfällen können diese Daten dann bspw. zu einer bedarfsgerechten Bewässerung von Pflanzen und Bäumen im städtischen Raum genutzt werden. Hier bietet sich die Kombination mit Bodenfeuchtigkeitssensoren an, welche Auskunft über den Wassergehalt und die Temperatur im Boden treffen. Diese Daten helfen dabei, bestehende Pflanzen- und Baumbestände zu kontrollieren und die Feuchtigkeit konstant zu überwachen. Hieraus abgeleitet kann die Lebenszeit der verlängert und gleichzeitig kostbare Ressourcen geschont werden.

Lichtverschmutzung

Das Thema Lichtverschmutzung beschreibt den Einfluss von Licht auf natürliche Ökosysteme. So haben Straßenlaternen, Reklametafeln, Gebäudebeleuchtungen und dass Licht der Industrie einen negativen Effekt auf den Lebensraum unterschiedlicher Tiere und Pflanzen. Durch das künstliche Licht, welches auch in der Nacht eine helle Umgebung vorgibt, kann der Rhythmus innerhalb diverser Ökosystem ins Schwanken gebracht werden. Durch den Einsatz von Lichtsensoren kann die tatsächliche Helligkeit an definierten Standorten gemessen und für die

Thematik sensibilisiert werden. Auf Basis der erfassten Daten können Maßnahmen zur Verbesserung der Situation abgeleitet werden.

Luftqualität

Messung und Überwachung von unterschiedlichen Parametern, wie bspw. Feinstaub oder Stickstoffdioxid, um eine Einschätzung über die Luftqualität in Bielefeld zu bekommen. Gekoppelt an Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität können diese Daten dazu genutzt werden, die Effektivität der Maßnahmen zu visualisieren. Anhand der generierten Daten kann die Luftqualität zu unterschiedlichen Zeitpunkten miteinander verglichen werden. Hierdurch könnte bspw. aufgezeigt werden, dass eine Begrünung des städtischen Raums zu einer Veränderung des Klimas vor Ort beitragen kann. Je nach Anbieter können unterschiedliche Parameter wie bspw. Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid oder Feinstaub erfasst werden. Die Genauigkeit dieser Messmethoden unterscheidet sich je Hersteller und wird häufig nur als Indikation gesehen. Jedoch gibt es am Markt auch Anbieter wie die Hawa Dawa GmbH, dessen Messgenauigkeit für Stickstoffdioxid vom TÜV SÜD bestätigt wurden.⁴

Aber auch Anwendungsfälle wie die Erfassung der **Wasserqualität** von Gewässern im Raum Bielefeld, die Ermittlung von **Lautstärkepegeln** zu unterschiedlichen Tageszeiten, oder die Früherkennung von Waldbränden könnten exemplarisch als Umweltdaten gesehen und über geeignete Sensorik erfasst werden.

Die Erhebung von Umweltdaten zielt in erster Linie auf die Erfassung von Zuständen unterschiedlicher Parameter und deren Veränderungen über einen bestimmten Zeitraum. Mit Blick auf die Visualisierung der Daten, können die Informationen den Bürger:innen zugänglich gemacht werden und unter anderem bei der Sensibilisierung für umweltspezifische Themen helfen. So kann das Verständnis von Trockenheit oder Hitzeperioden durch die Visualisierung der Informationen verbessert, oder Auswirkungen von Maßnahmen untermauert werden.

⁴ <https://hawadawa.com/de/2021/08/tuev-sued-bestaetigt-messgenauigkeit/>

4 Datenfluss

Je nach Anwendungsfall und Art der Darstellung unterscheidet sich der Verlauf, den die Daten von ihrer Generierung bis zur Visualisierung auf einem Dashboard oder innerhalb einer IoT-Plattform nehmen.

Als beispielhafte Darstellung wird Nachfolgend (Abbildung 3) der Datenfluss bei der Übertragung von LoRaWAN Daten über die IoT-Plattform der Stadtwerke Bielefeld gezeigt.

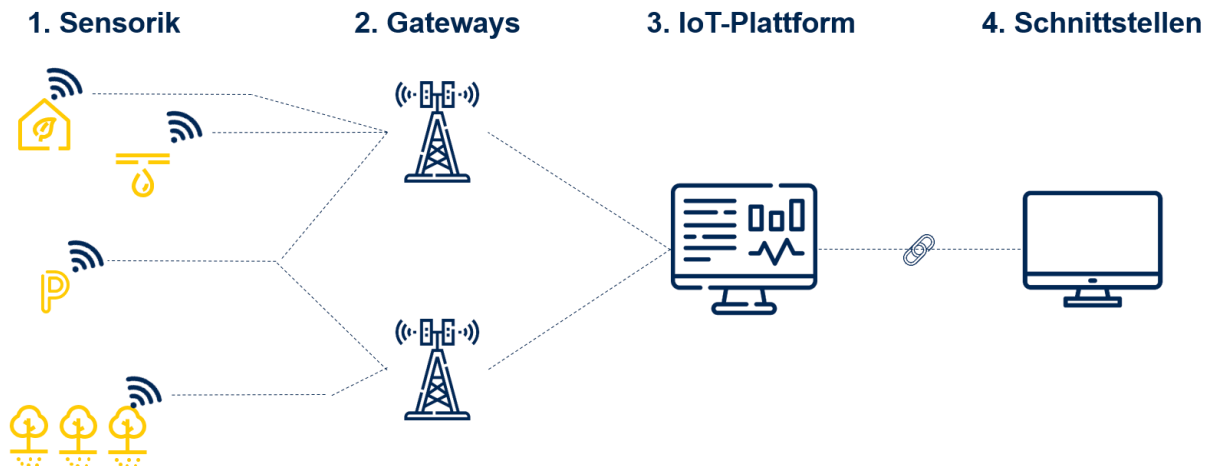


Abbildung 3: Exemplarischer Datenfluss über das LoRaWAN der SWB

An erster Stelle stehen die Sensoren, welche je nach Anwendungsfall unterschiedliche Messpunkte ermitteln. Sei es beim Thema Smart Waste die Distanz, zwischen Abfall und Sensor oder beim Anwohnerparken den Zustand belegt / unbelegt eines definierten Parkplatzes. Der Sensor misst und versendet diese Informationen über ein integriertes LoRaWAN Kommunikationsmodul an ein Gateway, in dessen Empfangsbereich der Sensor agiert. Die Gateways stehen an zweiter Stelle und sorgen mit ihrer Netzabdeckung für die Infrastruktur zum Empfang der Sensordaten. Je nach Standort der Sensoren, können die Daten auch von mehreren Gateways aufgenommen werden, um dann an dritter Stelle über den LoRaWAN Network Server an die IoT-Plattform übertragen zu werden. Nachdem die Daten auf der IoT-Plattform ankommen, werden sie anhand eines Parser⁵ in ihre unterschiedlichen Bestandteile aufgeteilt, um die relevanten Informationen bereitzustellen. Je nach Kundenanforderung können diese Daten dann entweder innerhalb der IoT-Plattform zur finalen Nutzung aufbereitet und visualisiert werden oder sie werden in einem vierten Schritt über eine Schnittstelle an ein externes System weitergeleitet. Hierbei besteht die Möglichkeit, die Informationen mittels Schnittstellen wie bspw. einer REST API an bereits bestehende Datenbanken oder Portale zu übertragen. Ein Beispiel könnte hierbei die Übermittlung der generierten Daten an das Open Data Portal der Stadt Bielefeld sein. Dies ermöglicht die Nutzung der Informationen in unterschiedlichen Formen.

⁵ Der Parser übersetzt die vom Sensor geschickten Datenpakete in lesbare Werte

Ausgehend von der jeweiligen Schnittstelle können die Informationen dann innerhalb einer Web-Anwendung oder App für Bürger:innen ausgewertet und visualisiert werden.

Beispielsweise beim Anwendungsfall Anwohnerparken könnten somit auf einer Karte die verfügbaren Parkplätze dargestellt werden, um den Bürger:innen eine Unterstützung bei der Parkplatzsuche zu bieten.

5 Visualisierung und Bereitstellung der Daten

Die durch den Einsatz unterschiedlicher Sensoren erfassten Daten sollen im ersten Schritt über eine Schnittstelle im Geoportal der Stadt Bielefeld bereitgestellt und zentral gesammelt werden.

Um den Bürger:innen durch die erfassten Daten einen direkt Mehrwert zu bieten, können diese über verschiedene Wege über ein Dashboard auf einer Internetseite oder innerhalb eine App bereitgestellt werden.

Die **erste Möglichkeit** wäre es, die Daten innerhalb der IoT-Plattform über ein Public Dashboard aufzugreifen und den Bürger:innen zur Verfügung zu stellen. Hierbei können die Werte auf einer Karte den jeweiligen Sensoren zugeordnet werden und über ihren Zustand informieren.

Die **zweite Variante** ist die Realisierung über bestehende externe Anbieter, welche über Apps und eigene Dashboards auf die Daten der jeweiligen IoT-Plattform zurückgreifen und diese individuell visualisieren können. Beispiele für eine APP sind unter anderen die App Endios One Pro oder CityLink. Beide Anbieter können unterschiedliche Smart City Aktivitäten abbilden visualisieren diese im Rahmen einer App. Dies ermöglicht den Aufbau einer individuellen App, welche die Daten aller Smart City Anwendungsfälle verbindet.

Neben der Erstellung einer App zur Visualisierung der Daten, können diese auch über ein externes Dashboard präsentiert werden. Eine Open Source Lösung bietet hierbei ein Grafana Dashboard, welches für die Bürger:innen aus dem Web frei zugänglich wäre. Das Dashboard bietet einen sehr detaillierten Blick auf die Daten und kann von den Bürger:innen individuell benutzt werden.

Alternativ kann die Darstellung eines Dashboards auch über die Einbindung von Widgets in eine bestehende Internetseite der Stadt Bielefeld erfolgen. Die einzelnen Widgets können je nach Anwendungsfall individuell erstellt und danach auf der jeweils relevanten Internetseite platziert werden.

Als **dritte Variante** besteht neben dem Public Dashboard der IoT-Plattform und der Realisierung über einen externen Anbieter, die Möglichkeit, die über die Anwendungsfälle erfassten Daten mittels einer bestehenden App zu visualisieren. Anhand der bereits am Markt verfügbaren Bürgerservice App der Stadt Bielefeld, könnten die Daten zusammen mit weiteren vorhanden Informationen den Bürger:innen bereitgestellt werden.

6 Kostenabschätzung

Um eine erste Einschätzung für die Kosten zu bekommen, welche mit der Implementierung solcher Use-Cases einhergehen, wird im Folgenden auf die Kosten je Anwendungsfall eingegangen. Für die LoRaWAN Anwendungsfälle werden exemplarisch die Plattform- und Übertragungskosten als laufende Kosten aufgeführt.

Smart Waste

Sensorkosten: Die Kosten für die Sensorik variieren je nach Anbieter und liegen zwischen 100€ und 150€ pro Stück. Bei Sensoren im unteren Preissegment fehlt jedoch häufig die Möglichkeit zum Tausch der Batterie, weshalb diese Sensoren nur über eine begrenzte Lebensdauer verfügen.

Grundgebühr IoT-Plattform: Die monatlichen Kosten für die Nutzung der Niota Plattform liegen pro Anwendungsfall bei 49,90€.

Übertragungskosten: Für die Übertragung der Daten über das LoRa Netzwerk werden pro Sensor und Monat 1,30€ berechnet.

Anwohnerparken

Sensorkosten: Je nach Messmethode unterscheiden sich die Preise für Sensoren zur Erfassung von Parkplätzen deutlich. Bodensensoren, welche für die Erfassung der Zustände von Einzelplätzen genutzt werden können, liegen bei ca. 200€ pro Stück und übermitteln ihre Daten über das LoRaWAN. Kamerabasierte Sensoren sind in der Anschaffung deutlich teurer, können aber je nach Einsatzgebiet auch bis zu 20 Parkplätze erfassen. Je nach Anbieter kann ein Sensor um die 2.000€ kosten.

Grundgebühr IoT-Plattform: Die monatlichen Kosten für die Nutzung der Niota Plattform liegen pro Anwendungsfall bei 49,90€.

Die kamerabasierten Sensoren, welche nicht in das LoRa Netzwerk eingebunden sind, greifen im Regelfall für die Darstellung der Daten auf eine eigene Plattform zurück. Die Kosten hierfür unterscheiden sich je Anbieter und werden individuell je nach Umfang des Anwendungsfalles vom Anbieter berechnet.

Übertragungskosten: Für die Übertragung der Daten über das LoRa Netzwerk werden pro Sensor und Monat 1,30€ berechnet.

Die kamerabasierten Sensoren, welche nicht in das LoRa Netzwerk eingebunden sind, übermitteln ihre Daten über das GSM Netz. Je nach Menge der übertragenen Daten werden hier Kosten für die SIM Karte fällig.

Die initialen Kosten werden pro Anwendungsfall berechnet und variieren je nach Umfang. Die Kosten lassen sich in nachfolgende Positionen aufteilen:

- Implementierung der Parser und Test der Geräte:
ca. 5.000€ - 10.000€
- Erstellung des Dashboards innerhalb der IoT-Plattform:
ca. 5.000€
- Schnittstelle von Niota zu öffentlichem Dashboard:
Abhängig von der Ausprägung
- Einbindung der Sensoren in die IoT-Plattform:
Abhängig von Sensor und Anzahl
- Kosten für die Implementierung und Aufbau des Dashboards:
Abhängig von Anbieter und Ausgestaltung

7 Fazit

Damit eine Smart City auch ihrem Namen gerecht wird, kann die Erfassung und Übermittlung von Daten als ein Baustein auf dem Weg zur intelligenten Stadt von Morgen gesehen werden.

Im Rahmen der Smart City Aktivitäten in Bielefeld bilden sensorbasierte Anwendungsfälle eine Basis, welche durch die erfassten Daten das Fundament einer Smart City sind. Diese Basis hilft dabei, die Stadt besser zu verstehen und diese durch gezielte Maßnahmen zukunftsfähig und krisenresilient zu machen.

Durch den gezielten Einsatz von Sensorik ist es in einer Smart City wie Bielefeld möglich, konkrete Zustände zu erfassen und die gewonnenen Daten zur Ableitung von Handlungen zu nutzen. Damit die erhobenen Daten an den richtigen Stellen genutzt und ausgewertet werden können, ist eine geeignete Kommunikationstechnologie für die Infrastruktur der Datenübermittlung erforderlich. Hierbei bieten sich unterschiedliche Technologien wie bspw. LoRaWAN oder Mobilfunk an, welche jeweils Vor- und Nachteile mit sich bringen. Die Vor- und Nachteile führen dazu, dass nicht jede Technologie gleichgut für jeden Einsatz geeignet ist. Aus diesem Grund sollte nicht pauschal auf eine Art der Datenübermittlung gesetzt werden, sondern müssen in Abhängigkeit zum jeweiligen Smart City Anwendungsfall, die Anforderungen an die Übermittlung klar festgelegt werden. Hierauf aufbauend kann entschieden werden, ob z.B. die Datendurchdringung und Energiesparsamkeit wie bei LoRaWAN im Vordergrund steht, oder bspw. eine grenzüberschreitende Netzabdeckung wie bei Mobilfunk wichtiger ist. Diese Festlegung muss im Vorfeld der jeweiligen Anwendungsfälle diskutiert werden.

Innerhalb des Konzepts wurde der Fokus auf die drei Anwendungsfälle Smart Waste, Anwohnerparken und Umweltdatenerfassung gelegt. Für den Aufbau aller drei Anwendungsfällen gibt es bereits heute gut erprobte Sensorik zur Erfassung der Daten am Markt, welche über Kommunikationstechnologien wie bspw. LoRaWAN oder Mobilfunk die Daten übermitteln.

Alle drei Anwendungsfälle sind mit einem initialen Aufwand zur Installation der Sensorik verbunden, bieten einer Stadt wie Bielefeld danach aber die Möglichkeit, über mehrere Jahre hinweg, die unterschiedlichsten Zustände zu erfassen. In Abhängigkeit zu den Zielen der jeweiligen Anwendungsfälle können diese zur Verbesserung von Abläufen und Prozessen, klimatischen Unterstützung oder zur Informationstransparenz dienen.

Für die Bielefelder Bürger:innen können die gewonnenen Erkenntnisse über eine App oder ein Dashboard aufbereitet und für die Nutzung im Alltag visualisiert werden. Der Mehrwert für die Bürger:innen steht hierbei im Mittelpunkt. Sei es über die vereinfachte Suche von Parkplätzen, die Vermeidung von Vermüllung durch überlaufende Mülleimer oder durch die Kontrolle der Luftqualität. Smart City Anwendungsfällen im Bereich der Sensorik helfen einer Stadt wie Bielefeld dabei, intelligent zu werden und durch einen Nutzen die Attraktivität für die Bürger:innen zu erhöhen.