LoRa Park – Ein Experimentierfeld und öffentlicher Showroom für das Internet der Dinge

Version v1.1 vom 30.07.2019

Andreas Buchenscheit[1,3], Matthias Schneider[1], Frank Kargl[2], Philipp Graf[3]

[1]CORTEX media GmbH
Ulm, Germany
a.buchenscheit, m.schneider @cortex-media.de

[2]Ulm University
Ulm, Germany
frank.kargl @uni-ulm.de

[3]Ulm University of Applied Sciences
Ulm, Germany
buchenscheit, graf @hs-ulm.de

ABSTRACT

Seit 2016 wird in Ulm als eine der ersten Städte weltweit ein flächendeckendes LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) betrieben. LoRa zählt zu den LPWANs (Low Power Wide Area Networks) und zeichnet sich durch eine hohe Reichweite und Durchdringungskraft bei geringer Bandbreite und geringem Energiebedarf aus. Damit ist die Technologie optimal für IoT- (Internet of Things) Anwendungen geeignet, bei denen Dinge (Things/Nodes) mit Gateways, also fest installierten Basisstationen, kommunizieren. So senden in Ulm beispielsweise Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren aktuelle Werte von unterschiedlichen Standorten und es werden Stromzählerstände automatisch übermittelt. Hochschulen, Institutionen und Bürger experimentieren mit unterschiedlichster Sensorik und tragen somit einen bedeutenden Teil auf dem Weg zu einer Smart City bei. Bislang gibt es jedoch keinen zentralen Ort, an dem die Technologie und deren Vorteil für alle greifbar wird. Dieser Ort soll in Form des LoRa Parks geschaffen werden. Ziel ist es, die Forschungs- und Entwicklungsarbeit in diesem öffentlichen Showroom zu konzentrieren und damit ein Experimentierfeld unter Einbindung der Bürgerschaft zu schaffen. Dieses Konzept beschreibt die Anforderungen und Vorteile des kooperativen LoRa Parks und dessen Sensorik sowie die beteiligten Parteien aus Industrie, Hochschulen und Stadt zur Umsetzung des Projekts.

1. IOT UND SENSORNETZWERKE

Das Konzept der sogenannten Wireless Sensor Networks (WSNs) reicht bis mindestens in die 80er Jahre zurück, wurde aber erst in den späten 90ern mit der zunehmenden Verfügbarkeit hochintegrierter Mikrocontroller und entsprechender Funkmodule populär. Bald bildete sich eine eigene Forschungscommunity, die sich zum Beispiel auf der ACM Konferenz „ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems“ (SenSys) trifft.

An der Universität Ulm gibt es beispielsweise im Rahmen des akademischen Weiterbildungsstudiengangs Sensorsystemtechnik eine eigene Vorlesung zu diesem Thema.

Dabei wurden zunächst häufig Funktechnologien mit kurzer Reichweite und niedrigem Energieverbrauch wie ZigBee / IEEE 802.15.4 oder Bluetooth (später Bluetooth Low Energy) eingesetzt. Allerdings ergibt sich in der Praxis häufig die Anforderung, größere Strecken zu überwinden, wenn Sensor und Datensenke nicht in direkter Funkreichweite des jeweiligen Funksystems positioniert werden können.

Entsprechend wurden umfangreiche Vorschläge für sogenannte multi-hop Ad-Hoc-Netzwerke entwickelt, bei denen Sensoren Datenpakete für andere Sensoren in Richtung einer Basisstation weiterleiten, um so auch größere Entfernungen überbrücken zu können. Ein Nachteil dieses Ansatzes ist die deutlich größere Komplexität derartiger Systeme gegenüber der single-hop Übertragung vom Sensor direkt an eine Basisstation.

Alternativ wurden in manchen Systemen auch Kommunikationssysteme für höhere Reichweiten (bspw. GSM) eingesetzt, was aber mit einem erhöhten Energieverbrauch auf der Seite der Sensoren und damit verkürzter Batterielebensdauer erkauft wurde.

[42] gibt einen guten Überblick über die Forschung in diesem Bereich bis ins Jahr 2008. Seitdem hat sich das Feld nochmals weiter diversifiziert und es werden speziellere Sensornetzanwendungen zum Beispiel zu Underwater Sensor Networks (UWSN) [22] oder in SmartHomes/SmartCities betrachtet. Ebenfalls werden heute WSNs häufig im größeren Kontext des *Internet of Things* untersucht [29], bei dem das einzelne Sensornetz nur als Teil einer größeren Infrastruktur betrachtet wird, die aus vielen Sensornetzen, klassischer Kommunikationstechnik im Internet sowie der Backendinfrastruktur und den Geräten der Endnutzer wie Smartphones besteht.

Das Internet of Things ist hierbei als eine Vision zu verstehen, deren Umsetzung viele grundsätzliche Herausforderungen birgt und die nur schrittweise erreicht werden kann. Neben den grundlegenden technischen Herausforderungen der Umsetzung einzelner Elemente des IoT zählen hierzu vor

Die Erlaubnis, digitale oder gedruckte Kopien der gesamten oder eines Teils dieser Arbeit für den persönlichen oder pädagogischen Gebrauch anzufertigen, wird kostenlos erteilt, vorausgesetzt, dass die Kopien nicht zu kommerziellen Zwecken hergestellt oder verteilt werden und dass die Kopien diesen Hinweis und das vollständige Zitat auf der ersten Seite tragen.

allem die Beherrschung der Gesamtkomplexität, aber auch Fragen der IT Sicherheit und des Datenschutzes vor dem Hintergrund einer ubiquitären Durchdringung unserer Umwelt mit smarten Geräten und Sensorik.

Gerade im Hinblick auf die Komplexitätsreduktion im Sensornetzwerk stellt sich die Frage nach einer energiesparenden Funktechnologie mit Reichweiten deutlich über einem Kilometer bei Batterielebensdauern in der Größenordnung von Jahren, wie sie für sehr viele Sensoranwendungen attraktiv wäre. Dies konnte erst in den letzten Jahren mit einer Reihe neuer Funktechnologien erreicht werden.

2. LPWAN

Derartige Technologien fasst man unter dem Namen *Low Power Wide Area Networks* oder LPWAN bzw. LPN zusammen. Als Ziele gelten:

- Reichweiten im Bereich von mehreren Kilometern bis über 10 Kilometern und dies auch von Standorten in Innenräumen oder sogar Tiefgaragen.
- Niedriger Energieverbrauch mit Lebensdauern batteriebetriebener Sensorknoten von bis zu 20 Jahren.
- Niedrige Kosten in Herstellung und Betrieb der Funkmodule und Sensorknoten.
- Für Sensorik geeignete Datenrate im Bereich von einigen kbit/s.

Die vorteilhaften Eigenschaften von LPWANs erkauft man sich in der Regel mit niedrigen Datenraten im Bereich von wenigen (k)bit/s und einem geringen Duty-Cycle, d.h. dem seltenen Senden von nur kurzen Datenpaketen, jeweils pro Sensorknoten. Dies deckt sich aber perfekt mit den Anforderungen von vielen Sensornetzwerken, bei denen eine große Zahl von Sensoren sporadisch einige kurze Sensormessungen verschickt.

Neben dem hier detailliert betrachteten LoRa und LoRaWAN sollen noch kurz zwei alternative Technologien erwähnt werden.

2.1 NB-IoT

Narrowband IoT (kurz NB-IoT) oder LTE Cat-NB1 ist eine LPWAN Technolgie, die durch das 3GPP entwickelt und als Teil des 3GPP Release 13 standardisiert wurde[21]. Dabei lehnt sich NB-IoT an LTE an, verwendet aber nur einen sehr schmalen Frequenzkanal von 200 kHz und OFDM im Downlink.

Ein großer Vorteil von NB-IoT ist, dass bestehende LTE Basisstationen leicht zu NB-IoT Basisstationen umgerüstet werden können. Auch können mit USIMs in den Geräten viele LTE Sicherheitsmechanismen genutzt werden. Es wundert nicht, dass die Technologie stark von den Mobilfunkanbietern beim Aufbau des IoT favorisiert wird, in Deutschland vorne an die Telekom.

Allerdings sind die Funkmodule im Vergleich zu anderen Technologien vergleichsweise komplex und damit teurer. Es wird also stark von den Stückzahlen abhängen, ob NB-IoT mit den anderen Technologien konkurrieren kann.

2.2 SIGFOX

SIGFOX ist – wie auch LoRa – eine proprietäre Technologie, die vom gleichnamigen französischen Unternehmen seit etwa zehn Jahren entwickelt wird. Genutzt wird dabei eine sogenannte Ultra Narrow Band Technologie. Es erfüllt die oben genannten Anforderungen an ein LPWAN.

SIGFOX betreibt ein eigenes Netz an Basisstationen, für dessen Nutzung allerdings Lizenzkosten von aktuell 17,50 EUR pro Jahr und Gerät anfallen[1]. SIGFOX baut damit auf ein Geschäftsmodell auf, welches dem einiger LoRaWAN Anbieter oder auch kommerzieller Mobilfunkanbieter entspricht, sich jedoch grundlegend vom Community Ansatz von The Things Network unterscheidet.

2.3 LoRa und LoRaWAN

LoRa ist eine digitale Datenübertragungstechnologie auf lizenzfreien ISM-Bändern (u.a. 433 Mhz, 868 Mhz, 915 Mhz), die eine sehr weite Übertragung von Daten bei sehr geringem Energieverbrauch ermöglicht. Entfernungen von bis zu 10km in ländlichen Gebieten sind problemlos möglich, in städtischen Gebieten sind 3-4km realistisch zu erwarten. In exponierter Lage sind Reichweiten über 100km möglich. Eine LoRaWAN Node am Säntis in der Schweiz erreichte beispielsweise die Ulmer Gateways aus 140km Entfernung[39].

LoRaWAN ist ein von der LoRa Alliance[2] entwickelter Systemstandard, der das auf die Funktechnologie LoRa aufsetzende Netzwerk beschreibt, mit dem konkrete IoT Anwendungen realisiert werden können. Im OSI Modell ist LoRa die physische, LoRaWAN die darauf aufsetzende Media Access Control Schicht.

LoRaWAN definiert zusätzlich die Systemarchitektur des Netzwerkes, die verwendeten Frequenzen, die Datenraten sowie den Energiebedarf der Endgeräte (Nodes). Die Datenrate liegt zwischen 292 bit/s und 50 kbit/s, die Sendeleistung bei 25 mW. Durch die hohe Reichweite und den niedrigen Energiebedarf ist die Datenrate entsprechend gering, jedoch für IoT Anwendungen ausreichend. In der Regel werden Sensorwerte übertragen, die mit passender Kodierung im Bereich von wenigen Bytes liegen. Beispielsweise lässt sich eine fein aufgelöste GPS Koordinate, die ein vergleichsweise großer Messwert darstellt, in 8 Bytes kodieren und in ca. 40ms übertragen. Weitaus kleinere Messwerte wie eine Temperatur, ein Status oder ein zahlencodierter Zustand sind in Sensornetzwerke üblicher.

Die Systemarchitektur von LoRaWAN ermöglicht einen Austausch der Daten über mehrere LoRaWAN-Netze anderer Provider hinweg. Dadurch kann, analog zu Roaming in Mobilfunknetzen, ein Sensor in einem fremden Netz den eigenen Netzwerkserver erreichen, indem die Daten über mehrere Netze hinweg weitergereicht werden bis das eigentliche Ziel erreicht ist. Voraussetzung hierfür ist, dass die Betreiber der Gatways bzw. Netzwerke diese Funktionalität implementieren und sich damit an den Standard halten.

2.4 The Things Network (TTN)

2.4.1 Geschichte

The Things Network (TTN)[3] wurde 2015 als community-basierte Initiative zum Aufbau eines flächendeckenden LoRaWANs initiiert. TTN tritt in dieser Rolle als offener Provider für IoT-Anwendungen auf und bietet ein kostenloses, frei verfügbares und offenes Netz zur allgemeinen Verwendung an. Die Lösung implementiert zu 100% den LoRa-

[1] `https://www.sigfox.com/en`
[2] `https://lora-alliance.org`
[3] `https://www.thethingsnetwork.org`

WAN Standard der LoRa Alliance und ist damit kompatibel zu allen LoRaWAN-fähigen Devices sowie Gateways[37]. Parallel zum freien Netzwerk bietet der kommerzielle Zweig The Things Industries (TTI)[4] Lösungen mit entsprechenden SLA-Verträgen auf Basis derselben Technologie und Software an.

2.4.2 Vorteile und Community

TTN bietet ein offenes und für jede Person frei zugängliches IoT-Netzwerk auf Basis des LoRaWAN an. Lokale, ehrenamtlich betriebene Communities treiben dabei parallel zu TTN und TTI selbst den Aufbau und Ausbau der weltweiten Netzabdeckung voran. Durch das gegenseitige Abkommen, dass TTN die Software frei und Open Source zur Verfügung stellt sowie betreibt und die Communities in den jeweiligen Regionen offene Gateways installieren, entstand in kürzester Zeit eine gute bis sehr gute Abdeckung in Ballungsgebieten sowie nach und nach auch im ländlichen Bereich.

Ulm zählte zu den ersten Städten weltweit, die am Aufbau eines LoRaWAN Netzwerks auf Basis von TTN teilgenommen haben (siehe 3 LoRaWAN und TTN in Ulm). Heute finden sich laut TTN über 6.000 Basisstationen in 137 Ländern. Außerdem haben sich über 60.000 Nutzer bei TTN registriert.

Der große Vorteil von TTN besteht in der schnellen und kostenfreien Verfügbarkeit für jedermann. Im Gegensatz zu den anderen Lösungen können Privatpersonen und Firmen sofort mit LoRaWAN experimentieren und Anwendungen entwickeln, wobei Firmen sicher später über einen Wechsel zu kommerziellen Lösungen nachdenken werden, der jedoch aufgrund identischer Technologie nahtlos möglich ist.

2.4.3 Systemsetup

Das System ist aus vier grundlegenden Komponenten aufgebaut: Die Nodes mit den jeweiligen Sensoren, die Gateways, der Netzwerkserver und die angeschlossenen Applikationen[19]. Die Nodes messen je nach Anwendung die verschiedenen Sensorwerte und übertragen diese an die Gateways (Basisstationen), die wiederum die Daten an den angeschlossenen Netzwerkserver via Internet weiterleiten. Dieser verwaltet die dort registrierten Nodes und bietet über ein Publish bzw. Subscribe-System die Datenweitergabe an die gekoppelten Applikationen der Endbenutzer an.

Ein sehr einfaches Beispiel wäre ein Temperatursensor, der seine Messwerte einmal pro 15 Minuten an die Gateways verschickt, diese leiten die Daten über den Netzwerkserver an eine Smartphone-App (die Applikation) zur Visualisierung der Temperatur weiter (siehe Abbildung 1).

3. LORAWAN UND TTN IN ULM

3.1 Geschichte

Im Juni 2016 war Andreas Buchenscheit[5] Panelist und einer der Vortragenden im Bereich Ubiquitous Computing auf der 29th Bled eConference in Bled, Slowenien[8]. Als Gastredner war Wienke Giezeman geladen, Co-Founder von The Things Network (TTN) Amsterdam[6]. Buchenscheit gefiel die Idee eines freien und offenen Internet of Things Netzwerkes und der Nutzung von LoRaWAN mithilfe der Open Source Software TTN[10]. Gemeinsam wurde deshalb auf

[4] https://www.thethingsindustries.com
[5] https://buchenscheit.de

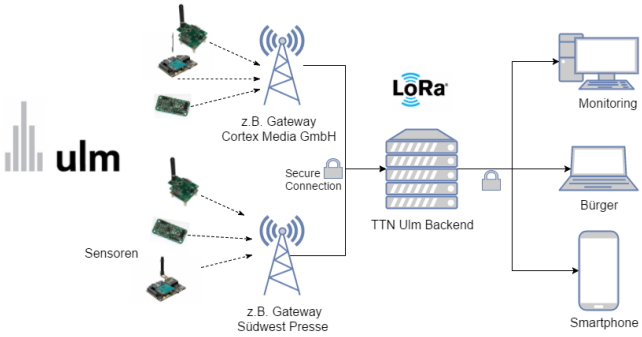

Figure 1: LoRaWAN Systemarchitektur in Ulm

der Konferenz beschlossen, auch in Ulm ein Testfeld für die neue Technologie aufzubauen. Nach der Unterzeichnung der Verträge im Juli wurden die ersten Gateways im November 2016 in Ulm installiert. Im Dezember folgten Mitarbeiter von TTN der Einladung nach Ulm und hielten einen zweitägigen Workshop mit über 30 Teilnehmern, bei dem auch die ersten Daten erfolgreich im LoRaWAN Ulm übermittelt wurden[25]. Noch im selben Monat wurde die TTN Community Ulm [10, 9] mit Interessierten aus dem Stadtgebiet gegründet und es etablierten sich zweiwöchige Treffen im Verschwörhaus[6]. Auch in 2016 wurden die erfolgreichen Tests und Entwicklungen der CORTEX media GmbH veröffentlicht und der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Zum Jahreswechsel war dadurch ein zuverlässiger Betrieb des LoRaWAN Netzwerks in Ulm möglich, das fortan der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt wurde.

Damit zählte Ulm zu den ersten Städten weltweit, die ein flächendeckendes LoRaWAN betreiben und offen, frei und kostenlos für die Bürgerschaft zur Verfügung stellen.

2017 stand im Zeichen des Experimentierens und Ausbaus der Infrastruktur mit finanzieller Unterstützung der initiative.ulm.digital e.V.[7] und der CORTEX media GmbH[8]. Mehrere Medien berichteten über die Pionierarbeit in Ulm, unter anderem die Landesschau Baden-Württemberg SWR [18], Augsburger Allgemeine [2], eGovernment Computing [12], Süddeutsche Zeitung [35], SÜDWEST PRESSE [31] und das Trendy One Magazin [38]. Ein weiterer Meilenstein neben der Inbetriebnahme des 6. Gateways im Ulmer Stadtgebiet war die Entwicklung der *Münster Node*, einer eigenen LoRaWAN-fähigen Platine auf Basis eines Arduino Pro-Mini und RFM95, welche für 10 Euro an Privatpersonen angeboten wird (siehe Kapitel 3.4 Münster Node)[26].

Auch von Seiten der Industrie gab es großes Interesse. Die Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm (SWU) schlossen im Herbst 2017 mit Ulmer IT-Firmen eine Kooperation namens „citysens“, welche LoRa-Stromzähler entwickelt und die Entwicklung von Lösungen bis zur Marktreife vorantreiben möchte[30]. Ein Jahr später folgt die Gründung der citysens GmbH[9] unter Beteiligung der Gesellschafter SWU Telenet, eXXcellent solutions, systemzwo und CORTEX media[34, 3].

Auch die lokalen Hochschulen haben das Netz für sich ent-

[6] https://verschwoerhaus.de
[7] https://www.ulm-digital.com
[8] https://cortex-media.de
[9] https://www.citysens.de

deckt und mehrere Praktika sowie Forschungsarbeiten initiiert. Darunter die Hochschule Ulm mit Projekten aus der Medizintechnik und Technischen Informatik und die Universität Ulm mit einer Summerschool für Auszubildende des KIZ sowie Forschungen zu Sicherheitsmechanismen in LoRaWAN am Institut für Verteilte Systeme.

Gründe genug für die initiative.ulm.digital nun auch das Jahresthema unter den Titel „IoT – Internet of Things“ zu setzen und bei der Jahresveranstaltung am 12.11.2018 im Stadthaus Ulm praxisnah aufzuklären[16]. Neben 7 Vortragenden nahmen knapp 400 Interessierte aus Politik, Wirtschaft, Bildung und Bürgerschaft teil und informierten sich über das Thema IoT und LoRaWAN in Ulm[33, 40]. Sie alle waren Zeuge der Inbetriebnahme des 20. Gateways, welches am Abend auf dem Ulmer Münster, dem höchsten Kirchturm der Welt, online ging (siehe Abbildung 2) [27].

Eine Vielzahl an anderen Städten sehen nun das Potential dieser Technologie und erklärten 2018 die Absicht, ebenfalls ein LoRaWAN aufzubauen. So z.B. München[13], Münster[23], Freiburg[4], Herrenberg[17] und Darmstadt[11].

3.2 Ziele

Mobile Applikationen haben die Einsatzmöglichkeiten moderner Sensoren und Nodes enorm erweitert. Dennoch benötigen sie in vielen Fällen viel Energie und die Reichweite sowie Durchdringungskraft der drahtlosen Übertragungstechnologien ist begrenzt (vgl. UMTS, LTE). Wir nutzen LoRaWAN mit dessen Eigenschaften, um diese Einschränkungen zu umgehen. Der Energiebedarf ist deutlich geringer, sodass Nodes zum Teil über Jahre senden können, und durch die enorme Reichweite und Durchdringungskraft können ganz neue Örtlichkeiten erschlossen werden. Damit möglichst viele neue Ideen verwirklicht werden können, ist unser Hauptziel, ein offenes, freies und kostenloses Netzwerk anzubieten. Experimentierfreudige müssen keine hohen Lizenzgebühren bezahlen oder in teure Hardware investieren. Wir möchten die Nutzung des LoRaWAN weiterhin kostenlos anbieten und damit die volle Innovationskraft ausnutzen. Jeder kann mit relativ geringem Aufwand Daten über das Netzwerk senden und seine eigenen Ideen verwirklichen. Ein weiteres Ziel ist der Austausch von Erfahrungen und realisierten Projekten, um die Potentiale weiter auszuschöpfen. Projekte, die in Firmen, Hochschulen oder aber auch zuhause umgesetzt werden, sollen besser präsentiert und Informationen ausgetauscht werden. Neben einem Austausch in der TTN Community würde vor allem auch ein zentrales Experimentierfeld in Form des *LoRa Parks* zu einem solchen Austausch beitragen.

3.3 Gateways und Abdeckung

Für die Basisinfrastruktur verwenden wir ausschließlich *Wirnet Stations* der Firma Kerlink[10]. Die Wirnet Station war 2014 das weltweit erste kommerzielle LoRa Gateway für Provider. Sie zeichnet sich durch ihre gute Verarbeitung und technische Zuverlässigkeit aus. Im Stadtgebiet Ulm/Neu-Ulm sind insgesamt 10 Wirnet Stations an exponierten Punkten installiert und decken die gesamten Innenstädte mit den angrenzenden Gemeinden ab. Ergänzt werden diese Gateways durch Multitech MultiConnect Stationen[11] (vor allem geeignet in Gebäuden), Lorrier[12] und Gateways auf Raspberry Pi Basis[13], welche von unterschiedlichen Firmen aber auch privat betrieben werden. Die wichtigsten Gateway Standorte in Ulm sind:

GW1 - CORTEX media Betrieben von der CORTEX media GmbH auf dem Dach des SWU-Gebäudes in der Karlstraße 1. Exponierte Lage mit Blick über das nördliche Ulm inkl. Blaubeurer Straße.

GW2 - Hafenbad 1 Betrieben von der UNO GmbH auf dem Dach eines großen Wohnhauses mit Blick über das komplette nördliche Ulm.

GW3 - SWP Betrieben von der SÜDWEST PRESSE auf dem Pressehaus am Olgaplatz mit optimaler Abdeckung des östlichen Ulms bis Neu-Ulm.

GW4 - systemzwo Betrieben von der systemzwo GmbH auf dem Dach eines Wohnhauses am Kuhberg mit Abdeckung Kuhberg und durch die erhöhte Lage auch in Richtung Süden.

GW5 - Münster Das Gateway auf dem mittleren Turm des Ulmer Münsters. Durch die extrem hohe Lage (in rund 100m) mit extrem guter Ausstrahlung in alle Richtungen.

GW6 - Universität Ulm Das Gateway auf dem Gebäude O27 der Universität Ulm auf dem Oberen Eselsberg. Ausstrahlung im Science Park und durch die erhöhte Lage über das komplette Stadtgebiet.

GW7 - Verschwörhaus Gateway am Weinhof 9 betrieben vom Verschwörhaus.

GW8 - Donaubad Gateway auf dem Dach des Donaubades in Neu-Ulm mit Abstrahlung in Richtung Neu-Ulm und Ulm.

GW9 - Edwin-Scharff-Haus Gateway auf dem Dach des Edwin-Scharff-Hauses nahe der Donau. Damit Abstrahlung vor allem in das Altstadtgebiet Ulms und Neu-Ulm.

GW10 - Glacis Galerie Gateway auf dem Dach des des Einkaufszentrums Glacis Galerie in Neu-Ulm.

Diese 10 Gateways bilden die Basisinfrastruktur und werden durch ca. 10 weitere Gateways ergänzt, sodass Ulm theoretisch flächendeckend mit unserem LoRa-Netz versorgt ist. Eine Übersicht hierzu ist auf [9] zu finden. Die Netzabdeckung wurde im Frühjahr 2017 mithilfe von Müllfahrzeugen der Entsorgungsbetriebe Ulm über einen Zeitraum von vier Wochen gemessen (siehe 3). Damit konnte die theoretische Abdeckung praktisch belegt werden.

Hinweis: Zum Zeitpunkt der Messung war das GW6 Universität Ulm sowie GW8, GW9 und GW10 noch nicht in Betrieb. Außerdem wurde selbstverständlich nur in den Regionen gemessen, in denen die Müllfahrzeuge innerhalb eines Zeitraums von 3 Wochen unterwegs waren. Es ist also davon auszugehen, dass z.B. auch in Neu-Ulm das Netz verfügbar

[10] `https://www.kerlink.com/product/wirnet-station/`

[11] `https://www.multitech.com/brands/multiconnect-conduit`

[12] `https://lorrier.com`

[13] `https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/start/build.html`

Figure 2: LoRaWan Gateway Kerlink IoT-Station auf dem Turm des Ulmer Münsters

ist und die Donau keine harte Grenze darstellt. Vereinzelte Messungen in Neu-Ulm im Bereich Schützenstraße und Augsburger Straße konnten erfolgreich durchgeführt werden.

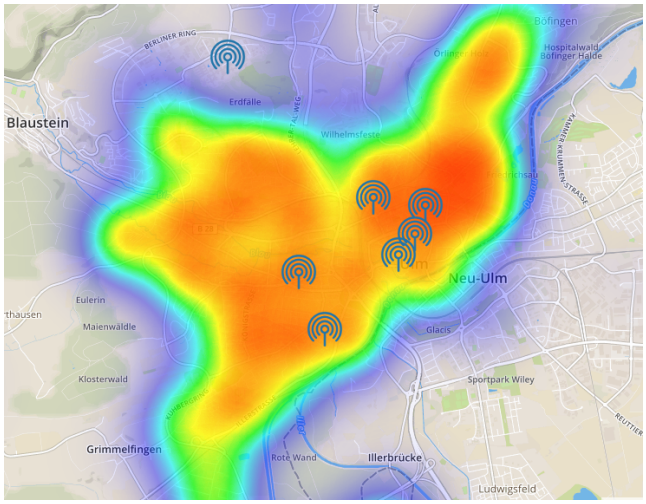

Figure 3: LoRaWAN Gateways in Ulm und Abdeckung gemessen aus Müllfahrzeugen der EBU (Stand Januar 2017)

3.3.1 Messungen aus der Luft

Durchgeführte Messungen aus einem Flugzeug bei qusi Sichtverbindung waren wie vermutet sehr gut. Dennoch übertrafen die Experimente unsere Erwartungen bei Weitem. In der ersten Versuchdurchführung am 7. März 2017 hatten wir bei einem Flug vom Flugplatz Erbach bei Ulm zum Verkehrslandplatz Augsburg (77km Luftlinie von Ulm) durchweg Verbindung zu mind. 2/3 aller Ulmer Gatways. Bei einer zweiten Versuchsdurchführung am 18. Februar 2019 ging die Route von Erbach in die Alpen. Bis auf vereinzelte Pakete wurden hier alle gesendeten Daten von mehreren – auch uns bislang unbekannten – Gateways empfangen. Visualisiert wurden die Übertragungen mit TTN-Mapper[14] (siehe Abbildung 5). Die Größte Verbindung war von Balderschwang im Allgäu zur schweizerischen Gemeinde Moutier in knapp 200km Entfernung. Beim Versuchsaufbau im Flugzeug wurden keine speziellen Vorkehrungen für eine gute Abstrahlung der Antenne vorgenommen (siehe Abbildung 4). Der Sender war im Cockpit frei angebracht. Die Flughöhen variierten zwischen 2.000ft AGL und FL70 (ca. 7.000ft MSL).

Figure 4: Versuchsaufbau in einem Flugzeug zum Test der Reichweite von LoRa

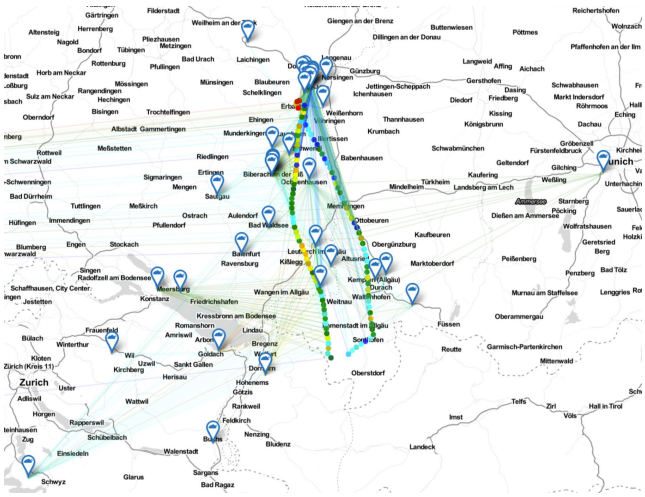

Figure 5: Visualisierung der Flugroute mit TTN-Mapper

Mit den Experimenten können wir bestätigen, dass mit der sehr geringen Sendeleistung von gerade einmal 0,5 W enorme Strecken überbrückt werden können. Zwar herrscht aus dem Flugzeug eine quasi Sichtverbindung ohne Hindernisse – außer das Flugzeug selbst – zwischen Sender und Empfänger, dennoch ist im benutzten ISM-Band mit sehr vielen Interferenzen und einem hohen Rauschen zu rechnen, was selbstverständlich über die Strecke noch zunimmt. Es zeigte, dass die Technologie robust genug ist, diese hohe Reichweite dennoch zu erreichen.

[14] `http://ttnmapper.org/experiments/map.php?name=aeroplane20190218`

3.4 Münster Node

Die Münster Node (sehe Abbildung 6) ist eine von der TTN Community im Verschwörhaus und der CORTEX media GmbH, mit Unterstützung der initiative.ulm.digital e.V., entwickelte LoRaWAN Node auf Basis eines Arduino Pro Mini und eines RFM95 LoRaWAN Funkmoduls. Ziel der Eigenentwicklung war, eine möglichst günstige Node zum Einstieg ins Thema anbieten zu können. Die angepeilte Grenze von 10 Euro pro Node (reine Materialkosten, Entwicklung als ehrenamtliche Tätigkeit) konnte eingehalten werden. Die Node wird jeder interessierten privaten Person zu diesem Preis angeboten, Firmen zahlen 30 Euro. Zur einfachen Handhabung sind zusätzliche Features, wie eine USB Schnittstelle oder eine Ladelogik, mit eingebaut. Beispielquellcode sowie eine Dokumentation zu Sensoren und zur Programmierung der TTN-Integration werden offen und für jeden zugänglich angeboten.

Die Node wurde bisher in mehreren Workshops im Verschwörhaus vorgestellt, selbst bestückt sowie auch an Interessierte in Ulm und Neu-Ulm sowie im gesamten Bundesgebiet verschickt.

Figure 6: Münster Node: LoRaWAN fährige Note auf Basis eines Arduino Pro Mini für den leichten Einstieg in die LoRa-Welt

3.5 Zukunftsstadt 2030

Ziel der Zukunftsstadt Ulm[15] – 3. Phase ab Juni 2019 – ist es, Nachhaltigkeit gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern mit Hilfe von neuesten digitalen Techniken ressourceneffizient in der Stadtentwicklung zu etablieren. Dies setzen wir mit einem Reallabor um, das die besten Ideen (Phase 1) und die praktikabelsten Prototypen (Phase 2) vereint[14]. Mit dem innovativen Ansatz, das Internet der Dinge im gesellschaftlichen Bereich für alle anzuwenden, entstehen gerade für mittelgroße Städte neue und übertragbare Geschäftsmodelle. Mit Hilfe des Internets der Dinge werden für die oben genannten Herausforderungen Ulms datenbasierte Lösungen entwickelt. Dazu wird der öffentliche wie auch der private Raum mit Sensoren und Aktoren ausgestattet und diese Daten in einem Ulmer Urbanen Datenraum zusammengeführt. In den Bereichen Bildung, Mobilität und Demographie ist es das Ziel, aus den wachsenden Datenbeständen heraus kontinuierlich sichtbare Anwendungsfälle mit und für die Bürger im co-kreativen Prozess aufzubauen. Damit werden soziale und technische Innovationen in die Stadtgesellschaft ausgerollt.

Die Stadt Ulm möchte nützliche, energieeffiziente LoRa-Sensoren erproben und Chancen, Grenzen und die Wirksamkeit partizipativer Anwendungsmöglichkeiten ausloten. Aufbauend auf dem in Phase 2 entstandenen freien und offenen LoRaWAN-Gatewaynetz werden in Phase 3 Anwendungen in der Stadt sichtbar. In diesem Rahmen ist ein LoRa Park sehr sinnvoll.

An diesem Beispiel kann die Bürgerschaft lernen und an neue Techniken herangeführt werden. Die Einbindung der Bürgerschaft geht bei der Zukunftsstadt Ulm 2030 weit über bekannte Bürgerbeteiligungsformate hinaus. In einer Zeit des digitalen Wandels sind Leitplanken, die sicherstellen, dass zum Beispiel automatisierte Entscheidungen diskriminierungsfrei erfolgen, dringend notwendig. Bürgerinnen und Bürger müssen auch die technische Funktionsweise sowie die sozialen und ethischen Dimensionen des Einsatzes von Computern, Smartphones und Tablets verstehen. Ganz besonders gilt dies für die Vermittlung und das Erlernen von digitalen Sensortechniken in verschiedenen Anwendungsgebieten. Die Bürgerschaft wird somit zu einem aktiven Mitgestalter der Zukunftsstadt, die aus ihren höchstpersönlichen Bedürfnissen und Antrieben heraus aktiv wird.

4. LORA PARK IN ULM

Eine Vielzahl an Anfragen bezüglich der LoRa-Aktivitäten in Ulm ist der Vorreiterrolle unserer Stadt geschuldet. Während 2016 und 2017 Ulm noch mit wenigen anderen Städten in der Experimentierphase wichtige Erfahrungen sammeln konnte (siehe 3.1 Geschichte), sind die Aktivitäten hier vor Ort spätestens mit der Veröffentlichung der Münster Node (siehe 3.4 Münster Node) und der Kommunikation unserer Erfahrungen weit über die Stadtgrenze bekannt. Um unsere Vorreiterrolle weiter auszubauen und die Aktivitäten in Richtung Smart City vorantreiben zu können, soll unter dem Projektnamen *LoRa Park* ein Experimentierfeld und öffentlicher Showroom zum Thema LoRaWAN und IoT mitten in der Stadt entstehen.

4.1 Grundidee und Ziele

Der Grundstein für die Technologie ist in Ulm längst gelegt. Das Netzwerk ist im Stadtgebiet flächendeckend verfügbar und der Zugang zum Netzwerk ausführlich dokumentiert (siehe 3). Durch das offene Netzwerk haben alle die Möglichkeit, eigene Anwendungen zu entwickeln und das Netzwerk für ihre Ideen zu nutzen. Egal ob aus rein privatem Interesse, als Gruppenprojekt im Verschwörhaus, als Forschungsprojekt an einer der Hochschulen oder aus Unternehmensinteresse wie bei der citysens GmbH. Aufgrund dieser verteilten Aktivitäten ist der jeweilige Entwicklungsstand jedoch nur schwer einsehbar. Es gibt bislang keinen zentralen Ort, an dem die Experimente durchgeführt und die Vorteile des IoT mithilfe von LoRa für jedermann greifbar werden.

Der *LoRa Park* soll ein solcher Ort werden. Es sollen nicht nur experimentelle Projekte von Hochschulen und Firmen an diesem Ort stattfinden, sondern auch marktreife Applikationen in einem einen öffentlichen Showroom für die Bür-

[15] `https://www.zukunftsstadt-ulm.de`

gerschaft sichtbar werden. Durch diese zentralen Aktivitäten kann ein besserer Austausch der Parteien erfolgen und das Potential und die Marktreife einzelner Ideen simuliert werden. Der Bürger spielt hierbei eine wichtige Rolle. Nur wenn das Verständnis und auch die Akzeptanz in der breiten Bevölkerung ankommt, können wir später die Technologie für die verschiedensten Anwendungsfälle zum Wohl der Allgemeinheit nutzen.

4.2 Sensoren

Das Ziel ist, möglichst viele unterschiedliche Sensoren und Anwendungen an einem zentralen Ort zu testen, zu betreiben, auszustellen und die Daten sinnvoll auszuwerten. Viele längst etablierte Sensorsysteme können mithilfe von LoRaWAN nun vielfältiger eingesetzt werden. Ein klassischer Stromzähler erhebt beispielsweise schon seit Jahrzehnten zuverlässig den Stromverbrauch, zum Ablesen der Werte muss heute aber immer noch ein Mitarbeiter der Stadtwerke vor Ort sein oder über komplizierte weiterleitende Systeme (z.B. DHCP -> WLAN -> Internet) übermittelt werden. Mit LoRa können wir diesen Zähler in regelmäßigen Abständen automatisch über das Funknetzwerk auslesen. Im Folgenden werden dieses und weitere Beispiele behandelt und erläutert, wie sie im *LoRa Park* Anwendung finden sollen. Die Sensoren werden dabei in unterschiedliche Kategorien (Luft und Umwelt, Sicherheit, Living sowie Analysen und Betriebsüberwachung) geordnet, um einen logischen Zusammenhang zu schaffen.

4.2.1 Luft und Umwelt

Temperatursensor.

Einer der einfachsten Sensortypen ist die Messung der Temperatur. Neu in diesem Kontext ist, dass die Messung dank der Netzabdeckung und des geringen Energiebedarfs quasi an jeder Position im Stadtgebiet batteriebetrieben vorgenommen und übermittelt werden kann. Somit könnte neben einer grundsätzlichen Wetterbeobachtung eine genaue Erhebung über die Erwärmung und Abkühlung der Stadt abhängig von der Bebauung oder orthographischen Eigenschaften gespeichert und analysiert werden. Temperatursensoren können aber auch zur Betriebsüberwachung an Gegenständen oder Maschinen angebracht werden oder aber an Rohrleitungen die Gefahr von Legionellen erkennen.

Im LoRa Park sollen deshalb unterschiedliche Temperatursensoren für unterschiedliche Anwendungsfälle getestet und betrieben werden. Zudem soll die Genauigkeit von einfachen Temperatursensoren im Vergleich von industriellen Lösungen verglichen werden, damit eine Aussage über mögliche spätere Einsatzgebiete getroffen werden kann.

Wetterstation.

Ergänzt man den Temperatursensor mit weiteren Messwerten, wie den Luftdruck, die Luftfeuchtigkeit, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, usw., kann eine komplette Wetterstation auf LoRa-Basis – und damit ortsunabhängig – betrieben werden.

Bestehende Wetterstationen können über Schnittstellen oder Adapter (Digital I/O Adapter, Modbus oder M-Bus Adapter, etc.) mit LoRa nachgerüstet werden. Neuere Wetterstationen können eine LoRa-Integration schon ab Werk bieten, wie z.B. die Meteohelix IoT Wetterstation[5]. Die gemessenen Werte können damit in kurzen Intervallen fast live übertragen werden und erlauben damit eine genauere Überwachung der anfallenden Daten, im Gegensatz zu den den bisher üblichen intervallbasierten Ablesezeiträumen (einmal täglich, etc.). Dank Solarbetrieb und Batteriepuffer können solche Wetterstationen sogar komplett autark betrieben werden.

Sensorik für Luftqualität/Luftverschmutzung.

Interessante und gesellschaftlich relevante Anwendungen für diesen Sensortyp sind beispielsweise Messungen von Stickstoffdioxiden (NO_x), Feinstaub und flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOCs).

Stickstoffdioxide entstehen u.a. im Straßenverkehr durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern und können gesundheitliche Risiken hervorrufen. Feinstaub in den Kategorien PM_{10} oder $PM_{2,5}$ entsteht u.a. durch die Verbrennung von Dieselkraftstoffen und den Abrieb von Autoreifen. Hohe Konzentrationen von VOCs, als Sammelbezeichnung für kohlenstoffhaltige Stoffe, können in der Innenraumluft Kopfschmerzen, Müdigkeit oder Schlafstörungen verursachen[41].

Mit passenden Sensoren, welche die Konzentration dieser Substanzen in der Luft messen, können entsprechende Anwendungen entwickelt werden. Denkbar wäre z.B. die Messung von VOCs in Schulräumen oder NO_x im Ulmer Stadtgebiet zur Verbesserung und Optimierung der Verkehrsführung.

Im LoRa Park sollen diese Sensortypen für den späteren Einsatz getestet und die Daten ausgewertet werden. Auch soll getestet werden, ob ein autarker Betrieb mit Solarzellen (und Übertragung via LoRa) möglich ist. Damit wäre man auch für weitere Messstationen im Stadtgebiet völlig unabhängig von einer Infrastruktur.

Eine Messung von VOCs ist mit dem Sensor BME680 von Bosch[7] möglich, der auch schon innerhalb der TTN Ulm Community evaluiert worden ist.

Lichtsensoren.

Lichtsensoren können z.B. eingesetzt werden, um über den abrupten Wechsel von Hell nach Dunkel (oder umgekehrt) eine Veränderung in der Umgebung zu messen. Beispiele wären das Öffnen einer Tür, das Schließen von Jalousien oder das Abdecken eines Schalters mit der Hand.

Eine andere Anwendung von Lichtsensoren ist die Messung der sogenannten Globalstrahlung, die zur Abschätzung der zu erwartenden Sonneneinstrahlung bei Solaranlagen verwendet wird. Damit kann vorab eine Analyse zur Rentabilität einer Anlage durchgeführt werden.

Im LoRa Park sollen unterschiedliche Lichtsensoren getestet werden. Neben allgemeinen Aussagen über die Helligkeit im Park/in der Stadt, welche z.B. mit Daten der Wetterstation abgeglichen werden können, sollen Lichtsensoren auch die Nutzung einer Parkbank melden. Eine derartige Anwendung könnte vor allem für Gastronomen interessant werden, da kostengünstig die Belegung aller Plätze im Restaurant in Echtzeit zur Verfügung steht.

Bodenfeuchtigkeit.

Durch die Messung von Bodenfeuchte können im privaten wie im kommunalen Umfeld interessante Anwendungen entwickelt werden. Von der Überwachung der Feuchtigkeit der Erde im eigenen Garten, Schrebergarten oder von Balkonpflanzen bis hin zur bedarfsgenauen Bewässerung von öffentlichen Grünflächen und Gartenanlagen können mit die-

sen Sensoren viele Anwendungen abgedeckt werden. Eine notwendige Wässerung kann somit erst dann angefordert oder sogar automatisiert geschalten werden, wenn Bedarf besteht. Das spart Wasser und kann zusätzlich das Wachstum fördern (keine Überwässerung, keine Staunässe, etc.). In Verbindung mit den Daten von lokalen Wettervorhersagen aus dem Internet kann z.B. auf die Bewässerung von Grünflächen verzichtet werden, wenn in absehbarer Zeit Regen gemeldet wird.

Im LoRa Park soll die Bodenfeuchte an Bäumen und Pflanzen gemessen und verglichen werden, um entscheiden zu können, ob dieser Sensortyp auch in großen Stückzahlen im Stadtgebiet Potenzial hat.

Bodensensoren für Frost, Salzgehalt und Schnee.

Zur besseren Steuerung von Räum- und Streudiensten im Winter können strategisch verteilte, in den Asphalt eingesetzte Bodensensoren z.B. die Temperatur in verschiedenen Bodenschichten, den Salzgehalt auf der Oberfläche und Vereisungen auf der Straßenoberfläche messen. Anhand dieser Messdaten kann frühzeitig und ohne örtliche Präsenz entschieden werden, ob Räumdienste eingesetzt werden müssen.

Die Stadt Herrenberg setzt solche Sensoren ein, um seinen Räumdiensten ein eventuell nicht nötiges Ausrücken um 4:00 Uhr morgens zu ersparen[1]. Ein ähnliches Projekt hat die Deutsche Bahn angekündigt, um frühzeitig entscheiden zu können, ob vor allem entlegene Bahnhöfe geräumt werden müssen.

Im LoRa Park sollen diese Sensoren im Boden verbaut und getestet werden, ob eine adäquate Aussage über die Glatteis-/Schneesituation getroffen werden kann.

Geräuschpegelmessung.

Durch eine flächendeckende Geräuschpegelmessung mithilfe mehrerer Sensoren (Mikrophonen) kann eine Lärmbelastung eines Gebietes ermittelt werden. Durch die Kombination und Fusion der jeweiligen Messwerte kann damit ein Grundpegel einer Region zeitlich erfasst werden. Kurze Spitzen, wie z.B. das Beschleunigen eines Fahrzeuges, kann durch eine Mitteilung der Werte abgefangen werden, aber auch gezielt zur Erkennung solcher Peaks verwendet werden.

Um mit ersten Referenzwerten in der Stadt zu experimentieren, soll im LoRa Park ein Sensor zur Geräuschpegelmessung verbaut und kontinuierlich ausgewertet werden. Diese ersten Referenzdaten liefern weitere Informationen zu den Möglichkeiten der Analyse und damit den weiteren Einsatzmöglichkeiten von verteilten Geräuschpegelmessungen in der Stadt.

Wasserstand und Hochwasser.

Über Wasserstandsensoren können frühzeitig Prognosen über Hochwasser oder aber auch drohendes Hochwasser abgegeben werden sowie allgemein der Stand eines Flusses oder Sees an die entsprechenden Stellen übermittelt werden, ohne dass eine händische Messung vor Ort nötig ist. Diese Sensoren können entweder in einem spezifischen Intervall regelmäßig den Wasserstand übermitteln oder aber nur bei unregelmäßig hohen Wasserständen, was den Energiebedarf weiter minimiert. Damit können auch entlegene Gebiete überwacht und drohendes Hochwasser frühzeitig erkannt werden.

Im LoRa Park soll ein Wasserstandsensor demonstriert und reale Werte aus der Donau und Blau auf den Infoscreens visualisiert werden. Zum Einsatz kommen hier vor allem Drucksensoren für Flüssigkeiten, welche dadurch den Wasserstand ableiten können.

Wassertemperatur.

Ähnlich wie die Lufttemperatur soll im LoRa Park auch die Temperatur von Wasser gemessen und visualisiert werden. Auch hier eigenen sich selbstverständlich verteile Sensoren in Donau und Blau. Noch interessanter ist aber die Wassertemperatur der umliegenden Badeseen. Ein erster Sensor wurde bereits am Baggersee in Neu-Ulm Ludwigsfeld angebracht und sendet seine Messwerte[32]. Weitere Seen sollen folgen, um Zusammenhänge zu analysieren oder einfach nur die Entscheidung, welcher See besucht wird, zu erleichtern.

Fließgeschwindigkeit von Gewässern.

Über Durchflusssensoren kann die Geschwindigkeit sowie das Volumen von Flüssen, Rohrleitungen oder vergleichbaren, wasserführenden Systemen bestimmt werden. Analog zur Leckagenerkennung kann damit z.B. erkannt werden, ob Rohrleitungen noch dicht sind oder die aktuelle Fließgeschwindigkeit den Vorgaben entspricht. Ablagerungen, z.B. im Rohrleitungssystem oder in Flüssen/Bächen können damit frühzeitig erkannt werden.

4.2.2 Sicherheit

Brandmelder und Rauchmelder.

Brand- und Rauchmelder können über LoRaWAN ihren jeweiligen Zustand in Echtzeit an entsprechende Stellen übertragen und damit eine Überwachung ohne zusätzliche Infrastruktur ermöglichen. Auch interne Werte wie der Batteriezustand könne von extern ausgelesen werden, ohne dass ein Techniker vor Ort eine Auslesung anstoßen muss.

Die Detektion von Bränden kann auch außerhalb von Gebäuden interessant sein. Im südlichen Europa, aber auch in weiten Teilen Amerikas werden größere Waldflächen nach Rauchentwicklung und Bränden beobachtet[36]. Diese sind mit einem enormen personellen Aufwand verbunden, sehr schwer zu überwachen und vorherzusagen[24]. Mit geeigneten Brandmeldern, könnte auch in großen unzugänglichen Gebieten ein Frühwarnsystem entwickelt werden. Dank der großen Reichweite von LoRaWAN und der langen Batterielaufzeit der Sensoren, können große Gebiete mit relativ wenig personellem Aufwand überwacht werden.

Die Entwicklung solcher Brandmelder und die Simulation soll im LoRa Park demonstriert werden.

Erkennen von Strukturschäden in Stein und Beton.

Durch Dehnungssensoren können sehr kleine und kaum sichtbare Mängel wie Risse an Wänden und Bauwerken erkannt und gemeldet werden. Dies ist vor allem bei sehr schwer zugänglichen Bereichen wie den Außenwänden von Türmen, Hochhäusern und Kirchen interessant. Oder auch Brückenbauwerke, die durch starken Verkehr an die Grenzen der baulichen Belastbarkeit kommen.

Es lassen sich über die damit visuell darstellende zeitliche Veränderung Trends darstellen, die wiederum Auswirkungen auf notwendige Wartungszyklen haben können.

Das Ulmer Münster wird jährlich auf strukturelle Veränderungen untersucht

Öffnungssensorik.
Sensoren, die den Zustand von Türen und Toren messen und melden, können zur Absicherung von Gebäuden und Alarmierung von Sicherheitsdiensten verwendet werden.

Bewegungs- und Erschütterungsmelder.
Bewegungsmelder an strategisch günstigen Positionen können zur Messung der Anzahl von Fußgängern oder Fahrzeugen innerhalb eines Gebiets verwendet werden. Auch Anwendungen in der Natur zur Überwachung von Futterstellen von Wildtieren sind denkbar.

Erschütterungssensoren können beispielsweise zur Erkennung von Erdbeben bzw. Bergschäden in früheren Bergbaugebieten sowie die Bewegung von eigentlich stationären Elementen verwendet werden. Denkbar sind Anwendungen in Brücken oder anderen stark beanspruchten Objekten, die bei zu starker oder nicht geplanter Beanspruchung nachfolgend kontrolliert und gewartet werden müssen. Diese Sensoren können auch als Einbruchmelder genutzt zu werden, z.B. an Fensterscheiben oder Zargen, um unerlaubte Öffnungsversuche zu erkennen und zu melden.

Leckagenerkennung.
Schäden an unter- und überirdische Rohrleitungen können durch Leckagesensoren erkannt und zeitnah behoben werden. Auch in privaten und kommerziellen Installationen wie Frisch- und Abwassertanks (Zisternen) können solche Messungen einen Mehrwert für den Betreiber liefern.

Rohrtemperatur.
Wasserschäden und drohende Leckagen durch Einfrieren von Rohren / Flüssigkeiten lässt sich durch punktuelle Überwachung der Rohrtemperatur identifizieren und, wenn nötig, durch Gegenmaßnahmen vermeiden. Die Meldung von Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (der jeweiligen Flüssigkeit) löst in jedem Fall die Alarmierung aus, sodass das Betriebspersonal die Gegenmaßnahmen einleiten kann.

4.2.3 Living

Button.
Eine der einfachsten Formen einer Benutzereingabe ist ein Button. Dieser kann zum Aktivieren oder Deaktivieren von bestimmten Zuständen eingesetzt werden und ist als einfacher Demonstrator gut geeignet. Dank LoRa ist der Button völlig unabhängig vom Standort und kann quasi im kompletten Stadtgebiet betrieben werden.

Im LoRa Park soll diese Funktion erlebbar gemacht werden, indem über den Button ein weiteres Device oder die Anzeigetafel gesteuert werden kann. Interaktive Elemente laden im Besonderen ein, den Nutzer mit einzubinden und den Park erllebbar zu mcahen. Hier könnte man sich sogar vorstellen, dass ein einem ganz entfernten Ort (Wilhelmsburg, Ulmer Münster, ...) – sofern vom Standort einsehbar – ein Licht angeht.

Lighting Bridge.
Neben der Belastung der Umwelt durch Abgase und Lärm rückt zunehmend auch die Belastung durch Licht ins Bewusstsein der Bevölkerung. Auch in diesem Fall ist es sinnvoll, die Beleuchtung abhängig von der Notwendigkeit zu regeln, z.B. ohne Menschen die Beleuchtung runter zu regeln, bei besonderen Vorfällen wie lauten Stimmen oder schneller Bewegung punktuell oder in Bewegungsrichtung die Beleuchtung zu erhöhen. Dieses wird bei Laternen im Park gezeigt.

Schalter.
Unterschiedlichste über LoRaWAN gesteuerte elektronische Schaltmöglichkeiten wie Hoch-, Mittel-, Niedervoltschalter und Dimmer ermöglichen die Steuerung von Einrichtungen wie Beleuchtung, Pumpen, Ventilen o.ä. elektrischen Verbrauchern, bei denen die Echtzeitfähigkeit nicht im Vordergrund steht, sondern die Zuverlässigkeit und die Kosten.

Parkplatzsensoren/Verkehrsleitung.
Das Ziel der Verkehrsplaner für Städte ist die reibungslose Abwicklung des Verkehrs in der Stadt und aus Bürgersicht die störungsfreie und schnelle Möglichkeit, an sein Ziel zu kommen. Neben der aktiven Beeinflussung des Verkehrs (Verkehrsleitung) spielt dabei eine effiziente Parklösung eine entscheidende Rolle. Diese umfasst Einzelparksensoren und Flächenüberwachung, z.B. durch Videosysteme oder Zufahrtskontrollen, vergleichbar zu Parkhäusern. Die Daten aus dieser Sensorik sind dabei die Grundlage für alle Parkraum-/Verkehrsleitlösungen. Um dem Bürger einen Nutzen zu bieten, müssen diese Daten in einer eigenen Softwarelösung verarbeitet werden, damit der beste Weg zum Ziel gezeigt wird.

Ventilmanagement.
Über sogenannte valve controls lassen sich Ventile unterschiedlichster Art über LoRa steuern. Damit können nicht nur Rohrleitungen geöffnet oder geschlossen, sondern auch Ventile anderer Art ferngesteuert werden.

Schädlingsfallen.
Zur Schädlingsbekämpfung werden auch heute noch Fallen und Gifte eingesetzt. Der Gesetzgeber gibt mittlerweile allerdings vor, dass diese Fallen und Gifte regelmäßig überwacht werden. Bislang ist dies nur durch wiederkehrende Besuche vor Ort möglich. Dank des LoRaWAN und der guten Abdeckung können solche Fallen und Gifte besser überwacht werden, indem die Stationen jeweils ihren aktuellen Zustand übermitteln. Dies können einfache Parameter sein wie *Tief in Fall* oder *Tief nicht in Fall.* Es können aber auch detailliertere Informationen übertragen werden, wie die Anzahl an Rattenbesuche in einer Tox-Box von Ball-B[16].

Gigabit WLAN.
Auch wenn Free WiFi nicht direkt zu IoT zählt und mit der LoRaWAN Technologie nichts gemein hat, soll im LoRa Park auf jeden Fall Breitbandinternet über ein öffentliches WLAN zur Verfügung stehen. Dieses wird sowohl für das Setup der Sensoren als auch für die gesamte Experimentierumgebung benötigt. Auerßdem möchten wir unseren Bürgern Innovation vermitteln und greifbar machen. Dieses positive Gefühl sollte nicht bereits aufgrund fehlendem Internetzugang getrübt werden.

Smart Bank.
Ebenso kein direkter Bezug zum LoRaWAn hat die Smarte Bank, jedoch soll sie gleichwohl wie das offene WLAN den

[16] `https://www.ball-b.de`

Innovationsgedanken unterstreichen. Besucher des Parks haben hier die Möglichkeit, über eine autark-betriebene Solar-Bank ihr Smartphone zu laden.

4.2.4 Analysen und Betriebsüberwachung

Personenzählung / Besucherstrommessung.
Eine konkrete Anwendung mit den vorherigen Sensoren ist die Zählung von einzelnen Personen oder größer angelegter Besucherstrommessungen. Durch die Kombination verschiedener Sensoren mit Technologien wie Ultraschall, Radar oder visuellen Erkennungen (Computer Vision) kann die Anzahl von Personen in einem abgesteckten Bereich zu einem Zeitpunkt ermittelt werden.

Radfahrzählung / Verkehrszählung.
Im immer wichtiger werdenden Bereich der multimodalen Verkehrskonzepte können Radfahrzählungen den Bedarf sowie die aktuelle Auslastung von Radwegen oder Straßen noch ohne Radwege ermitteln, um somit eine Grundlage für die Entscheidung über Baumaßnahmen oder Erweiterungen zu treffen. Im LoRa Park selbst kann eine Besucher- und eine Radfahrzählung durchgeführt werden.

Ebenso immer wichtiger werden Statistiken über das grundsätzliche Verkehrsaufkommen in den Innenstädten. Dank der Unabhängigkeit des Funknetzes können mobile batteriebetriebene Zählstellen auch temporär an unterschiedlichste Stellen im Stadtgebiet angebracht werden. Abbildung 7 zeigt eine einfache Verkehrszählung in der Karlstraße. In Abbildung 8 findet man die dazugehörige Auswertung und den Verlauf des Verkehrsaufkommens über einen Tag hinweg.

Figure 7: Batteriebetriebener Ultraschallsensor zur Zählung von Fahrzeugen in der Karlstraße. Die Ergebnisse werden alle 5 Minuten via LoRaWAN in die Datenbank übertragen

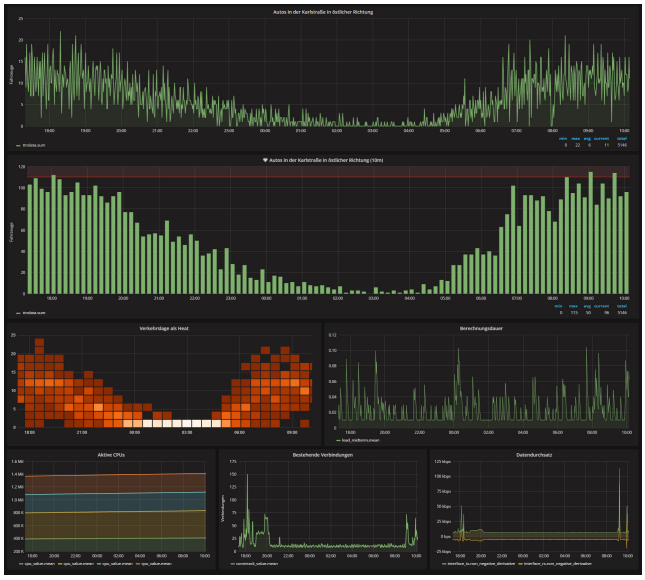

Figure 8: Dashboard mit Visualisierung des Verkehrsaufkommens über den Tagesverlauf

Strom- und Wasserzähler.
Strom- und Wasserzähler können den aktuellen Zählerstand periodisch an den Verbraucher sowie den Netzbetreiber übermitteln, um den Verbrauch besser überwachen zu können. Mit entsprechenden Visualisierungen und Prognosen kann so der eigene Verbrauch sowie das eigene Verhalten angepasst und optimiert werden. Auch Fehlfunktionen können erkannt werden (Wasserverbrauch als Leckageindikator) sowie der Stromverbrauch als Fremdbenutzungsanzeige an abgelegenen Orten wie einem Gartenhaus oder Schrebergarten.

Wärme/Fernwärme.
Wie die Strom- und Wasserzähler können selbstverständlich auch Werte und Verbrauchsinformationen aus dem Bereich Fernwärme oder Transit von den unterschiedlichsten Stellen aus übermittelt werden.

Füllstandsensoren.
Der Füllstand von Mülleimern und Müllcontainern lässt sich mit Ultraschall- oder volumenbasierten Sensoren messen. Die damit entstehenden Verlaufswerte können, unter Berücksichtigung von Ausreißern (z.B. leeren aber voluminösen Papiertüten), zur Prognose wann ein Müllcontainer vollständig gefüllt sein wird, verwendet werden.

Dieses Füllstandssensoren können ebenso in Glascontainern, Tanks oder anderen Behältern Anwendung finden und den Status in regelmäßigen Abständen übermitteln.

Schadenmelder.
Ein etwaiger Schaden ist in vielen Szenarien nur schwer erkennbar. Gebäude, Brücken oder Bauwerke haben keinen einfach messbaren Parameter, der vor einem drohenden Schaden warnt. Dennoch gibt es Möglichkeiten, z.B. Strukturveränderungen über Sensoren zu erfassen. Dank LoRa können diese Werte nun dauerhaft und an entlegenen Orten erho-

ben werden. Z.B. wird das Ulmer Münster regelmäßig nicht Fernglas und Meterstab auf strukturelle Veränderungen untersucht. Eine Installation von Sensoren könnte diese Arbeit deutlich erleichtern.

Zusätzlich können einfache Lage- und GPS-Sensoren ermitteln, ob beispielsweise eine mobile Absperrung noch an ihrem Standort steht oder die Absperrung/das Schild umgefallen ist.

A/D Wandler.

Mit einem Analog-Digital-Wandler kann jedes beliebige analoge Signal und jeder beliebige analoge Messwert in einen diskreten digitalen Wert umgewandelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass für die Übertragung über das LoRaWAN das digitale Ausgangssignal möglichst wenige Daten erzeugen sollte. Filterung, Abstraktion und Reduktion der Daten kann hierbei hilfreich sein. Es ist allerdings auch daran zu denken, dass Künstliche Intelligenz (KI) in der Node die Relevanz und Art der Daten deutlich beeinflussen kann.

Geolokalisierung / GPS-Tracker.

Geräte, Fahrzeuge und Container sind unter Umständen nicht am erwarteten Ort wiederzufinden - aufgrund von Diebstahl oder wegen fehlerhaften Unterlagen. Per LoRaWAN Sensor können die jeweils aktuellen GeoDaten angefragt (energieeffizient) und auf einer Karte dargestellt werden. Denkbar sind auch Katze, Hund oder andere Lebewesen, deren aktueller Standort bestimmt werden soll.

Raumüberwachung.

Durch Bewegungssensoren kann relativ einfach ermittelt werden, ob ein Raum momentan belegt ist oder nicht. Benötigt man eine höhere Präzision, kann man auf Radar- und Infrarotsensoren zurückgreifen. Dieser Status der Raumbelegung kann übermittelt werden und dann eventuell sogar als Überwachung eingesetzt werden.

Im LoRa Park könnten wir in der Form demonstrieren, dass online übermittelt wird, ob sich derzeit Personen im Park befinden oder nicht. Eine zusätzliche statistische Auswertung steigert zudem das Interaktionserlebnis.

Feedbackgeber.

In WCs am Bahnhof oder Flughäfen findet man schon seit Längerem einfache Feedback-Buttons, welche den Zustand der Toiletten erfragen. Durch das dezentrale Netzwerk können wir solche Feedbackbuttons nun an beliebiger Stelle im Stadtgebiet einsetzen. Im LoRa Park können wir zu Demonstrationszwecken abfragen, wie den Besuchern das Thema IoT und LoRaWAN gefällt.

Netzqualität.

Für die meisten Anwendungen ist die Reichweite und Abdeckung des LoRa-Netzes von Bedeutung. Um diese Netzqualität zu messen, haben wir unterschiedliche Möglichkeiten [20]. Für eine übersichtliche Veranschaulichung, welche Gateways ein Testpaket empfangen haben, hat sich TTN-Mapper[17] bewährt.

Zwar ist die Visualisierung der Netzqualität im LoRa Park selbst nicht direkt von Bdeutung, allerdings möchten wir die Besucher über die enorme Reichweite aufklären und Beispiele zeigen.

[17] `http://ttnmapper.org/`

Cattle Tracker.

Vor allem auf großen Farmen ist das Verhalten und der Gesundheitszustand von Rindern und Kühen nur schwer überwachbar, aber von großer Bedeutung. So äußern sich beispielsweise schwangere oder kranke Kühe durch eine eindeutige Verhaltensform, welche Dank LoRa auch auf großen Flächen überwacht werden kann [28].

Dieses Tracking kann selbstverständlich auch mit anderen Tieren oder auch Menschengruppen durchgeführt werden. Wie verhalten sich beispielsweise Touristen, die Ulm erkunden? Für den LoRa Park selbst ist diese Überwachung eher uninteressant.

4.2.5 Wissenschaft

Auch Wissenschaftler profitieren in ihren Disziplinen von der breiten Verfügbarkeit von Sensornetzen.

Im Bereich der Biologie können biologische Systeme der Tier- und Pflanzenwelt kontinuierlich analysiert werden. Physiker, Chemiker, Geologen oder Meteorologen können Sensorik im Feld ausbringen und Parameter kontinuierlich und mit hoher räumlicher Auflösung überwachen. Im Bereich der Informatik und Psychologie können Studien zum Nutzerverhalten von Mobilgeräten durch Sensorik unterstützt werden.

Gerade vor dem Hintergrund der zunehmend datengetriebenen Wissenschaften gibt es kaum einen Wissenschaftsbereich, der von Sensornetzen nicht profitieren kann.

4.3 Infoscreens und Apps

Die zunächst oft verborgene Funktionsweise von Sensorik, Kommunikation und Datenverarbeitung soll sichtbar und erfahrbar gemacht werden. Ziel ist dabei, einerseits die erfassten und errechneten Daten verdeutlichen und Sensoren steuern zu können, andererseits eine Demonstration und Erklärung verschiedener Sensoren und Anwendungsszenarien zu ermöglichen.

Als Endgeräte sind dazu Informationsscreens, -säulen und mobile Geräte sowie Apps möglich, auf denen Besucher auf konfigurierbaren Dashboards Daten des IoT-Netzwerks visualisieren und Elemente steuern können.

Eine mobile App kann diese Daten noch immersiver mit der realen Welt verknüpfen: Mit Hilfe von *Augmented Reality* wird das durch das Smartphone gefilmte Bild realer Gegenstände, Sensoren oder Demonstratoren des Parks mit erläuternden virtuellen Inhalten und aktuellen Messwerten angereichert.

4.4 Standort

Der Erfolg des LoRa Parks steht und fällt mit seinem Standort. Er ist als Experimentierfeld und Showroom des Internet of Things ausgelegt und muss deshalb an einem zentralen Ort ins Leben gerufen werden. Hierzu eignen sich keine Räumlichkeiten einer Firma oder der Hinterhof einer Institution. Vielmehr muss das Thema mitten in unserer Stadt erlebbar gemacht werden und sowohl für Beteiligte als auch Besucher leicht erreichbar sein. Zudem spielt das „zufällig Vorbeikommen“ eine große Rolle, da zu erwarten ist, dass dieses Thema nicht von allen Bürgern pro-aktiv auf Interesse stößt.

Wichtig zu erwähnen ist außerdem, dass der vorhandene Platz/Park nicht durch große Umbaumaßnahmen verändert oder gar deutlich sichtbar Technik einbetoniert wird. Die Sensoren sind sehr klein und fügen sich subtil in das Stadtbild. Die Infoscreens und Informationstafeln ergänzen den

Park, sodass die Technik erst auf den zweiten Blick sichtbar wird. Aus diesem Grund werden konkret zentrale Standorte vorgeschlagen.

4.4.1 Rathausplatz/Marktplatz

Der kleine Park hinterm Ulmer Rathaus eignet sich in besonderem Maße für die Realisierung des LoRa Parks. Er zeichnet sich durch die zentrale Lage und Nähe direkt zur Stadtspitze aus und ist in Größe und Form optimal geeignet.

4.4.2 Weinhof

Der Weinhof eignet sich als Ergänzung zum Verschwörhaus und Digital Hub sehr gut für die Umsetzung des LoRa Parks. Damit fügt sich das Ziel auch thematisch gut in eine vorhandene Digitalisierungsumgebung.

4.4.3 Fischerplätzchen/Donau

Gerade der große Besucherstrom und die Donaunähe für erwähnte Sensoren machen das Fischerplätzchen sehr attraktiv für einen LoRa Park.

4.4.4 Judenhof/Hinterer Münsterplatz

Ebenso sehr zentral und optimal gelegen, sind die Plätze Judenhof und hinterer Münsterplatz (östlich des Münsters).

Als Favorit hat sich nach Begehungen und Analysen der Stadorte der *Weinhof* als optimal herauskristalisiert. Durch die zentrale Lage (damit gut zugänglich für Fußgänger) und die örtliche Nähe zum Verschwörhaus haben wir hier große Vorteile.

4.5 Vorteile

Der LoRa Park hat ein großes Potential, sowohl als Experimentierfeld für Studierende, Wissenschaft und Unternehmen der Region zu dienen, als auch als ein Showroom für alle Bürger und Interessierten öffentlich zugänglich zu sein. Damit hebt sich die Stadt Ulm erneut ab und bleibt im Themenfeld IoT und LoRaWAN weiterhin Vorreiter.

4.5.1 Forschung und Experimentierfeld

Um einzelne Experimente durchführen zu können, wird eine funktionierende Infrastruktur und ein rechtliches Rahmenwerk vorausgesetzt. Viele Experimente können nur in einer realistischen Umgebung durchgeführt werden. Räumlichkeiten und Plätze der Hochschulen sind hierfür oft nicht geeignet. Der LoRa Park soll außerdem zentraler Punkt für jegliche Forschungsabsicht im Bereich IoT sein, um die Akteure näher zusammenzubringen und damit das Gesamtergebnis zu steigern.

4.5.2 Showroom und Einbindung der Bürger

IoT wird nur dann positiv erlebbar, wenn der Bürger den Nutzen der Technologie erfährt und selbst für sich entscheiden kann, welchen Mehrwert die Innovation bringen kann. Es ist deshalb ein großes Anliegen, den LoRa Park nicht einfach nur für alle zu öffnen, sondern den Besucher in besonderem Maße miteinzubeziehen.

4.5.3 Rahmenwerk und Datenschutz

Ein Experimentierfeld sollte nicht nur die technische Machbarkeit untersuchen. Wann immer mit Sensoranwendungen begonnen wird, ergeben sich schnell vielfältige Fragen zur Sicherheit und zum Umgang mit den erhobenen Daten. Gerade vor dem Hintergrund der DSGVO sind viele Bürger und Firmen sensibilisiert und stellen sich die Frage, ob und wie Sensoranwendungen mit personenbezogenen und -beziehbaren Daten umgehen.

Der LoRa Park kann hier als Ansprechpartner für Bürger und Unternehmen dienen, indem er sicherstellt, dass solche Fragen nicht übersehen werden und dort gleichzeitig Expertise und Lösungen angeboten werden.

4.5.4 Test der Marktreife

Es soll zusätzlich die Ernsthaftigkeit der Experimente unterstrichen werden. Viele Ideen schaffen es nicht bis zur Marktreife, weil die Prototypen nicht zu Ende gedacht wurden oder nicht alle Fälle abdecken. Der LoRa Park soll explizit auch potentielle zukünftige Produkte fördern und den Test der Marktreife ermöglichen.

4.5.5 Ulm als Beispiel einer Smart City

Die Stadt Ulm besetzt in verschiedenen Disziplinen einen der vorderen Plätze. Egal ob es sich um die „Gesündeste Stadt Deutschlands“ [15], „Lebenswerteste Stadt in Deutschland“ [43] oder die „Beste junge Universität Deutschlands“ [44] handelt. Auch kleine Institutionen wie das Verschwörhaus sind weit über die Stadtgrenzen hinaus bekannt und spiegeln Ulm als innovative, junge und dynamische Stadt wider. Dieses Bild soll durch weitere Aktivitäten gestärkt werden. In Ulm kommt zusammen, was sich viele Städte nur wünschen können: Eine starke Wissenschaft, interessante Unternehmen und eine überdurchschnittliche Bürgerbeteiligung, welche in Summe zum Wohle der gesamten Gesellschaft agiert.

Der LoRa Park ist weiterer Baustein in dieser „typisch Ulm“-Rolle. In Ulm wird nicht nur geredet, was man machen könnte, was eine neue Technologie für Vorteile hätte oder was passieren würde, wenn.... In Ulm wird gemacht, experimentiert und produziert. Damit machen wir einen weiteren Schritt in Richtung Smart City und freuen uns bereits auf den Besuch anderer Städte, der durch den LoRa Park geführt wird.

4.6 Beteiligte und Teilnehmer

Das LoRa Netzwerk konnte in Ulm deshalb so schnell eingeführt werden, weil mehrere Teilnehmer zum Aufbau der Infrastruktur und zur Schaffung sowie Nutzung der Experimentierumgebung beigetragen haben. Auch für den *LoRa Park* haben diese Unternehmen und Institutionen bereits ihre Unterstützung zugesichert.

4.6.1 CORTEX media GmbH

Die CORTEX media GmbH beschäftigt sich mit der Konzeption, Umsetzung und Betreuung von professionellen Internetapplikationen und bietet seinen Kunden ein umfangreiches Spektrum an Produkten und Leistungen rund um das moderne Internet. CORTEX media gilt als Innovationsfabrik für anspruchsvolle Neuheiten und angesagte Trends im World Wide Web.

4.6.2 initiative.ulm.digital e.V.

Verschiedene städtische Unternehmerpersönlichkeiten begegnen mit der gemeinsamen Initiative den Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Der Verein initiative.ulm.digital e.V. konstituiert sich aus Akteuren verschiedener Branchen, die sich bereits aktiv mit dem Thema Di-

gitalisierung auseinandersetzen. Die Aktivitäten sollen in einem Netzwerk von Unternehmen, Bildungseinrichtungen, Institutionen, Organisationen sowie Interessierten aus der Bürgerschaft mit Bezug zum Thema stattfinden.

4.6.3 citysens GmbH

citysens beschäftigt sich mit den Themen IoT, LoRaWAN und Smart City. Sie bietet Lösungen für fast alle Problemstellungen in der „digitalen Stadt“ und der „Industrie 4.0“. Dabei entwickelt sie nicht nur Sensoren und Steuergeräte, sondern sorgt auch für die fehlerfreie Übertragung per Funk, stellt die notwendigen Softwarelösungen für die Datenaufbereitung zur Verfügung und bietet so die Anbindung an existierende Endkundensysteme.

4.6.4 TTN Community und Verschwörhaus

Die TTN Community Ulm[10, 9] entstand parallel mit der Einführung des The Things Networks in Ulm. Sie ist als offizielle TTN Community anerkannt und besteht aus interessierten Freiwilligen aus allen Alters- und Bildungsschichten ohne kommerziellen Hintergrund. Im Fokus steht der Aufbau des Netzes, die Umsetzung von Projektideen u.a. in Kooperation mit der Stadt Ulm sowie Vermittlung des Themas an Bürgerinnen und Bürger der Stadt und Umgebung in Workshops. In Summe nahmen bereits über 50 TeilnehmerInnen an Workshops der TTN Community Ulm teil. Es besteht ein reger Austausch mit anderen Städten, Verwaltungen und Communities, z.B. in Stuttgart, Herrenberg und Freiburg.

Aktuelle Projekte sind die Münster Node (siehe Münster Node 3.4, die Erweiterung der Infrastrukur sowie 14-tägige, offene Abende im Verschwörhaus mit Vorträgen und Projektvorstellungen zu TTN und LoRaWAN.

Eine Delegation der Communities aus Ulm, Stuttgart und Freiburg besuchten bereits mehrmals verschiedene Ministerien in Stuttgart, um die Idee und die vielfältigen Möglichkeiten von TTN und LoRaWAN vorzustellen sowie die Perspektiven einer offenen und communitygetriebenen Lösung im Gegensatz zu kommerziellen Netzbetreibern zu verdeutlichen. Besucht wurde auf Einladung das Innenministerium (Referat Digitalisierungsstrategie), der Städtetag, sowie das Wirtschaftsministerium (Referat Rohstoffwirtschaft und Ressourcensicherung).

4.6.5 Hochschulen

Universität Ulm.

Die Universität Ulm beschäftigt sich seit langem mit den Themen Sensornetze und IoT. Im Rahmen des wissenschaftlichen Weiterbildungsstudiengangs (M.Sc.) Sensorsystemtechnik wird speziell zu Wireless Sensor Networks sogar eine eigene Vorlesung angeboten. Entsprechend begrüßen wir eine solche Expertise, die unseren Studierenden und Wissenschaftlern zusätzliche Experimentalmöglichkeiten bietet und gleichzeitig im Sinne der Öffentlichkeitsarbeit zur Aussendarstellung unserer Forschungsergebnisse dienen kann.

Hochschule Ulm.

Die Hochschule Ulm (ab 01.03.2019: Technische Hochschule Ulm) bietet ihren Studierenden ein überwiegend technisch ausgerichtetes Studienangebot. Mit ihrem anwendungsorientierten Profil arbeitet sie in enger Kooperation mit der Wirtschaft. Im Forschungsbereich „Digitale Technologien“ forschen mehrere Gruppen u.a. zu den Themen IoT, Intelligentes System und Industrie 4.0. Das Internet der Dinge ein Schwerpunkt mehrerer Studiengänge, sowie der Aktivitäten im Hochschulverbund InnoSÜD.

4.6.6 Stadt Ulm

Auch die Stadt Ulm selbst nimmt im Projekt eine wichtige Rolle ein. Sie soll nicht nur helfen, den LoRa Park an einem geeigneten Platz zu etablieren, sie wirkt auch maßgeblich an der Umsetzung mit. Über das Verschwörhaus, den Digital Hub und als Akteur im Rahmen der Zukunftsstadt 2030 kann vielfältiger Input im positiven beigetragen werden.

4.7 Kosten

Die Kosten für den LoRa Park werden – bei kostenloser Bereitstellung der Fläche – derzeit auf ca. 180.000 EURO geschätzt. Die Kosten teilen sich wie folgt auf:

30.000 EURO Projektplanung und -management,. Koordination der Akteure und Absprache (rechtlicher) Rahmenbedingungen sowie Support und Wartung.

50.000 EURO Sensoren, Elektronik, Infrastruktur und Nodes bzw. Devices, welche Messwerte erfassen, verarbeiten oder weiterleiten.

25.000 EURO Infoscreen und Informationstafeln zur Erläuterung und Visualisierung der Aktivitäten.

35.000 EURO Für Programmier- und Entwicklungsarbeiten, gemeinsame Datenplattform und technischer Support.

20.000 EURO Betriebskosten der ersten beiden Jahre zur Aufrechterhaltung der Funktionalität.

20.000 EURO Fördergelder für vielversprechende Projekte, die extern an Studierende oder Forschungsinstitutionen vergeben werden.

4.8 Zeitplan

Die Umsetzung des LoRa Parks kann unmittelbar mit Bewilligung der Fläche gestartet werden. Mit den sichtbaren Ergebnissen ist innerhalb von 3 Monaten zu rechnen. Realistischer erster großer Abschluss des Parks ist nach 12 Monaten. Ein detaillierter Zeitplan ist Teil der Umsetzung.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch das frühzeitige Engagement in die neue Technologie LoRaWAN und die Vorreiterrolle Ulms, sind die Aktivitäten der Stadt international bekannt. Nicht nur diese Rolle kann weiter ausgebaut und gestärkt werden, es kann vor allem ein wichtiger Schritt in Richtung reale Smart City Anwendungen gemacht werden. Das Konzept bindet hierzu nicht nur eine Vielzahl an unterschiedlichen Akteuren ein, sondern liefert auch dem Bürger und Interessierten einen Einblick in ein sehr technisches und noch wenig greifbares Thema. All diese Maßnahmen fügen sich optimal in die Phase 3 der Zukunftsstadt 2030. Auf längere Sicht wird mit diesem Schritt der Weg in eine digitale Zukunft der „cleveren Stadt“ geebnet und nicht nur neue Möglichkeiten ausprobiert, sondern auch geschaffen.

6. REFERENCES

[1] Amt für Technik, Umwelt und Grün. Herrenberg: *LoRaWAN sorgt für Furore*, 2019. https://tug-herrenberg.de/blog/lorawan-sorgt-fuer-furore/, abgerufen am 06.02.2019.

[2] Augsburger Allgemeine: *Startschuss für neue Funktechnologie in der Ulmer Innenstadt*, 2017. https://www.augsburger-allgemeine.de/neu-ulm/Startschuss-fuer-neue-Funktechnologie-in-der-Ulmer-Innenstadt-id39954982.html, abgerufen am 08.01.2019.

[3] Augsburger Allgemeine: *Ulmer Dienstleister für das Internet der Dinge*, 2018. https://www.augsburger-allgemeine.de/neu-ulm/Ulmer-Dienstleister-fuer-das-Internet-der-Dinge-id52223856.html, abgerufen am 08.01.2019.

[4] Badische Zeitung: *Auf dem Weg zum Volksnetz*, 2018. http://www.badische-zeitung.de/freiburg/auf-dem-weg-zum-volksnetz--146399108.html, abgerufen am 08.01.2019.

[5] Barani Design Technologies: *Meteohelix IoT Pro*, 2019. https://www.baranidesign.com/meteohelix-pro-weather-station/, abgerufen am 06.02.2019.

[6] Bled eConference: *19th Bled eConference Digital Economy*, 2016. https://cloud.cortex-media.de/s/3CwFBFj4rQkH8qg, abgerufen am 08.01.2019.

[7] Bosch Sensortec: *BME680*, 2019. https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme680, abgerufen am 06.02.2019.

[8] Buchenscheit, Andreas: *19th Bled eConference Digital Economy*, 2016. https://domino.fov.uni-mb.si/proceedings.nsf/Proceedings/77D709B40D52310BC1257FE00038A01D/$File/2_Ubiquitous%20Computing%20for%20Well-being%20and%20Ambient%20Assisted%20Living.pdf, abgerufen am 08.01.2019.

[9] Buchenscheit, Andreas: *TTN Community Ulm*, 2016. https://www.thethingsnetwork.org/community/ulm/, abgerufen am 08.01.2019.

[10] Buchenscheit, Andreas: *TTN Ulm & LoRaWAN*, 2016. https://lora.ulm-digital.com/, abgerufen am 08.01.2019.

[11] Echo Online: *Funknetz Lorawan: Darmstadt bereit fürs Internet der Dinge*, 2018. https://www.echo-online.de/wirtschaft/wirtschaft-regional/funknetz-lorawan-darmstadt-bereit-furs-internet-der-dinge_19278984, abgerufen am 08.01.2019.

[12] eGovernment Computing: *Vorzeigeprojekt in der Stadt Ulm gestartet*, 2017. https://www.egovernment-computing.de/vorzeigeprojekt-in-der-stadt-ulm-gestartet-a-577390/, abgerufen am 08.01.2019.

[13] erergate messenger+: *Kronberger: "LoRaWAN als Baustein einer vernetzten Stadt"*, 2018. https://www.energate-messenger.de/news/184161/kronberger-lorawan-als-baustein-einer-vernetzten-stadt-, abgerufen am 08.01.2019.

[14] Etscheid, Jan, Lucke, Jörn von und Meigel, Sabine: *Wettbewerb Zukunftsstadt Ulm Pläne für 2030+ – Abschlussbericht der zweiten Phase mit den Ergebnissen der Begleitforschung*, 2018. https://www.ulm.de/-/media/ulm/zda/downloads/zukunftsstadt/abschlussberichtzukunftsstadt_phase2.pdf, abgerufen am 13.03.2019.

[15] Frankfurter Allgemeine: *Ulm ist Deutschlands gesündeste Stadt*, 2007. https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/gesundheit/rangliste-ulm-ist-deutschlands-gesuendeste-stadt-1464004.html, abgerufen am 22.02.2019.

[16] initiative.ulm.digital e.V.: *IoT – Internet of Things*, 2018. https://iot.ulm-digital.com/, abgerufen am 08.01.2019.

[17] Kommune21: *Funknetz für smarte Ideen*, 2018. https://www.kommune21.de/meldung_30027_Funknetz+f%C3%BCr+smarte+Ideen.html, abgerufen am 08.01.2019.

[18] Landesschau Baden-Württemberg SWR: *TTN und LoRaWAN in Ulm*, 2017. https://lora.ulm-digital.com/blog/swr-beitrag-lora-ulm, abgerufen am 08.01.2019.

[19] LoRa Alliance: *Core LoRaWAN^{TM} Specification*, 2018. https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawantm-specification-v11, abgerufen am 06.02.2019.

[20] LoRaWAN Field Tester: *3 Different Types of Range Tests*, 2018. https://lorawantester.com/2018/03/03/3-different-types-of-range-tests/, abgerufen am 22.02.2019.

[21] Luo, Chao: *3GGP TS45.001: GSM/EDGE Physical layer on the radio path*, 2017. 14.1.0. 3GPP TSG RAN WG6. p. 58., abgerufen am 11.03.2019.

[22] Luo, H., Wu, K., Ruby, R., Liang, Y., Guo, Z. und Ni, L. M.: *Software-Defined Architectures and Technologies for Underwater Wireless Sensor Networks: A Survey.* IEEE Communications Surveys Tutorials, 20(4):2855–2888, Fourthquarter 2018, ISSN 1553-877X.

[23] MEDIENHAUS Verlag GmbH: *Smartes Münster*, 2018. https://www.it-zoom.de/mobile-business/e/smartes-muenster-21606/, abgerufen am 08.01.2019.

[24] Salis, Michele, Ager, Alan A., Alcasena, Fermin J., Arca, Bachisio, Finney, Mark A., Pellizzaro, Grazia und Spano, Donatella: *Analyzing seasonal patterns of wildfire exposure factors in Sardinia, Italy.* Environmental Monitoring and Assessment, 187(1):4175, Dec 2014, ISSN 1573-2959. https://doi.org/10.1007/s10661-014-4175-x.

[25] Schneider, Matthias: *Workshop und Roadmap*, 2016. https://lora.ulm-digital.com/blog/workshop-und-roadmap, abgerufen am 08.01.2019.

[26] Schneider, Matthias: *Die TTN Ulm Platine*, 2017. https://lora.ulm-digital.com/blog/die-ttn-ulm-platine, abgerufen am 08.01.2019.

[27] Schneider, Matthias: *Gateway auf dem Ulmer Münster*, 2018. https://lora.ulm-digital.com/blog/gateway-auf-dem-ulmer-muenster, abgerufen am 08.01.2019.

[28] Semtach: *Semtech's LoRa Technology Monitors Cattle Health in Real-Time*, 2018. https://www.semtech.com/company/press/semtechs-lora-technology-monitors-cattle-health-in-real-time, abgerufen am 22.02.2019.

[29] Singh, D., Tripathi, G. und Jara, A. J.: *A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services.* In: *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Seiten 287–292, March 2014.

[30] Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm: *Citysens: Stadtwerke schließen Kooperation mit Ulmer IT-Firmen ab.*, 2017. https://www.swu.de/geschaeftskunden/unternehmen/presse/archiv/pressemitteilung/news/citysens-stadtwerke-schliessen-kooperation-mit-ulmer-it-firmen-ab/, abgerufen am 08.01.2019.

[31] SÜDWEST PRESSE: *Interview mit Heribert Fritz: Kreative Köpfe ködern*, 2017. https://www.swp.de/suedwesten/staedte/ulm/kreative-koepfe-koedern-23514313.html, abgerufen am 08.01.2019.

[32] SÜDWEST PRESSE: *Kühles Nass: Seen und Freibäder in der Region*, 2017. https://www.swp.de/suedwesten/staedte/ulm/ab-ins-kuehle-nass_-seen-und-freibaeder-in-der-region-27006178.html, abgerufen am 06.02.2019.

[33] SÜDWEST PRESSE: *Initiative Ulm Digital erklärt das Internet der Dinge*, 2018. https://www.swp.de/suedwesten/staedte/ulm/initiative-ulm-digital-erklaert-das-internet-der-dinge-28320070.html, abgerufen am 08.01.2019.

[34] SÜDWEST PRESSE: *Vier Ulmer Firmen gründen IT-Dienstleister*, 2018. https://www.swp.de/suedwesten/staedte/ulm/vier-ulmer-firmen-gruenden-it-dienstleister-27695482.html, abgerufen am 08.01.2019.

[35] Süddeutsche Zeitung: *Die gute Verschwörung*, 2017. https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/smart-city-die-guten-nerds-1.3671440, abgerufen am 08.01.2019.

[36] The Guardian: *Freaks on the peaks: the lonely lives of the last remaining forest fire lookouts*, 2016. https://www.theguardian.com/us-news/2016/aug/30/us-national-parks-fire-lookout-forest-wildfire, abgerufen am 06.02.2019.

[37] TheThingsNetwork: *The Things Network Stack for LoRaWAN*, 2018. https://github.com/TheThingsNetwork/lorawan-stack, abgerufen am 06.02.2019.

[38] Trendy One Magazin: *Vorzeigeprojekt LoRaWAN startet in Ulm*, 2017. https://www.trendyone.de/news/vorzeigeprojekt-lorawan-startet-in-ulm, abgerufen am 08.01.2019.

[39] TTN Mapper, Danilo Bargen: *LoRaWAN Pakete über 140km vom Säntis in der Schweiz nach Ulm*, 2019. https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/testing-my-lora-node-at-110m-above-sea-level/11241/6 und http://ttnmapper.org/special.php?node=lopy&date=2017-09-21&gateways=on, abgerufen am 06.02.2019.

[40] Ulm-News: *Digital braucht Moral*, 2018. https://www.ulm-news.de/weblog/ulm-news/view/dt/3/article/66601/Digital_braucht_Moral.html, abgerufen am 08.01.2019.

[41] Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Flüchtige organische Verbindungen*, 2019. https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-verbindungen, abgerufen am 06.02.2019.

[42] Yick, Jennifer, Mukherjee, Biswanath und Ghosal, Dipak: *Wireless sensor network survey.* Computer Networks, 52(12):2292 – 2330, 2008, ISSN 1389-1286. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128608001254.

[43] ZDF: *Wo lebt es sich am besten?*, 2018. https://www.zdf.de/dokumentation/zdfzeit/zdfzeit-wo-lebt-es-sich-am-besten-102.html, abgerufen am 22.02.2019.

[44] ZEIT: *Ulm hat eine der besten jungen Hochschulen der Welt*, 2014. https://www.zeit.de/studium/hochschule/2014-04/hochschulranking-times-universitaet-ulm, abgerufen am 22.02.2019.