

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Abschlussbericht

### BauTracks

# Bluetooth-basiertes Asset Tracking (ortsbezogene Verwaltung und Überwachung von Ausrüstung und Materialien) für Baustellen im Straßenverkehr

**Förderkennzeichen:** 19F2172(A-D)

**Projektkonsortium:** **Telocate GmbH** (Projektkoordination)  
Dr. Fabian Höflinger  
Georges-Köhler-Allee 106  
79110 Freiburg im Breisgau  
Tel.: 0761 203-7070  
fabian.hoeflinger@telocate.de

**Contagt GmbH**  
Langstraße 83  
68169 Mannheim

**Bombardi Tiefbau GmbH**  
Im Bildstöckle 13  
79822 Titisee-Neustadt

**Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**  
Fahnenbergplatz  
79085 Freiburg i. Br.

**Projektlaufzeit:** 01. März 2021 – 30. Mai 2022



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurze Darstellung</b>	<b>3</b>
1.1	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.3	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
1.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
<b>2</b>	<b>Eingehende Darstellung des erzielten Ergebnisses</b>	<b>4</b>
2.1	AP1, Konzeption	5
2.1.1	AP 1.1 Anforderungsanalyse	5
2.1.2	AP1.2, Systemarchitektur	9
2.2	AP2, BT5.1-basierte Ortungs-Plattform	10
2.2.1	AP2.1, Entwicklung Hauptplatine	10
2.2.2	AP2.2, Anpassung und Einbindung Bluetooth-Modul	12
2.2.3	AP2.3, Entwicklung Inter-Station-Kommunikation	12
2.3	AP3, Smarte Lokalisierung und Kommunikation	12
2.3.1	AP3.1, Positioning-Algorithmik	12
2.3.2	AP3.2, Mehr-Stationen-Tracking	15
2.3.3	AP3.3, Backbone- und Gateway-Datenkommunikation	15
2.3.4	AP3.4, Echtzeitimplementierung der Algorithmen	16
2.4	AP 4, Backend und Open-Data-Ansatz	16
2.4.1	AP4.1, Data Analytics-Ansatz zur statistischen Analyse von Prozessdaten	16
2.4.2	AP4.2, Webbasiertes, mobiles Backend	16
2.5	AP 5, Demonstration und Evaluation	17
2.5.1	AP5.1, Vorbereitung Testumgebung	17
2.5.2	AP5.2, Abschluss-Demo und Evaluation	18
2.5.3	AP5.3, Öffentlichkeitsarbeit	24
2.6	Projektverlauf	24
2.7	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	24
2.8	Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	25
2.9	Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit des Ergebnisses	25
2.10	Erfolgte und planmäßige Veröffentlichung des Ergebnisses	26

# 1 Kurze Darstellung

## 1.1 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Planung des Projekts und der Ablauf fanden unter den nach wie vor vorherrschenden Bedingungen der Corona-Pandemie statt. Die dadurch bedingten Einschränkungen wurden nach Möglichkeit antizipiert und das Projekt wurde von den jeweiligen Partnern unter Anwendung hygienischer Sicherheitskonzepte durchgeführt. Auch fanden die meisten Projekttreffen online statt. Die Versuchsdurchführungen bei der Firma Telocate und die Feldversuche auf dem Bauhof der Firma Bombardi fanden unter Einhaltung von Hygienerichtlinien statt.

Trotz sorgfältiger Projektplanung konnte aufgrund der widrigen Umstände im Kontext der Pandemie und aufgrund der weltweiten Lieferengpässe im Elektronikbereich das Projekt nicht verzögerungsfrei durchgeführt werden. Wegen der mangelnden Verfügbarkeit der im Projekt verwendeten neuartigen Bluetooth 5.1-Technologie war eine Verlängerung der Projektlaufzeit um drei Monate notwendig. Nach Ablauf dieser Verlängerung konnten jedoch die Projektziele mit den Feldversuchen wie geplant erreicht werden.

## 1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde gemeinsam von den vier Partnern Telocate GmbH, Contagt GmbH, Bombardi Tiefbau GmbH, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg durchgeführt, wobei die Schwerpunkte der Partner respektive im Bereich der Hardware und Sensorik, der Nutzerapplikation, dem Anwendungspartner, sowie der wissenschaftlich-technischen Begleitung lagen. Der Partner Telocate übernahm die koordinierende Rolle in dem Projekt. Die Sicherstellung der Ergebniserreichung wurde in Form regelmäßiger Online-Projekttreffen durchgeführt, welche mindestens in monatlichem Takt stattfanden, und an denen stets Vertreter aller Partner teilnahmen.

In den jeweiligen für die Partner relevanten Zeiträumen wurde eine volle Personenstelle für das Projekt eingeräumt, wobei die eingesetzten Personen direkt aus den Firmen bzw. Arbeitsgruppen zugeordnet wurden. Neueinstellungen auf dem Projekt fanden in Form von studentischen Teilzeitkräften/Minijobbern statt, welche bei der Experimentaldurchführung mithalfen.

## 1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

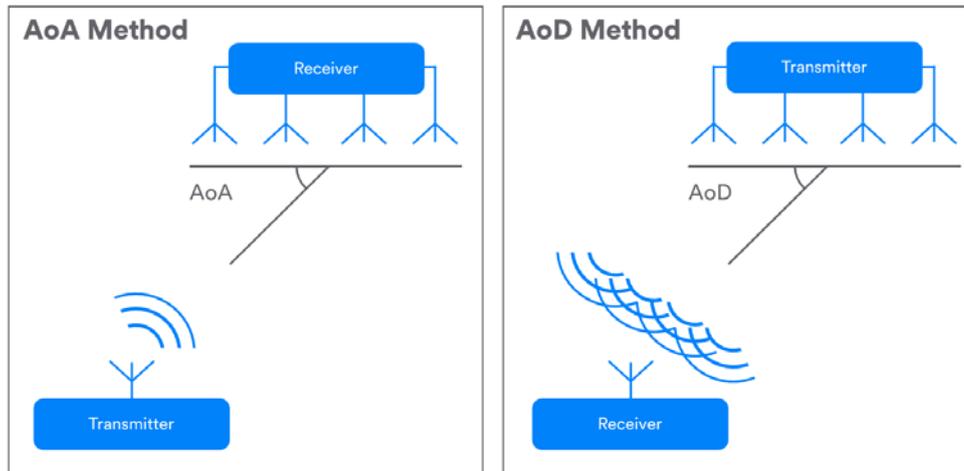
**Outdoor-Ortung:** Bisher erfolgt die Ortung außerhalb von Gebäuden v.a. über Satellitennavigationssysteme (GNSS, z.B. GPS und Galileo). Jedoch lassen sich mit GNSS alleine keine kostengünstigen Lösungen für viele Gegenstände schaffen. Die Geräte erfordern zudem einen großen Energieverbrauch der den Einsatz an einer Vielzahl von Assets auf Baustellen unmöglich macht.

**Ortung via Bluetooth:** Bluetooth-Ortung auf Basis von Distanzschätzung (RSSI, 2,4 GHz) ist seit 2001 verfügbar. Damit lassen sich bei größeren Entfernungen nur sehr ungenaue Ergebnisse mit einer Genauigkeit von 10-20 m erzielen.

**Ortung via Active RFID:** Ortung auf Basis von Active RFID ist vergleichbar mit der Ortungsleistung von Bluetooth auf Basis von RSSI. Anders als bei Bluetooth kommen auch Frequenzen im Bereich von <1 GHz zum Einsatz. Der Fokus von Active RFID liegt jedoch auf der Identifikation, weniger auf der Positionierung. Für die genaue Lokalisierung ist Active RFID ungeeignet.

**Bisherige eigene Arbeiten:** contagt befasst sich seit 7 Jahren mit Indoor-Navigation und hat eine Lösung für digitale Wegeleitung entwickelt. Sie umfasst u.a. Smartphone-Apps und ein Backend. Die Indoor-Ortung basiert auf Bluetooth-Beacons, WiFi-Fingerprinting, Satellit und Sensorfusion. Telocate forscht und entwickelt seit 6 Jahren im Bereich der Ortung auf Basis von Ultraschall, Ultra-Wide-Band und Bluetooth. Das eigens entwickelte Ultraschall-Ortungssystem ist seit 2017 auf dem Markt verfügbar.

Das Projekt hatte zum wesentlichen technischen Inhalt die Eignung der zum Planungszeitpunkt neuartigen Bluetooth 5.1-Technologie<sup>1</sup> für Anwendungen im Bereich Logistik für Straßenbaustellen zu untersuchen. Bluetooth 5.1 ermöglicht das sog. Direction Finding, mit welchem ein Empfänger-Array nicht nur die Distanz, wie bei herkömmlichem Bluetooth, sondern auch die Richtung des Senders (**Angle-of-Arrival, AoA**) ermitteln kann. Dies ermöglicht die kostengünstige Lokalisierung von Sendern mittels weniger Empfänger, da jeweils nur noch eine einzige Empfänger-Basisstation nötig sein sollte, um einen bestimmten Empfangsbereich abzudecken.



**Abb. 1:** Bluetooth 5.1 – Angle of Arrival (AoA) und Angle of Departure (AoD). [Bluetooth SIG, 2022]

## 1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zum Projektbeginn fand eine enge Zusammenarbeit mit der Stadt Freiburg statt, welche im Kontext ihrer Digitalstrategie digital.freiburg 2025<sup>2</sup> ein großes Interesse am mFUND-Verbundprojekt BauTracks zeigte und den darin enthaltenen Potentialen um digitale Infrastrukturen und smarte Mobilitäts- und Energiekonzepte zu schaffen. Durch einen digitalen Datenaustausch kämen die Benefits aus der BauTracks-Lösung auch den Städten und Kommunen zu Gute, etwa bei der städtischen Bau- und Verkehrsplanung. Wie das im Einzelnen aussehen könnte, wurde mit Herrn Ivan Acimović von der Stadt Freiburg im Rahmen gemeinsamer Gespräche erörtert.

## 2 Eingehende Darstellung des erzielten Ergebnisses

Diese Anlage zum Abschlussbericht beschreibt die wichtigsten Ergebnisse des Projekts BauTracks, das gemeinsam von der Firma Telocate GmbH, Contagt GmbH, der Bombardi Tiefbau GmbH und der Universität Freiburg durchgeführt wurde.

Der interne Arbeitsplan, unter Einbezug der bewilligten Laufzeitverlängerung um drei Monate, gliedert die Arbeiten der Projektpartner wie folgt:

Arbeitsbereiche & Arbeitsschritte		Beteiligte Partner				Monat														
		Telo-cate	con-tagt	Bom-bardi	Co-ne	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
1.1	Anforderungsanalyse		X	X	X	■	■	■												
1.2	Systemarchitektur	X	X		X	■	■	M1												
2.1	Entwicklung Haupt-platine	X						■	■	■	■	■								

<sup>1</sup> Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.com/de/>, 2022.

<sup>2</sup> Digitalstrategie digital.freiburg 2025, <https://digital.freiburg.de/digitalstrategie>, 2022.



ten, Diebstahlschutz, Wiederauffinden der Materialien und Protokolliernachweis. Darüber hinaus wurde mit dem Partner contact die Anbindung an die verwendeten Softwareplattformen diskutiert, etwa an die Nutzerzeiterfassungs-Software 123erfasst oder Software zur 3D-Darstellung von Baustellen. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse wurden in einer Tabelle zusammengefasst und den Partnern im Rahmen des erstellten Systemkonzepts zugänglich gemacht, sowie in den regelmäßigen Meetings mit den Partnern diskutiert.



**Abb. 2:** Beispiele zu lokalisierender Baustellengeräte. Die Anwendungsbereiche der Lokalisierung reichen über eine große Bandbreite an Funktionalitäten wie der Erfassung der Nutzungszeiten, Diebstahlschutz, Wiederauffindung und Protokolliernachweise.

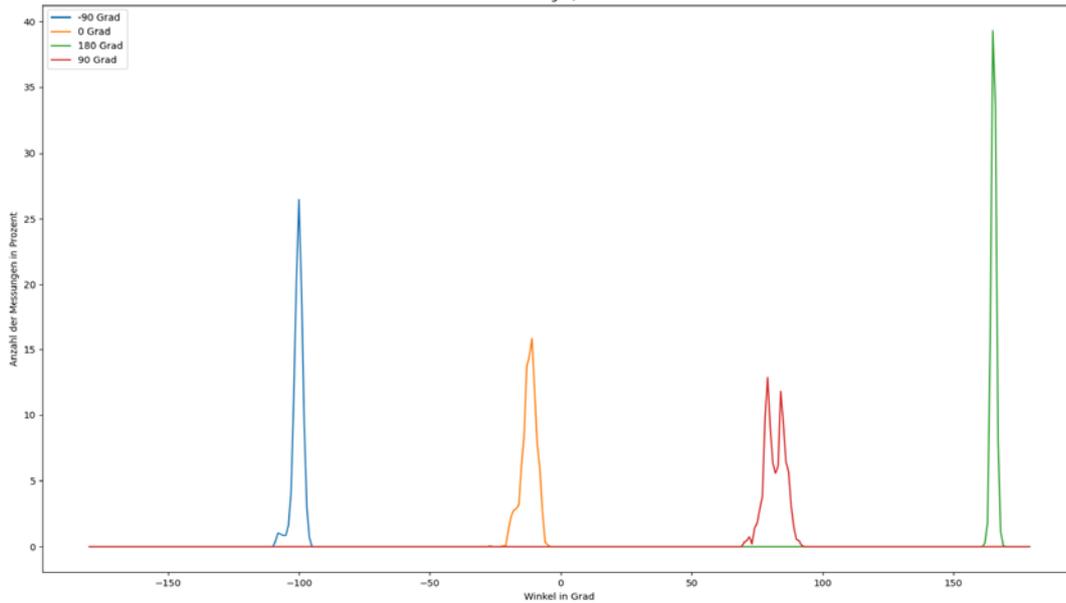
Die Arbeitsinhalte des Partners Cone in diesem Arbeitspaket bestanden darin, bestehende Lösungen zu analysieren und untersuchen welche Anforderungen benötigt werden. Als bestehende Systeme kommen GPS sowie UWB in Betracht. Allerdings sind wir für beide Systeme zum Schluss gekommen, dass sie nicht für dieses Projekt geeignet sind. GPS benötigt viel Energie und zudem würde noch ein zusätzliches Kommunikationsmodul benötigt werden um die Messungen weiterzuleiten. Zudem hat GPS auch mehrere Meter Ungenauigkeit. UWB hat eine limitierte Reichweite, welche für den Einsatz an großen Baustellen ein Problem ist. Zu dem ist auch hier der Energieverbrauch wieder höher als bei Bluetooth.

Bombardi hat hier ebenfalls die Ergebnisse im Bezug zu ihrem Nutzen auf der Baustelle analysiert. Für Bombardi war hier insbesondere die Nutzungszeiträume der schweren Geräte interessant, da anhand dieser Zeiten leicht der Fortschritt auf der Baustelle abgeschätzt werden kann. Eine Lokalisierung dieser Maschinen ist nicht nötig, da diese sehr groß und nicht zu übersehen sind. Zu diesen Maschinen gehören z.B. die Felsfräse, der Manipulator, die Bohrlafette und einige mehr.

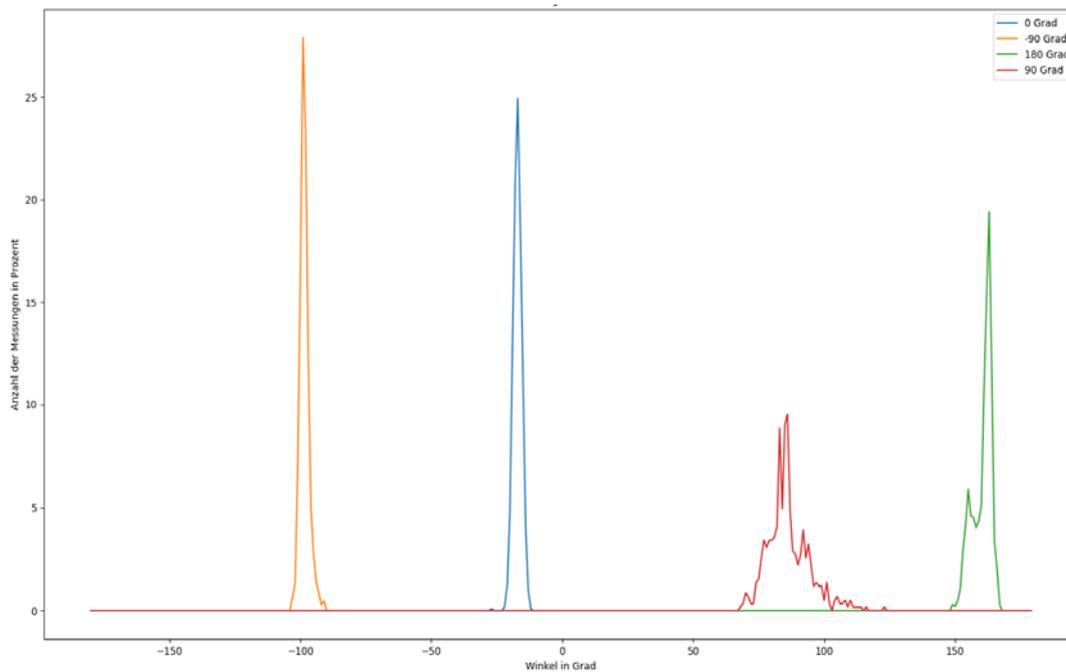
Gerät	Erfassung der Nutzungszeiten von Interesse	Diebstahlschutz gewünscht	Wird oft gesucht (Standort für Mitarbeiter interessant)	Protokollier-nachweis
Felsfräse	+++	-/+	---	+++
Manipulator	+++	-/+	---	+++
Bohrlafette	+++	-/+	---	+++
Verdichtungswalze	+++	+++	---	+++
Kompressor	+++	+++	---	+++
Hochdruckreiniger	+++	++	---	+++
Hopser	+++	-/+	-	+++
Rüttler/Rüttelplatte	+++		-	+++
Generator	+++	++	---	+++
Schlammpumpe	+++	---	---	+++
Schrankenzäune	---	---	---	-
Ampeln	---		---	-
Baken	---	---	---	-
Verkehrsschilder	---	-/+	+++	-

Tabelle 1: Verschiedene Tracking-Funktionen, aufgeteilt nach einzelnen Geräten; Bewertung von --- bis +++ (sehr relevant)

## Analyse des AoA-Systems von Silicon Labs



**Abb. 3:** Winkelmessungen bei 0, 90, 180, 270 Grad und 10m Entfernung.



**Abb. 4:** Winkelmessungen bei 20m Entfernung.

Das AoA System von Silicon Labs wurde ebenfalls von Telocate untersucht. Das System funktionierte sehr gut, und konnte im Gegensatz zu dem TI-System den Winkel in einem Umfeld von 360 Grad bestimmen. Das TI-System hatte lediglich ein Sichtfenster von ca 120 Grad. Diese Beschränkung führte dazu, dass das TI-System für dieses Projekt weniger gut geeignet ist. Die Updaterate des Silicon Labs Systems ist ebenfalls höher, so dass ca. 10 Messungen pro Sekunde stattfinden. Das ist deutlich besser als die 2Hz-Rate des TI-Systems. Bei einem Winkel von 90 Grad ist zu erkennen, dass die Messungen weniger präzise sind als bei den anderen Winkeln. Dies liegt vermutlich daran, dass wir hier nahe an einer Wand waren und es zu Reflexionen kam, die die Messung beeinflussen. Dass Reflexionen Messungen beeinträchtigen, war auch beim TI-System zu beobachten. Diese Reflexionen sind bei den Experimenten bei Bombardi besonders störend aufgefallen.

Die Reichweite der beiden System ist ähnlich und beide konnten Messungen bis zu 100m erreichen.

Mit dem Silicon Labs System wäre der Erfolg des Projektes möglicherweise besser gewesen, allerdings gab es dieses nicht in großen Stückzahlen zu bestellen. Für ein Folgeprojekt wäre diese Untersuchung dieses Systems interessant.

### 2.1.2 AP1.2, Systemarchitektur

CoNe erstellte mit Telocate und contagt aus den Anforderungen und dem Stand der Technik die dafür notwendige Architektur des Gesamtsystems, die als Referenz gilt. Daraus wurden vor allem Software- und Hardware-Architektur sowie Kommunikationsprotokolle und Schnittstellen-Konzepte entworfen, die es im Projektverlauf zu verifizieren gilt.

Der Partner Telocate hat in diesem Arbeitspaket erfolgreich eine Systemarchitektur erstellt, die das Gesamtsystem und alle benötigten Schnittstellen beschreibt. Es gibt vier wichtige Schnittstellen die beschrieben werden mussten. Diese waren die Schnittstelle zwischen dem Tag und den Basisstationen, die Kommunikation zwischen den Basisstationen und die Übermittlung der Daten von den Basisstationen zu einem Server auf dem die Lokalisierung läuft. Die letzte Schnittstelle war die Übertragung der ermittelten Positionen und Nutzungsstatistiken zu der Contagt-App.

Die erste Schnittstelle ist die einfachste: Hier sendet der Beacon, der an einem Arbeitsgerät befestigt ist lediglich ein Signal wenn er eine Bewegung detektiert hat. Von diesem Signal wird dann der Winkel sowie die Signalstärke an den Basisstationen bestimmt. Da der Beacon so energiesparend wie möglich und zu dem sehr klein sein soll, besitzt er keine weitere Kommunikationsmöglichkeit.

Die Schnittstelle zwischen den Beacons und dem Lokalisierungssystem ist etwas komplexer, da hier mehr Daten ausgetauscht werden. Also Kommunikation dient eine 868-MHz-ISM Funkverbindung, wie sie in AP2.3 beschrieben ist (vgl. Abb. 5 und Abb. 6). Über diese Funkverbindung werden die gemessene Winkel und Signalstärken von den Signalen der Beacons weitergeleitet. Die Basisstationen benötigen noch weitere Befehle die implementiert werden müssen. Hierzu gehört eine Neustart, Aktivierung/Deaktivierung des GNSS-Moduls sowie des Kompass-Moduls. Das Kompass-Modul besitzt auch eine Kalibrierungsprozedur die von der Basisstation aus gesteuert werden muss. Zudem muss die Basisstation weitere Systeminformationen wie zum Beispiel die Energieversorgung weiterleiten.

Für die Schnittstelle zwischen der Lokalisierung und Contagt wurde ein, auf JSON-basiertes, REST-Protokoll genutzt welches vom Partner Contagt entwickelt wurde.

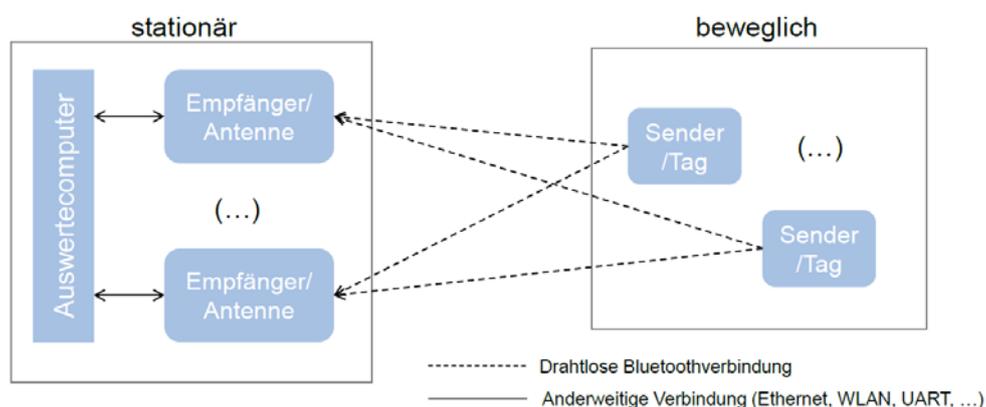
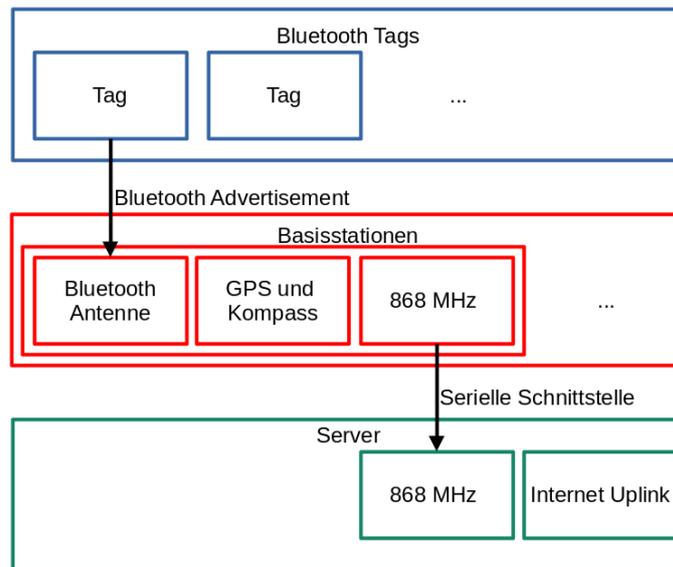


Abb. 5: Systemarchitektur des BT5.1-Systems.



**Abb. 6:** Blockschaltbild mit den Komponenten des BT5.1-Systems.

Gemeinsam wurde das Dokument Systemkonzept erstellt, welches weitere Details zur Systemarchitektur enthält.

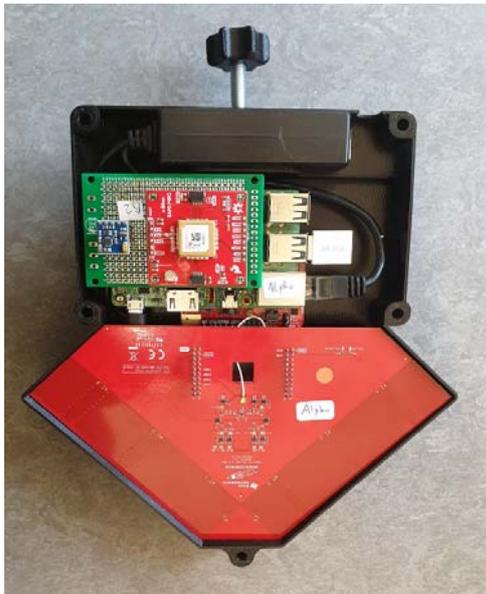
## 2.2 AP2, BT5.1-basierte Ortungs-Plattform

### 2.2.1 AP2.1, Entwicklung Hauptplatine

Der Partner Telocate hat zwei Platinen entwickelt, einmal eine für die Ankerknoten und eine für die Tags.

Die für die Anker (Abb. 7) enthält Steckplätze für ein GNSS-Modul sowie einen Kompass um die Position sowie Orientierung zu bestimmen. Diese Platine kann dann auf einen Raspberry Pi gesteckt werden an dem auch das Bluetooth AoA-Board montiert wird. Zusätzlich wurde ein Gehäuse für die Ankerknoten mit Hilfe von CAD-Software entworfen, welches dann von Telocate mit einem 3D-Drucker gedruckt wurde. Als GNSS-Modul wurde das Modell SAMM-8Q von Sparkfun gewählt, als Bluetooth-Modul ein Bausatz von Texas Instruments und als Kompass Modul das GY-271. Alle Module wurden sorgfältig getestet.

Für die Tags wurde eine miniaturisierte Platine entworfen, die lediglich eine Bluetooth-Antenne sowie eine Bewegungssensor enthält (Abb. 8). Detektiert der Bewegungssensor eine Bewegung wird die Bluetooth Antenne aktiviert, die dann für 40 Sekunden Broadcasts sendet mit denen der Beacon lokalisiert wird. Für den Tag wurde ebenfalls ein Gehäuse für den 3D-Druck entworfen (Abb. 9). Durch sein energieeffizientes Design wird lediglich eine Knopfzelle als Batterie benötigt.



**Abb. 7:** Links: Ankerknoten-Platine im Gehäuse. Kompass, GNSS und Bluetooth-Antenne, Rechts: In FDM-Technik gedrucktes Gehäuse mit 868-MHz Antenne.



**Abb. 8:** PCB der Sender-Platine mit Komponenten bestückt.



**Abb. 9:** Tag-Gehäuse, gedruckt in FDM-Technik.

## 2.2.2 AP2.2, Anpassung und Einbindung Bluetooth-Modul

Da die Referenz-Senderplatine des Herstellers TI vergleichsweise groß und daher ungeeignet war, haben wir einen besser integrierten, miniaturisierten Sender nachgebaut. Hierfür musste die Antenne gematched werden und mit vielen Experimenten verifiziert werden, damit sie Antenne dieselbe Qualität und Reichweite wie die TI-Antenne besitzt. Außerdem wurde noch ein Bewegungssensor hinzugefügt damit die Antenne nur bei Bewegung sendet. Mit dieser Antenne kann, wie im Arbeitspaket gefordert, bis zu 100m weit gesendet und lokalisiert werden. Der Stromverbrauch ist gering, so dass eine Knopfzelle für den Betrieb ausreichend ist, vgl. den vorigen Abschnitt. Abb. 10 zeigt das Experimental-Setup für das gewählte Modul.



Abb. 10: Test des gewählten Bluetooth-Moduls in einem Outdoor-Szenario.

## 2.2.3 AP2.3, Entwicklung Inter-Station-Kommunikation

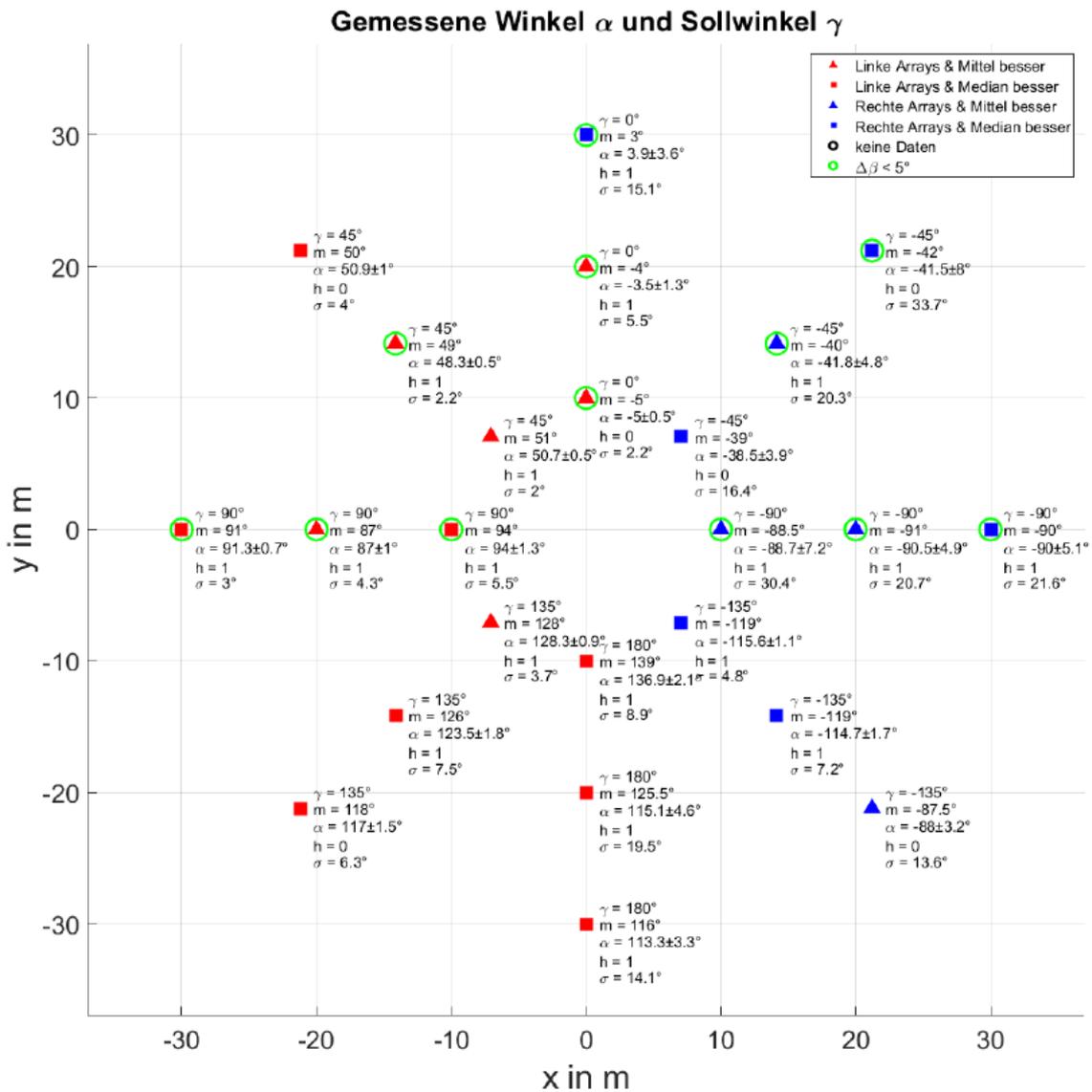
Für die Kommunikation zwischen Basisgeräten wurde eine Funkschnittstelle entwickelt und implementiert als Daten-Backbone der Ortungs-Plattform. Hierbei spielten die Anforderungen an Energieeffizienz, Datenmenge und Reichweite eine entscheidende Rolle:

Kommunikation findet über 868-MHz statt, da es eine bessere Datenrate als 434-MHz bietet bei gleichzeitig höheren Reichweiten als 2.4GHz-Kommunikation. Die Kommunikation wurde ausgiebig getestet und eine Reichweite von bis zu 100 m konnte verifiziert werden.

## 2.3 AP3, Smarte Lokalisierung und Kommunikation

### 2.3.1 AP3.1, Positioning-Algorithmik

Telocate hat für die Universität eine Charakterisierung der Bluetooth-Antenne vorgenommen damit diese die dazugehörigen Algorithmen entwickeln kann. Im Nachfolgenden werden die Arbeiten der Charakterisierung beschrieben.



**Abb. 11:** Experiment zur Charakterisierung der Antenne. Es zeigt sich, dass die Testboards von TI eine stark winkelabhängige Ortungsqualität haben mit einem sinnvoll nutzbaren Öffnungswinkel von 120°.

Um einen verlässlichen Algorithmus zu entwickeln musste zuerst eine Charakterisierung der Bluetooth-Antenne erstellt werden. Hierfür wurden Messungen von verschiedenen bekannten Winkel und Distanzen gemacht. Eines dieser Experimente kann in Abbildung 5 gesehen werden. Hier steht eine Bluetooth Antenne in der Mitte und es wurden in 3 Kreisen herum mit 10, 20, 30 Metern Abstand erstellt. An diesen Kreisen wurde alle 45 Grad ein Punkt markiert. Um noch mehr Messungen zu verschiedenen Winkel zu haben, wurde eine zweite Antenne neben der ersten Antenne gestellt. Dieses Experiment ist in Abbildung 6 zu sehen. In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass die gemessenen Winkel lediglich in einem 120-Grad-Schirm präzise bestimmt werden. Dies führt zu Komplikationen im Algorithmus, da erkannt werden muss von wo das Signal kommt und dann gewichtet werden muss wie präzise die Messung ist. Die andere Erkenntnis aus diesem Experiment ist, dass die Signalstärke nicht zur Hilfe der Lokalisierung genutzt werden kann, da sie stark vom Messwinkel abhängt. Basierend auf diesen Informationen hat der Partner Universität Freiburg einen algorithmischen Ansatz für die Lokalisierung entwickelt.

Auf Basis der System-Charakterisierung die von Telocate durchgeführt wurde haben wir einen Algorithmus entwickelt der erfolgreich ein Ziel lokalisieren kann.

Um die Position des Ziels abzuschätzen, ist es wichtig zu berücksichtigen, dass der Winkelfehler stark von der Ausrichtung der Antennenarrays in Bezug auf das Ziel abhängt. Indem wir einen Ankerknoten an mehreren Positionen platzieren, schätzen wir empirisch den Fehler für eine Vielzahl von Orientierungen. Aus den Fehlerproben verwenden wir eine Kerndichteschätzung, um die Verteilungen zu schätzen. Diese Verteilungen werden gespeichert und dienen uns dazu, die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, dass sich an jedem Punkt der Karte ein Ziel befindet.

Wenn ein Ziel lokalisiert werden muss, wird die Karte in Punkten diskretisiert. Für jeden der Punkte kann man abschätzen, wie groß der vom Anker gemessene Winkel wäre, wenn sich das Ziel in dieser Position befände. Man kann solche Werte mit den gemessenen vergleichen und sehen, wie wahrscheinlich sie aufgrund der empirischen Verteilungen sind. Dann schätzen wir die Wahrscheinlichkeit jedes Punktes.

In der folgenden Abb. 12 können wir beobachten, wie 10 Positionen geschätzt werden. Die rosa Raute stellt den Punkt dar, der die höchste Wahrscheinlichkeit hat. Hellere Farben stehen für eine höhere Wahrscheinlichkeit. Der grüne Kreis ist die Ground-Truth-Position, die mit einer Totalstation geschätzt wurde. Es ist interessant, nicht nur die geschätzte Position, sondern auch die Unsicherheit der Schätzung zu beobachten. Zum Beispiel hat Position 7 zwei Positionen mit hoher Wahrscheinlichkeit.

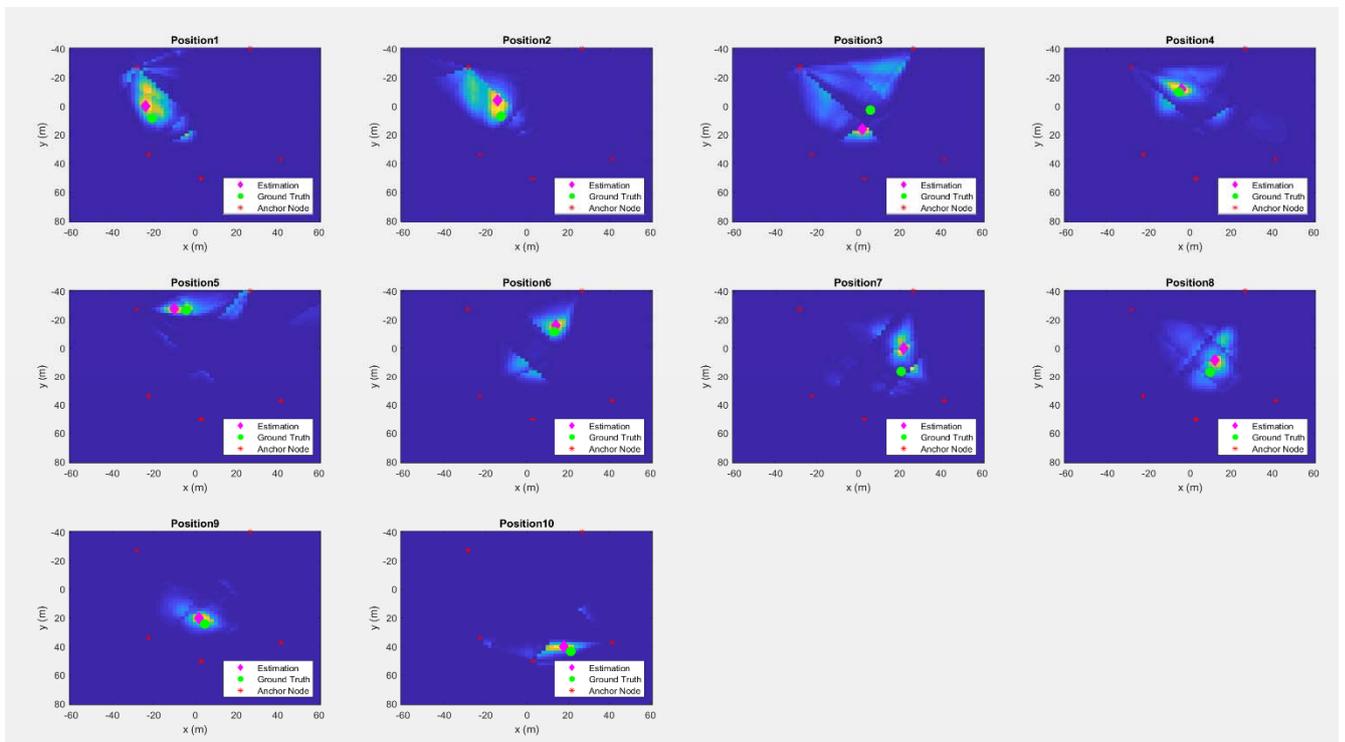
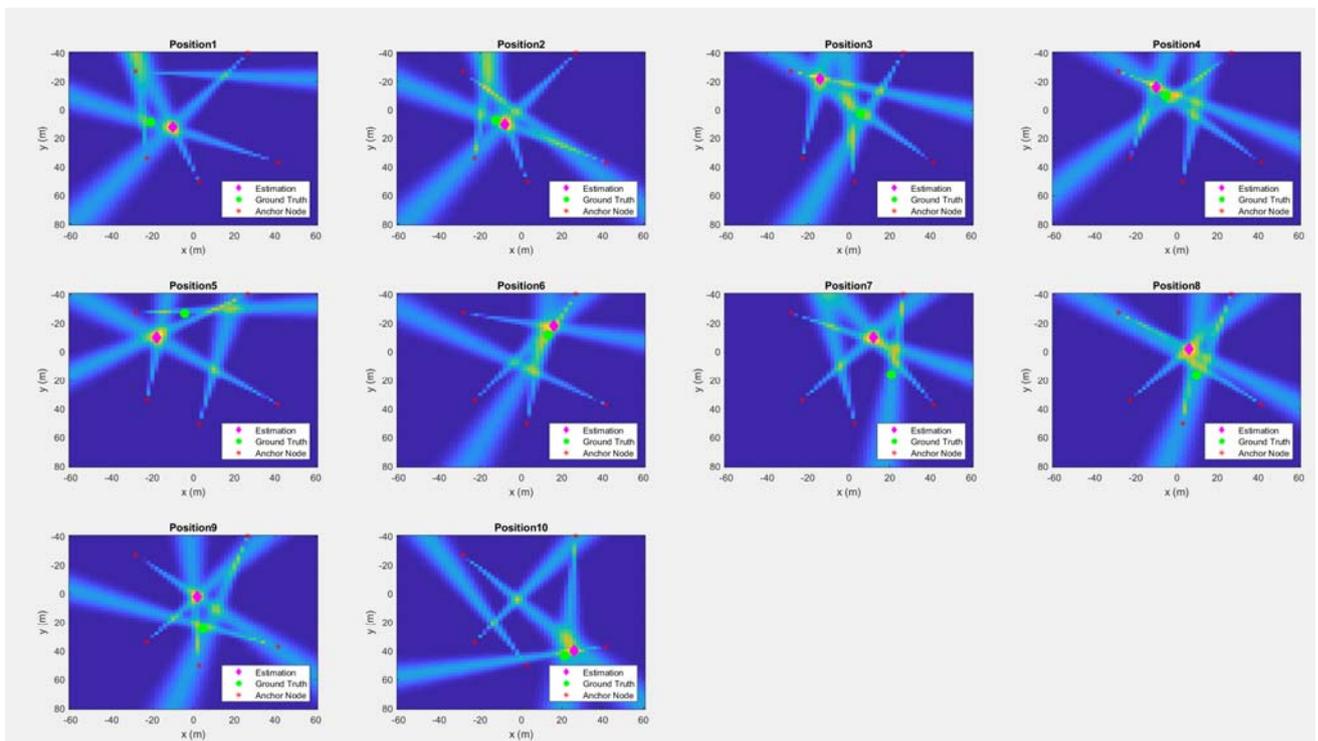


Abb. 12: Experiment zur Lokalisierungsgenauigkeit der Antenne.

Wenn wir die empirische Verteilung nicht verwenden und nur davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit eine Summe aus einer Normal- und einer Gleichverteilung ist, ist der Fehler in den Positionen viel höher, wie in der folgenden Abb. 13 zu sehen ist:



**Abb. 13:** Experiment zur Lokalisierungsgenauigkeit der Antenne ohne Verwendung einer empirischen Verteilung.

Beispielsweise befindet sich die Schätzung an Position 9 dort, wo sich drei gemessene Winkel schneiden. Dies ist nicht der Fall, wenn wir die empirische Verteilung verwenden, da zwei dieser Winkel von Orientierungen stammen würden, die wahrscheinlich keinen geringen Fehler aufweisen.

Die nächsten Schritte werden darin bestehen, andere Metriken in die empirischen Verteilungen einzuführen, die möglicherweise auch Informationen über den Fehler in der Messung enthalten, wie z. B. die Signalstärke oder die Varianz in den Messungen. Dies ist insbesondere für Fälle wichtig, in denen die Wahrscheinlichkeit in einer Vielzahl von Positionen hoch ist.

Die vorgestellten Schätzungen verwenden die von der Totalstation geschätzten Positionen und Orientierungen der Ankerknoten. In der Praxis planen wir, die gemessenen Positionen und Orientierungen von GPS und Kompass zu verwenden. Um sie zu verbessern, wurde ein Optimierungsalgorithmus implementiert. Es verwendet die Winkelmessungen mehrerer statischer Positionen, um diese anfänglichen Schätzungen zu verbessern. Weitere Tests werden in den folgenden Monaten durchgeführt, um eine robuste Schätzung dieser Variablen sicherzustellen.

### 2.3.2 AP3.2, Mehr-Stationen-Tracking

Eine absolute Positionsangabe von Maschinen und Materialien erfordert die Datenfusion der Messungen mehrerer Basisstationen zum Tracking von Assets mit hoher Robustheit mittels überbestimmter Positionierung und Fehlerelimination.

Daher sendet jeder Tag eine eindeutige ID, womit alle Tags differenziert werden können. Damit kann einfach jeder Tag separat geortet werden womit Mehr-Stationen-Tracking möglich ist.

### 2.3.3 AP3.3, Backbone- und Gateway-Datenkommunikation

Der Inhalt des AP war die Entwicklung eines High-Level-Funkprotokolls für den Datenaustausch auf dem Backbone. Die Interstationen-Kommunikation wurde bereits in AP 2.3 beschrieben. Für die Kommunikation zwischen den ermittelten Positionen und dem Server von Contagt wird ein REST Protokoll in Verbindung mit JSON genutzt. Für die Aktualisierung von Positionen wird ein Login benötigt um das System gegen unbefugten Zugriff zu schützen.

### 2.3.4 AP3.4, Echtzeitimplementierung der Algorithmen

Alle entwickelten Skripte wurden bereits in C++ implementiert. Dort laufen sie schnell und effizient um die geforderte Echtzeit zu garantieren. Weiter Entwicklungen werden direkt in C++ stattfinden. Die Arbeiten fanden hier gemeinsam statt mit den Partnern Telocate und der Universität Freiburg, um die entwickelten Algorithmen in C++ zu übersetzen

## 2.4 AP 4, Backend und Open-Data-Ansatz

### 2.4.1 AP4.1, Data Analytics-Ansatz zur statistischen Analyse von Prozessdaten

Der Data Analytics-Ansatz wurde auf Basis der Bewegungs- und Aktivitätsdaten der Sender entwickelt. Ein Zonen-Definitions- und Annäherungsmodell, welches wir entwickelt haben, ermöglicht das Betreten von Zonen zu ermitteln. Die Daten werden in Form von Events ausgegeben, bestehend aus Zeitstempeln, Sender-ID, Aktivitäts-Typ und reservierten Feldern für Messwerte.

### 2.4.2 AP4.2, Webbasiertes, mobiles Backend

contagt entwickelte einen Demonstrator für ein webbasiertes, mobiles Backend. Die entstandene Demonstrator-Anwendungen mit geeigneter Nutzerschnittstelle ermöglichen die Positionsverfolgung von Assets. Hierzu wurde zunächst die erforderliche UI mittels Usability Engineering-Methoden iterativ umgesetzt. Auch für die Analyse-Optionen wurde ein UI konzipiert. Weiterhin wurden die entstehenden Positionsdaten von Telocate an das Backend angebunden.

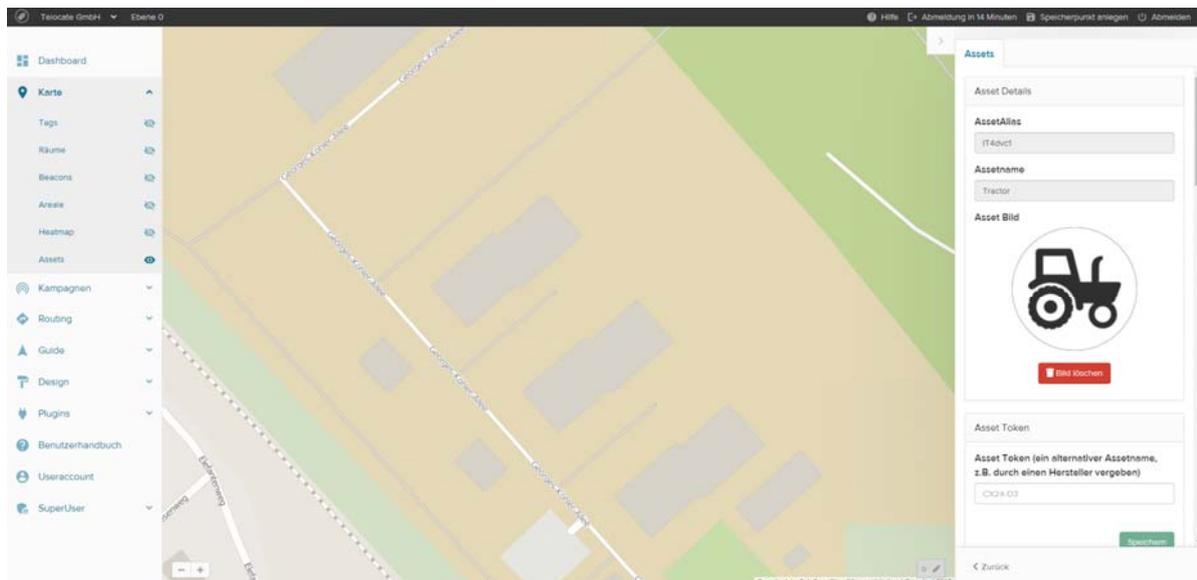


Abb. 14: Demonstrator für webbasiertes, mobiles Backend für Asset Tracking

### AP4.3, Open Data-Konzept

contagt führte eine Evaluation der vorhandenen Datensätze, die im Rahmen des Projekts entstanden sind, durch, und überprüfte diese auf Anwendungsrelevanz. Von der öffentlichen Bereitstellung von Assetdaten rieten die Branchenvertreter ab, da Gründe des Diebstahlschutzes aus ihrer Sicht dagegensprechen. Auch die öffentliche Bereitstellung von Personen-Aktivitätsdaten wurde als negativ bewertet, aus Gründen des Diebstahl- und Datenschutzes. Dahingegen wird eine öffentliche Bereitstellung des Baustellen-Status als hilfreich und zugleich unkritisch erachtet.

Anschließend erarbeitete contagt ein Konzept, wie die Daten in einem offenen Format zur Verfügung gestellt werden können. Mögliche benötigte Schnittstellen/Datenformate zur Anbindung wurden herausgearbeitet. Im Rahmen dessen entstanden die Dokumente „Open-Data-Konzept“ und „Anbindung Asset-Management“.

## 2.5 AP 5, Demonstration und Evaluation

### 2.5.1 AP5.1, Vorbereitung Testumgebung

Seit dem Herbst 2021 lief die Planung der durchzuführenden Experimente. Diese wurden in Absprache mit den entwickelnden Projektpartnern ab dem Frühjahr 2022 auf dem betriebseigenen Werkshof von Bombardi stattfinden. Hierzu fanden regelmäßige, mindestens monatliche Besprechungen mit den Partnern statt.

Zuvor wurden einige Tests und Evaluierungen auf dem Campus der Universität bereits von Cone und Telocate abgeschlossen. Die Daten aus diesen Tests waren bereits sehr vielversprechend für die Zukunft. Einer dieser Tests ist in Abbildung 6 zu sehen. In rot markiert kann man die Basisstationen erkennen, welche die gemessenen Winkel weiterleitet um damit eine Position zu bestimmen. In gelb markiert sind verschiedene Punkte markiert deren Position mit Hilfe der gemessenen Winkelinformationen bestimmt werden sollte. Dies hat zufriedenstellend funktioniert.



**Abb. 15:** Ein Test des Systems.

### 2.5.1.1 Activity Monitor



**Abb. 16:** Gemessene Aktivitäten an verschiedenen Geräten.

In diesem Projekt sollten auch die Nutzungszeiträume verschiedener Geräte getrackt werden um zu bestimmen, was wann benutzt wird.

Dies wurde auch von Telocate erledigt. Wir konnten erfolgreich bei mehreren Geräte die Nutzungsdauer loggen. Für jedes Gerät wurde das Senden eines Bluetoothsignals gespeichert und als Beginn einer Nutzung festgelegt. Die Nutzungsdauer wurde durch das letzte gesendete Signal bestimmt. Eine Nutzungsdauer von 10 min wurde dabei als Mindestzeitraum angenommen.

### 2.5.2 AP5.2, Abschluss-Demo und Evaluation

Alle Partner führten eine Analyse unter realitätsnahen Bedingungen durch. Contagt stellt das Backend bereit und Telocate die Basis-Stationen. Contagt bereitet das Backend vor, dass im Test Nutzungsdaten zur Auswertung erfasst werden können. Um das System in einer echten Umgebung zu analysieren, haben wir es auf dem Bauhof von Bombardi installiert. Dabei konnten wir den Installationsaufwand und die Präzision des Systems analysieren. Der Aufbau kann in den folgenden Bildern gesehen werden.



**Abb. 17:** Ein Receiver, dessen Sichtfeld von einem Bagger beeinträchtigt wird.



**Abb. 18:** Links: Ein Tag an einer Leitbake. Rechts: Ein weiterer Receiver und Bauzaun.

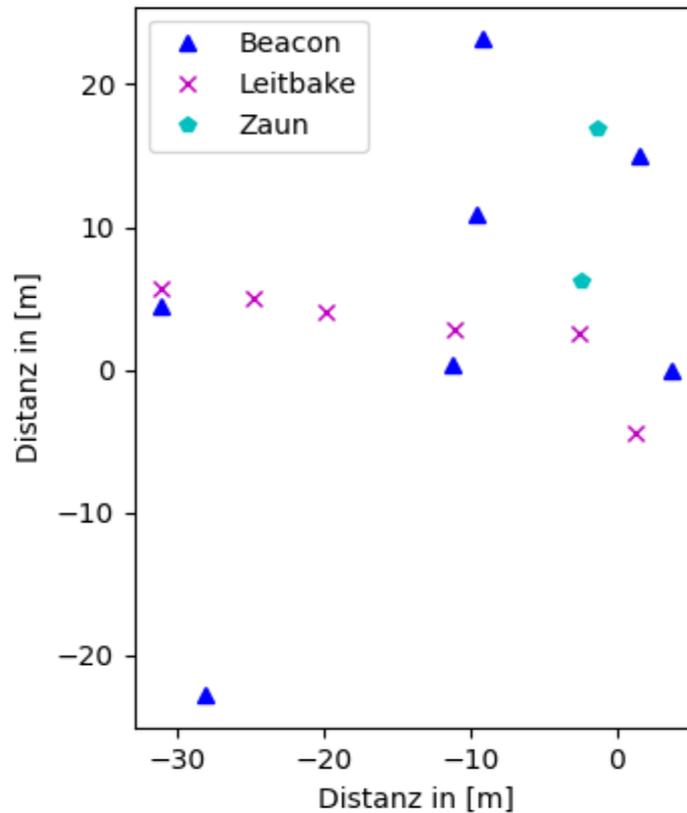


**Abb. 19:** Dolly mit Tag, einige Leitbaken.

Der Installationsaufwand war gering, da alles kabellos funktioniert. Das Anbringen der Receiver an die Stative ging durch ein geeignetes 3D-gedrucktes Gehäuse (Abb. 7) sehr einfach. Zusätzlich musste noch eine Powerbank an das Stativ befestigt werden, um den Receiver mit Strom zu versorgen. Diese wurde in diesem Aufbau mit Kabelbinder befestigt, für zukünftige Installation ist es allerdings möglich dies auch im Gehäuse zu integrieren.

Um verschiedene Szenarien zu testen haben wir einige Tags an Leitbaken, Zäune, Bagger und dem Dolly befestigt.

In allen Experimenten hat sich allerdings herausgestellt, dass die Präzision des Systems vergleichsweise ungenau war. Dies ist auf die vielen Reflexionen zurückzuführen. Für Präzisionsanwendungen wie etwa eine genaue Streckenführung von Arbeitsgeräten ist es daher nicht geeignet. Für den geplanten Anwendungsfall des Wiederauffindens und Verfolgens von Geräten im Baustelleneinsatz hingegen ist die erzielte Genauigkeit von ca. 5-10 Metern ausreichend.



**Abb. 20:** Draufsicht auf das Szenario auf dem Bauhof von Bombardi.

Im Folgenden werden die Lokalisierung der Leitbaken und des Dollys genauer betrachtet.

Die Lokalisierung der Leitbaken war zu meist etwas ungenau was auf die Reflexionen zurückzuführen ist. In der folgenden Abbildung sind die korrekten Positionen als Pentagon zu sehen und die geschätzten Positionen in der dazugehörigen Farbe als Kreuz zu sehen. Wie gut zu erkennen ist, gibt es eine große Streuung bei den geschätzten Positionen. Wenn man in die ermittelten Winkel anschaut, sieht man eine große Streuung und viele Messfehler die zu diesen ungenauen Schätzungen führen. Durch Filtern der Positionen kann man die exakte Position noch weiter verbessern. Dies ist vor allem für statische Objekte sehr nützlich.

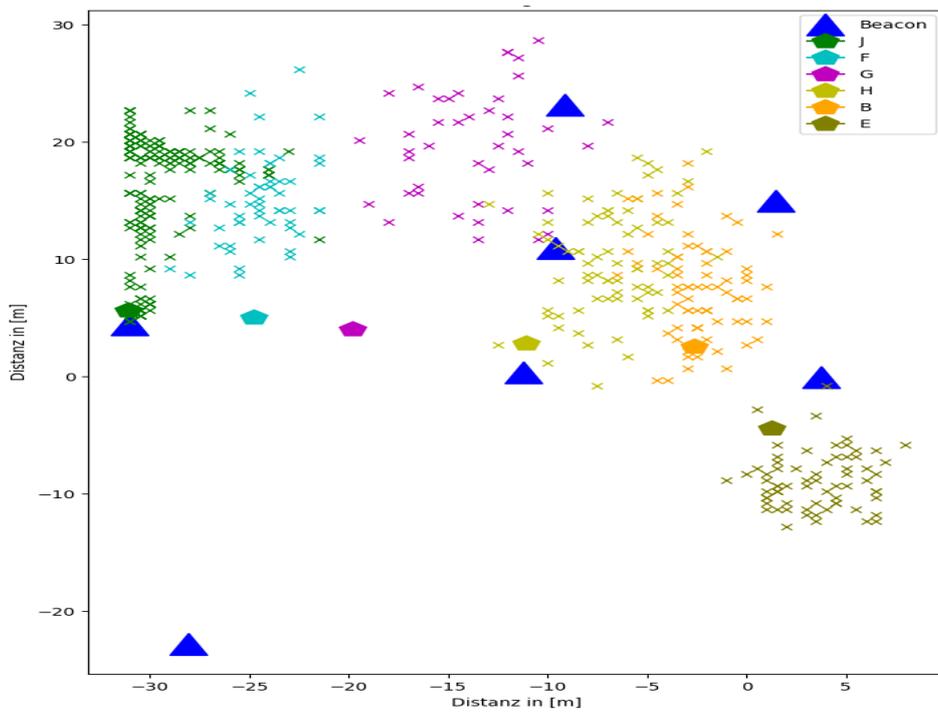


Abb. 21: Wahre und mittels BT51 gemessene Positionen der Sender.

Die Experimente mit dem Dolly haben ähnlich Ergebnisse erzielt. Diese sind in der folgenden Abbildung zu sehen.

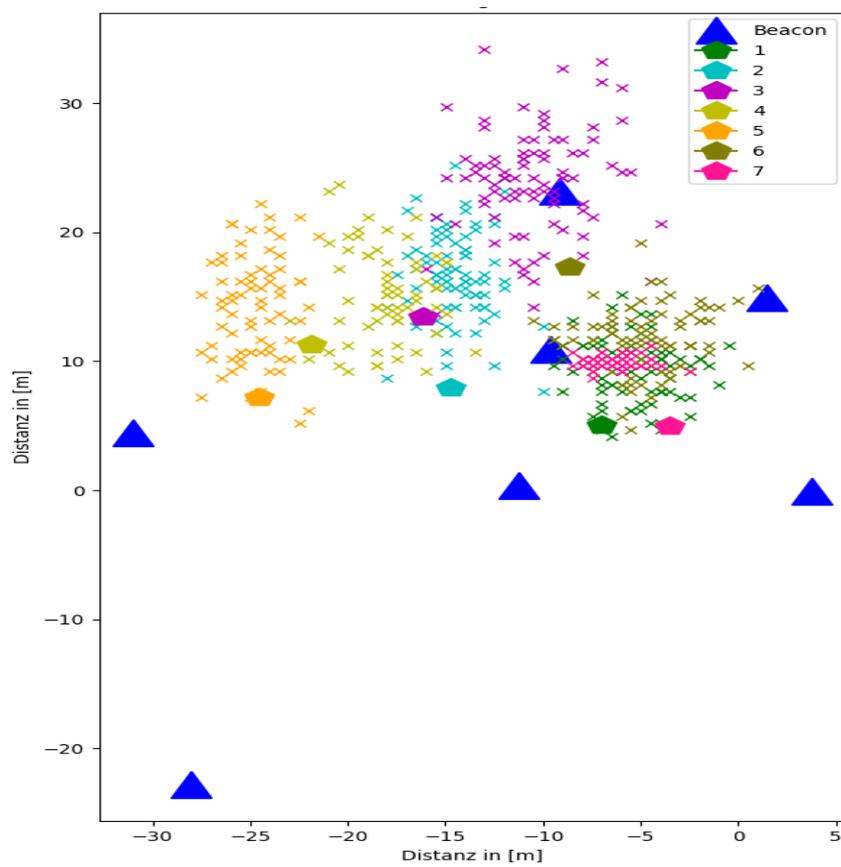
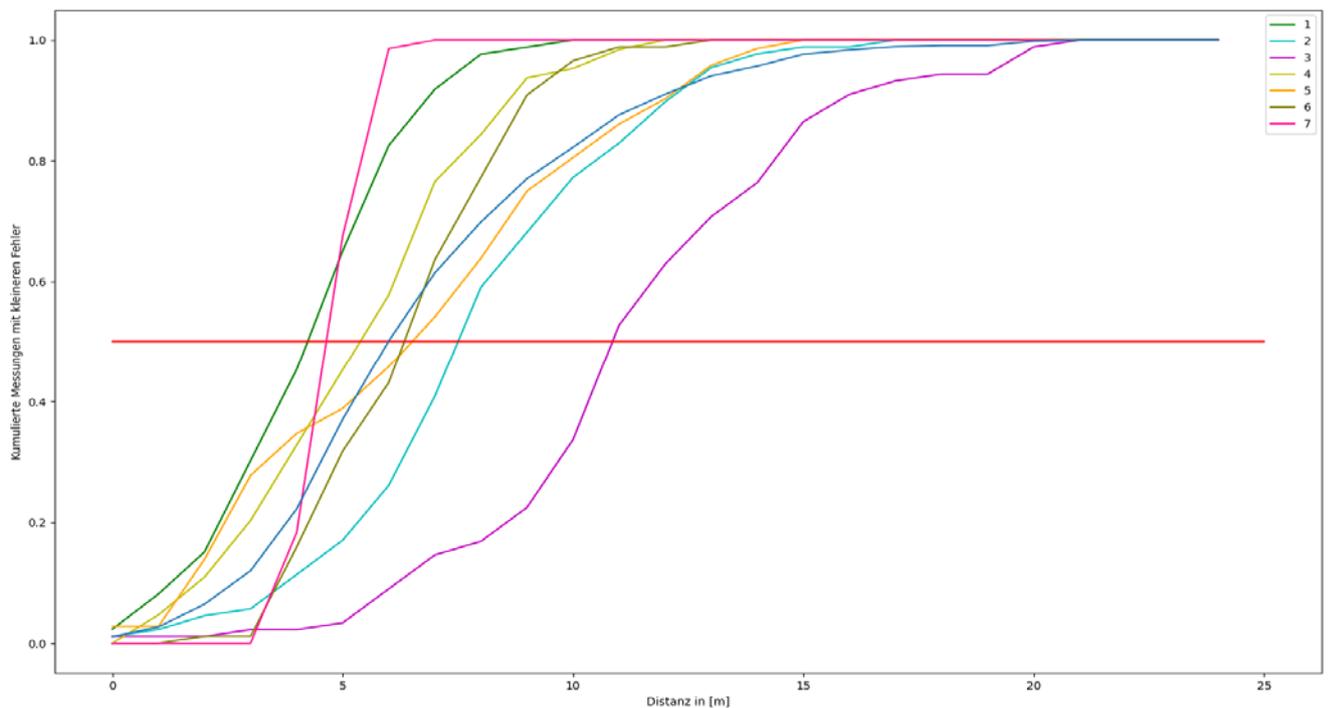


Abb. 22: Wahre und mittels BT51 gemessene Positionen der Messpunkte mit dem Dolly.



**Abb. 23:** Kumulative Fehlerverteilung (CDF) der Messungen für sieben Senderpositionen. Die Genauigkeit liegt im Bereich mehrerer Meter.

In der linken Abbildung, sind wieder die korrekten, so wie die geschätzten Positionen zu sehen. In Abb. 23 ist der kumulative Fehler aller Positionen aufgetragen. Es ist zu sehen, dass für fast alle Positionen 50% der geschätzten Positionen einen Fehler von weniger als 6m haben. Damit kann die Position für die Geräte auf der Baustelle grob eingeschätzt werden. Dies entspricht der gewünschten Genauigkeit, wie in Tabelle 1 zu sehen ist.

Die Präzision des TI-System ist zu gering um eine präzise Lokalisierung zu gewähren. Erschwerend kommt hinzu, dass das TI-System lediglich ein 120 Grad Sichtfenster hat in dem überhaupt präzise Winkel gemessen werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das System von TI für genauere Lokalisierung als den geplanten Anwendungsfall nicht geeignet ist. Das System von Silicon Labs ist hier präziser und sollte für zukünftige Projekte verwendet werden, wenn Präzisionsanwendungen wie die Streckenführung von Arbeitsmaschinen im Fokus liegen, wo Genauigkeiten von 1-2 m benötigt werden. Dieses System war allerdings im Zeitraum des Projektes nicht im Handel erhältlich. Ist jedoch wie in diesem Projekt hauptsächlich die Aktivität sowie die ungefähre Position von Interesse, so sind die Ergebnisse des TI-Systems zufriedenstellend.

Die Erkennung der Nutzungszeiten durch Telocate funktionierte sehr gut (vgl. AP 1.1, Anforderungsanalyse). Die Aufzeichnung und Darstellung dieser Zeiten wurde von Contagt erledigt. Diese Technologie kann den Ablauf auf Baustellen deutlich vereinfachen.

Die zweite Anforderung von Bombardi war es bestimmte kleinere Geräte zu lokalisieren, so dass es nicht zu langen Suchzeiten auf der Baustelle so wie im Lager kommt. Hier waren besonders Objekte wie z.B. Verkehrsschilder von Interesse. Die Lokalisierung erfolgte durch Telocate ebenfalls mit Bluetooth-Technologie wie oben beschrieben. Die Ungenauigkeit der Position von ca. 1,5 Meter war für die meisten Objekte kein Problem, da der ungefähre Standort Bombardi ausreicht um das Gerät zu finden. Damit können zukünftig die Suchzeiten für bestimmte Verkehrsschilder deutlich reduziert werden. Mit dem System von Silicon Labs kann die Genauigkeit noch weiter verbessert werden, falls dies in weiteren Projekten von Interesse ist.

Insgesamt kann man festhalten, dass die Forderungen, formuliert in Tabelle 1, sehr gut erfüllt wurden und dadurch in Zukunft die Arbeit auf der Baustelle erheblich vereinfacht wird. Wir können in der Tabelle erkennen, dass für die meisten Geräte lediglich der Protokollierungsnachweis von Inte-

resse für Bombardi ist. Dieser funktioniert wie in Kapitel 2.5.1.1 beschrieben wurde sehr zuverlässig und es können genau Arbeitszeiten der Geräte festgehalten werden. Für einige Geräte ist auch ein Diebstahlschutz gewünscht gewesen. Da die Geräte bei einer Bewegung eine Aktivität vermelden, kann es in Zukunft so eingestellt werden, dass bei Bewegungen außerhalb der Arbeitszeiten auf der Baustelle automatisierte E-Mails oder ähnliches verschickt werden. Der Tatzeitpunkt des Diebstahls kann damit ebenfalls festgehalten werden. Damit kann festgehalten werden, dass alle gewünschten Eigenschaften von Bombardi erfüllt werden können.

### **2.5.3 AP5.3, Öffentlichkeitsarbeit**

Während der Projektlaufzeit wurde auf die Außendarstellung des Projekts hingewirkt. Dies mündete in eine Vorstellung des Gesamtprojekts auf dem Mobile World Congress in Barcelona, vgl. Abschnitt 2.10.

Im Juli 2021 nahm das Projekt an der digitalen Eventreihe „Basiswissen Digitalisierung“ mit einem Beitrag teil. Die von DIGIHUB Südbaden veranstaltete Reihe zeigt auf, wie der Einstieg in die Digitalisierung funktioniert und welchen Mehrwert Unternehmen davon erwarten können.

## **2.6 Projektverlauf**

Durch die seit Projektbeginn bestehende COVID-19-Pandemie haben sich trotz sorgfältiger Projektplanung Verzögerungen ergeben, die den Projektfortschritt auf Seiten der Hardwareentwicklung verzögert haben. Aufgrund der nach wie vor bestehenden weltweiten Lieferengpässe im Elektronikbereich bestanden Schwierigkeiten bestimmte im Projekt verwendete Bluetooth-Controller zeitnah zu bekommen, welche für das Projekt benötigt wurden, um die geplanten Bluetooth-Sender aufzubauen.

Die Bluetooth-Sender konnten zum Jahresende nun aufgebaut werden, so dass die geplanten Experimente in der beantragten und bewilligten Verlängerung des Projekts im Frühjahr 2022 stattfinden können.

contagt war schwerpunktmäßig im Bereich der Nutzerschnittstelle tätig und integrierte die Positionsdaten in ein Backend. Insgesamt wurde eine ein Demonstrator von dem mobilen Backend konzipiert und umgesetzt. Der Demonstrator wurde folglich in der Abschluss-Demo erprobt. Die Software-Entwicklung war durch die Corona-Pandemie weniger betroffen und konnte planmäßig durchgeführt werden.

Die Universität Freiburg wirkte als Konsortialpartner mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung der Lokalisierungsalgorithmik und des Data Analytics-Ansatzes mit. Die durch die Partner aufgrund der Corona-Krise und der Lieferengpässe erfahrenen Verzögerungen wirkten sich indirekt auch auf die eigenen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten aus, indem reale Testdaten für die Anpassung der entwickelten Software und Algorithmen erst verzögert durch die Partner bereitgestellt werden können. Somit können wir die Anpassungsarbeiten erst nachfolgend ausführen.

Während der Verlängerung ab Anfang Januar können diese Verzögerungen aufgeholt und vollständig durchgeführt werden.

Die Bombardi Tiefbau GmbH ist Partner für die praktischen Feldexperimente am Projekt beteiligt. Wir stellen die passenden Bauvorhaben und Geräte zu Testzwecken zur Verfügung. Unser Standort bzw. unser Bauprojektumfeld liegt überwiegend im Hochschwarzwald, so dass wir im ursprünglich geplanten Zeitraum der Feldexperimente ab Dezember stark witterungsabhängig sind. Auch finden in diesem Zeitraum wenig bis keine Bauprojekte statt. Aufgrund der zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Ausführung der Feldexperimente zum bislang geplanten Zeitpunkt wurde eine Projektverlängerung beantragt und genehmigt, so dass die Experimente nun im Frühjahr 2022 bei besser geeigneten Umgebungsbedingungen stattfinden können.

## **2.7 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Im mFUND-Verbundprojekt sind die wesentlichen Teile der Kosten im Bereich der Personalmittel entstanden, mit denen die Partner Forschungs-, Entwicklungs- und Integrationsarbeiten leisteten um

das Gesamt-Demosystem für BauTracks einsatzfähig für Experimente auf einer Baustelle zu machen, die Experimente durchzuführen, und die hieraus gewonnenen Testdaten auszuwerten.

Materialkosten sind nur im relativ geringem Umfang entstanden. Der Partner Telocate schaffte die Komponenten und Materialien an für die Entwicklung eines Testaufbaus für BauTracks, sowie Demonstrator-Kleinserie von sechs Basisstationen und 20 Sendeeinheiten. contagt schaffte Testgeräte (2 Convertibles und 2 Smartphones) sowie 15 Bluetooth-Beacons an.

Darüber hinaus entstanden geringe Kosten für Reisen zu den Feldversuchen und für PR-Tätigkeiten um BauTracks auf dem Mobile World Congress in Barcelona einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen.

## **2.8 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die durchgeführten Forschungsarbeiten im mFUND-Verbundprojekt BauTracks sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen. Mittels der Ressourcen konnten alle im Projektantrag vereinbarten Ziele erreicht werden. Dabei wurden alle Arbeitspakete bearbeitet. Der erforderliche Personalaufwand war insgesamt gesehen etwas größer als erwartet und ursprünglich geplant, wobei einige Entwicklungsarbeiten ein wenig einfacher durchführbar waren als geplant, andere hingegen aufgrund unerwarteter technischer Schwierigkeiten länger dauerten. Es gab jedoch keine unüberwindbaren Schwierigkeiten.

## **2.9 Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Die im vorliegenden Projekt BauTracks erschaffene Lösung schafft eine wichtige Basis für die Digitalisierung von öffentlichen Bauvorhaben und die damit verbundenen Planungs- und Organisationsaspekte. Diese Digitalisierung kann dazu beitragen, Baustellenorganisation mehr nach den Vorstellungen der Menschen zu entwickeln. Sie ist Bestandteil einer integrierten Stadtentwicklung, bei der Transparenz, Beteiligung und Kommunikation eine zentrale Rolle spielt. Konkret können die nach dem Open Data-Prinzip bereitgestellten Informationen dazu beitragen, dass sich Bürger über geplante Maßnahmen im Bereich Straßenverkehr informieren, planerische Aspekte verstehen und nachvollziehen und die individuellen Gewinne und Gewinne für die Allgemeinheit erkennen können.

Der Ansatz wird nach Projektende zur Marktreife entwickelt. Für contagt und Telocate ergeben sich aus den Projektergebnissen Alleinstellungsmerkmale im Bereich Ressourcenmanagement auf Baustellen mittels Bluetooth 5.1 mit denen sie sich vom Wettbewerb abgrenzen. Die beiden Firmen streben den Vertrieb des Systems an Bauunternehmer und Kommunen ab Frühjahr 2024 an. Die daraus generierten zusätzlichen Umsätze ermöglichen die Einstellung weiterer Mitarbeitenden in Entwicklung und Vertrieb. Das Ziel ist mittel- bis langfristig Marktführer im DACH-Raum zu werden.

Von Telocate können die erzielten Ergebnisse nach der Projektlaufzeit von den Unternehmen in weiterführenden Szenarien verwertet werden. So können von Telocate Teilkomponenten bestehend aus der Bluetooth 5.1-Plattform und der Lokalisierungsalgorithmen auch in anderen Anwendungsbereichen, wie z.B. der Industrie verwertet werden.

Für contagt sind die angestrebten Ergebnisse ein wichtiger Schritt hin zur Entwicklung einer generell einsetzbaren Geolokations-Plattform, welche in verschiedenen Kontexten Anwendung finden kann. Die beabsichtigte Komponente, mit der externe Positionsquellen angebunden und angezeigt werden können, kann so im Anschluss an das Projekt weiterentwickelt und als Speziallösung verwertet werden.

Die im Projekt gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse und Demonstratoren bilden für die beteiligten KMU auf diese Weise die Basis für weitere Aufträge aus der Wirtschaft oder führen mittels Technologietransfers zur Umsetzung in neue Produkte und Verfahren.

Der Forschungspartner Albert-Ludwigs-Universität Freiburg erhielt durch das Projekt die Möglichkeit zum Ausbau der eigenen Kompetenzen im Bereich fusionierender Algorithmik für Echtzeit-Lokalisierung. Die Projektergebnisse dienen als Grundlage für weitere Forschungszwecke.

## 2.10 Erfolgreiche und planmäßige Veröffentlichung des Ergebnisses



**Abb. 24:** Auf dem Stand von Telocate auf dem Mobile World Congress 2022 in Barcelona wurde unter anderem das mFUND-Projekt BauTracks der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt.

Das mFUND-Projekt BauTracks wurde im März 2022 auf dem Mobile World Congress in Barcelona der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Der Partner Telocate hatte hierzu einen Stand angemietet. Der MWC hat sich in den letzten Jahren von einer reinen Messe für Mobilfunk hin zu einer breit aufgestellten Plattform für die digitale Welt entwickelt, in der auch telemetrische Lösungen für die mobile Digitalisierung wie in BauTracks auf ein großes Interesse stoßen.

An der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg wurde BauTracks im Rahmen einer studentischen Bachelorarbeit wissenschaftlich untersucht<sup>3</sup>, wobei der Schwerpunkt auf den messtechnischen Möglichkeiten der entwickelten Bluetooth 5.1-Lösung lag.

Es wurden ein Projektartikel<sup>4</sup>, eine Pressemitteilung auf der Webseite von Telocate<sup>5</sup> sowie ein Projektsteckbrief<sup>6</sup> und eine Projektübersicht auf der Webseite der Universität Freiburg<sup>7</sup> erstellt.

Darüber hinaus nahm das Projekt im Juli 2021 an der digitalen Eventreihe „Basiswissen Digitalisierung“ mit einem Beitrag teil.

<sup>3</sup> Uwe Benkarth, *Analyse und Entwicklung eines Systems zur Berechnung der Lage eines BLE-AoA-Ankerpunktes*, Bachelorarbeit, Universität Freiburg, 2021.

<sup>4</sup> BMVI – BauTracks, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/bautracks.html>, März 2021

<sup>5</sup> Telocate, [https://de.telocate.de/wp-content/uploads/2021-03-05\\_BauTracks\\_Pressemitteilung.pdf](https://de.telocate.de/wp-content/uploads/2021-03-05_BauTracks_Pressemitteilung.pdf), März 2021

<sup>6</sup> Projektsteckbrief, <https://emmett.io/project/bluetooth-basiertes-asset-tracking-fuer-ortsbezogenes-ressourcen-management-von-baustellen-im-strassenverkehr>

<sup>7</sup> CoNe Projekte, [https://cone.informatik.uni-freiburg.de/forschung/cone\\_res\\_projects](https://cone.informatik.uni-freiburg.de/forschung/cone_res_projects)