

**big bird**

Duisburg

# „Feldversuch eines bluetooth-basierten Check-In / Be-Out-Systems“ als Erweiterung von *big bird Soest*

Am Beispiel von Stadtbahn, Bussen, und Stationen im Verkehrsgebiet der Duisburger Verkehrsgesellschaft AG

## Projektdokumentation

Förderung und Leitung des Projektes durch



Projektbeteiligte



**Änderungsnachweis**

<b>Version</b>	<b>Stand</b>	<b>Bearbeiter</b>	<b>Bemerkungen</b>
0.1	15.05.2017	K. Pätzold	Initial
0.5	9.06.2017	K. Pätzold	Das Verfahren, Einleitung Fazit
0.8	16.06.2017	M Beilicke, K. Pätzold,	Kapitel: Herausforderungen
0.9	23.06.2017	M Beilicke, K. Pätzold, M. Adelt	Redaktionelle Überarbeitungen
0.92	11.07.2017	W. Heine Kirsten Williams	Redaktionelle Überarbeitungen und Ergänzungen
0.93	25.07.2017	W. Heine	Konsolidierungsschritte
0.94	27.07.2017	K. Pätzold	Ergänzungen

**Hinweis zum Urheberrecht**

Copyright von Cubic Transportation Systems (Deutschland) GmbH 2017. Alle Rechte vorbehalten.

Das Urheberrecht an dieser Arbeit ist Eigentum der Cubic Transportation Systems.

Diese Arbeit darf grundsätzlich nicht ohne die vorherige schriftliche Zustimmung von Cubic Transportation Systems (Deutschland) GmbH (weder vollständig noch in Auszügen) verändert, vervielfältigt, veröffentlicht oder an Dritte weitergegeben oder für andere Zwecke als für jene, für die sie vorgelegt wurde, verwendet werden.

Der VRR AöR wird das Recht eingeräumt, die Projektdokumentation allen interessierten Verkehrsunternehmen und Verbänden in NRW unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

## Inhaltsverzeichnis

Management Summary.....	7
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1 Der Nutzen eines Smartphone-basierten Check-In/Be-Out-Systems für Verkehrsunternehmen und Fahrgäste.....	9
1.2 Projektbeteiligte.....	12
1.3 Das Testgebiet.....	13
1.4 Übersicht der verwendeten Komponenten.....	14
<b>2 Das Verfahren.....</b>	<b>15</b>
2.1 Online-Verfahren.....	15
2.2 Offline-Verfahren.....	16
2.3 Umschaltpunkte.....	17
<b>3 Die Technik des Feldversuches.....</b>	<b>20</b>
3.1 Hintergrundsystem.....	20
3.2 OnBoard-Units.....	21
3.3 BLE-Beacons an den Haltestellen (Stationäre Beacons).....	24
3.4 CIBO-App.....	25
<b>4 Herausforderungen.....</b>	<b>27</b>
4.1 Die Nutzermediums App im Hintegrund.....	27
4.2 Hardware.....	28
4.3 GPS.....	30
4.4 Vollbesetzte Bahn.....	31
4.5 Störungen des Mobilfunknetzes.....	32
<b>5 Durchführung.....</b>	<b>33</b>
5.1 Monitoring des Betriebs.....	33
5.2 Ansicht für das Kundenmanagement.....	33
5.3 Prüfkonzept.....	35
<b>6 Evaluierung.....</b>	<b>37</b>
6.1 Grundsätzliche Anwendbarkeit.....	37
6.2 Performanz.....	37
6.3 Sicherheit und Genauigkeit.....	37
6.4 Skalierbarkeit des Feldversuchs.....	38
6.5 Usability für den Nutzer.....	39
6.6 Migrationsfähigkeit von anderen EFM3-Systemen.....	39
6.7 Zukunftssicherheit.....	39
<b>7 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>40</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Teststrecke .....	13
Abbildung 2: Informationstransfer .....	16
Abbildung 3: Umschaltpunkte .....	18
Abbildung 4: CIBO-Gesamtsystem .....	20
Abbildung 5: COBU Module .....	23
Abbildung 6: BLE-Nano .....	24
Abbildung 7: Stations-Beacon .....	25
Abbildung 8: Screenshots der Cibo-App.....	26
Abbildung 8: Onboard-Unit und Spannungsregulator .....	29
Abbildung 9: Hardware der Revision 2 .....	29
Abbildung 10: Positionsgenauigkeit vor und nach Verlegung der GPS-Antenne .....	31
Abbildung 11: Screenshot zu GPS-Positionen .....	33
Abbildung 12: Screenshot Kundenidentifikation .....	34
Abbildung 13: Screenshot Verlauf Check-In-Vorgänge .....	35
Abbildung 14: Prüf-Farbcode.....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektbeteiligte und deren Leistungen .....	12
Tabelle 2: Verwendete Komponenten.....	14
Tabelle 3: NEAR und FAR Definition .....	19

**Abkürzungsverzeichnis**

BI	Be-In Ereignis
BLE	Bluetooth Low Energy
BO	Be-Out Ereignis
BT	Bluetooth
CI	Check-In Ereignis
CIBO	Check-In/Be-Out Ereignis
CO	Check-Out Ereignis
CRA	Cubic Radio Agent
CRM	Customer Relationship Management
CTS	Cubic Transportation Systems
dBm	Dezibel Milliwatt
DFI	Dynamische Fahrgastinformation
EFM3	Elektronisches Fahrgeldmanagementsystem der VDV-KA-Stufe 3 (In- und Out-System): Automatisierte Berechnung des Fahrpreises
DVG	Duisburger Verkehrsgesellschaft AG
GPS	Global Positioning System
GTFS	General Transit Feed Specification
IBIS	Integriertes Bord-Informations-System
ID	Identifikator
IoT	Internet of Things
NM	Nutzermedium
NMEA	National Marine Electronics Association
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OTA	Over The Air
PKI	Public Key Infrastructure
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
s.	siehe
SOC	System On a Chip
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
UUID	Universally Unique Identifier
VRR	Verkehrsverbund Rhein-Ruhr AöR
WIFI	durch die WiFi-Alliance anhand der IEEE-Standards für WLAN zertifiziertes Funknetzwerk

## Management Summary

Der Feldversuch *big bird Duisburg* ist als Fortsetzung des Feldversuches *big bird Soest* angelegt worden (s. Veröffentlichung des KCEFM: <https://www.kcefm.de/big-bird-projekte/dokumentation-big-bird-soest/>). Im Feldversuch Soest wurde gezeigt, dass es möglich ist, auf Basis von handelsüblichen Smartphones und der Radiotechnologie Bluetooth Low Energy (BLE) ein Check-In-/Be-Out-System (CIBO-System) für die Raumerfassung und spätere Fahrpreisermittlung im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu nutzen.

Der Feldversuch *big bird Duisburg* befasst sich mit der Eignungsprüfung eines auf der Radiotechnologie Bluetooth Low Energy (BLE) für Smartphones geeigneten Check-In-/Be-Out-Systems (CIBO-System) für die Raumerfassung und spätere Fahrpreisermittlung im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) im Rahmen des elektronischen Fahrgeldmanagements im Bereich des Verkehrsgebietes der Duisburger Verkehrsgesellschaft AG.

Während beim Feldversuch *big bird Soest* ausschließlich das Verkehrsmittel Bus – mit überirdischen Routen und Haltestellen – in der Stadt Soest im Fokus stand, wurde beim Feldversuch *big bird Duisburg* das CIBO-System auf Stadtbahnen, Busse und Stationen ausgeweitet. Es wurde insbesondere die Nutzung von Stadtbahnfahrzeugen, die ober- sowie unterirdisch verkehren und oberirdische Haltestellen als auch unterirdische Stationen nutzen, berücksichtigt.

Die im Rahmen der „big bird“-Feldversuche festgelegten Ziele ergeben sich daraus, dass Smartphone-basierte In-Out-Systeme für den ÖPNV zur automatischen Leistungserfassung u.a. aus folgenden Gründen interessant sind:

- Erhöhung der Attraktivität des ÖPNVs durch Reduzierung der vom Kunden erwarteten Tarifkenntnis;
- Realisierbarkeit neuer Tarifmodelle, die den ÖPNV für neue Nutzergruppen erschließen könnten und eine höhere Tarifergiebigkeit ermöglichen;
- Verbesserung der Leistungsdaten, um die Grundlage für neue Modelle der Einnahmenezuschlagsverfahren legen zu können.

EFM3-Systeme können so (mit weniger infrastrukturellem Aufwand) installiert werden.

Aus Sicht des Fahrgastes bedingen derartige Systeme die Vorteile der einfachen Bedienbarkeit, der Entlastung von Tarifkenntnissen und der zusätzlich zur Verfügung stehenden Informationen über die Reise selbst. Zudem darf der „Systemvorteil“ nicht außer Acht gelassen werden, denn bei einem CIBO-System werden die Vorteile des CI und des BO unter Wegfall der Nachteile durch CO und BI miteinander kombiniert: Der Fahrgast nutzt den Vorteil des Check-In (Sicherheit durch konkludentes Verhalten) bei Wegfall des Nachteils eines geforderten Check-Outs (Möglichkeit des Vergessens der Check-Out-Handlung). Gleichzeitig erfährt der Fahrgast den Vorteil des Be-Out (keine Handlung erforderlich) bei Wegfall des Nachteils beim Be-In (Unsicherheit bezüglich der korrekten Erfassung).

Die hier vorliegende Projektdokumentation wurde von Cubic Transportation Systems (Deutschland) GmbH (CTS) erstellt. CTS ist für die Software der Mobiltelefone, die Software des Hintergrundsystems sowie der Steuereinheiten und der für die Steuereinheiten verbauten Hardware verantwortlich gewesen. Beginnend mit der Darstellung des Nutzens eines CIBO-Systems fasst die Projektdokumentation die Projektbeteiligten/-leistungen (in Kapitel 1.2) und die Einzelheiten des Aufbaus zu Verfahren, Technik und Herausforderungen sowie der

---

Durchführung des Feldversuches (in Kapiteln 3, 0, 5) zusammen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Kapitel 6 evaluiert, insbesondere im Hinblick auf die grundsätzliche Machbarkeit des Verfahrens, die Performanz, die Sicherheit und Genauigkeit, die Skalierbarkeit des Systems, die Nutzbarkeit (Usability), die Migrationsfähigkeit und die Zukunftssicherheit. Kapitel 7 beschließt die Projektdokumentation mit einem Fazit und Ausblick.

# 1 Einleitung

## 1.1 Der Nutzen eines Smartphone-basierten Check-In/Be-Out-Systems für Verkehrsunternehmen und Fahrgäste

### Vom mobilen Ticketing zum Smartphone-basierten Check-In/Be-Out

Ein wichtiger Schritt in eine kundenfreundliche wie kaufmännisch nutzbringende Richtung ist die Weiterentwicklung von mobilem Ticketing zu einem neuen elektronischen Fahrgeldmanagement (EFM). Wenn hier von „neuem EFM“ gesprochen wird, dann geschieht dies aus dreierlei Gründen: Erstens handelt es sich tatsächlich um die Abkehr von Smartcards als Nutzermedium und die Hinwendung zum Smartphone als Bestandteil eines EFM-Systems. Zweitens sind in Deutschland EFM-Systeme bisher ausschließlich eingesetzt worden, um bestehende Tarifmodelle abzubilden, während in einem neuen EFM leistungsabhängige Tarife genutzt werden können. Drittens wird herkömmlich in der VDV KA nur zwischen Check-In/Check-Out (CICO) und Be-In/Be-Out (BIBO) unterschieden. Das neue EFM in diesem Feldversuch soll deshalb ein Smartphone-basiertes Check-In/Be-Out-System (CIBO) sein.

Für ein Smartphone-basiertes CIBO sprechen zahlreiche Gründe: Für Verkehrsunternehmen von wesentlicher Bedeutung ist es, dass nur geringe Infrastrukturkosten anfallen. Für den Fahrgast bedeutet die Kombination von CI und BO die höchste derzeit mögliche Komfortstufe des elektronischen Ticketings, weil nur die Vorteile von CICO und BIBO genutzt, nicht jedoch die Nachteile derselben in Kauf genommen werden müssen. Hiermit dürfte ein Höchstmaß an Akzeptanz für das CIBO-System einhergehen.

Die positiven Effekte der Anwendung des CIBO-Prinzips werden nachstehend durch die Kurzbeschreibung des Feldversuchs *big bird* Soest aus Fahrgastsicht dargestellt. Bei *big bird* Soest handelt es sich um einen im Jahr 2015 vom *Kompetenzcenter Elektronisches Fahrgeldmanagementsystem NRW* geförderten Feldversuch, um die technische Möglichkeit eines Smartphone-basierten CIBO-Systems im Busverkehr zu prüfen (s. Veröffentlichung des KCEFM: <https://www.kcefm.de/big-bird-projekte/dokumentation-big-bird-soest/>).

### Der Nutzen von Smartphone-basiertem CIBO für die Fahrgäste

Dem Fahrgast als registrierten Nutzer werden nach dem Starten der CIBO-App die eine entsprechende Haltestelle anfahrenden Busse auf dem Smartphone-Display angezeigt. Der Fahrgast muss also nicht (mehr) nach einem Fahrzeug suchen, sondern das Fahrzeug meldet sich bei ihm. Möchte der Fahrgast einen auf dem Display aufgeführten Bus zur Fahrt benutzen, so klickt er auf die Bezeichnung des ausgewählten Busses und wird gefragt, ob er mit diesem tatsächlich befördert werden möchte. Der Check-In-Vorgang wird durch seine Bestätigung (durch Anklicken eines Buttons) abgeschlossen und dem Fahrgast wird sodann eine Beförderungsberechtigung in Form eines 2D-Barcodes auf dem Smartphone angezeigt. Dieser „Fahrausweis“ wird dem Busfahrer als formale Legitimation für die Beförderung gezeigt. Mit dem erfolgten Check-In ist der Fahrgast auf der sicheren Seite, denn er kann nun weder Schwarz- noch Graufahrer sein. (Hinweis: Aus Unternehmenssicht hat der CI den Vorteil, dass der Fahrgast mit dem CI im Sinne der AGB eine konkludente Handlung vollzieht, weil er mit dem Check-In seine Bereitschaft zur Zahlung des Fahrpreises nach Ende der Fahrt bestätigt.).

Diese Sicherheit ist ein nicht zu unterschätzendes psychologisches Moment und immer ein entscheidender Nachteil des Be-In gewesen.

Am Ziel steigt der Fahrgast einfach aus dem Bus aus und muss sich um nichts mehr kümmern. Das Be-Out erfolgt automatisch, indem registriert wird, dass das Smartphone des Fahrgastes den Bus verlassen hat. Hier zeigt sich der Vorteil gegenüber dem Check-Out: Der Fahrgast war gezwungen, einen CO bewusst vorzunehmen, um zu verhindern, dass ihm unter Umständen der tarifarisch mögliche Höchstbetrag von seinem Nutzerkonto abgebucht wird.

Sofern sich der Fahrgast nach den ersten Fahrten noch unsicher ist, ob sein BO tatsächlich richtig erfasst worden ist, so hat er mit seiner Smartphone-App die Möglichkeit unter „Fahrtenhistorie“ einzusehen, ob alles korrekt erfasst wurde. Gleiches gilt für die sich aus der Quell-Zielbeziehung heraus entwickelte Fahrpreisfindung. Diese kann sofort eingesehen werden. Dies wäre mit einer Smartcard so ohne weiteres gar nicht möglich gewesen.

Es bleibt an dieser Stelle zu ergänzen, dass auch Befunde aus der Ingenieurpsychologie und der angewandten Neurophysiologie für den Einsatz eines Smartphone-basierten CIBO sprechen. Bezugnehmend auf das Sprichwort „Der Mensch ist ein Gewohnheitstier“ kann festgestellt werden, dass die menschliche Psyche in wiederkehrenden Situationen sogenanntes habitualisiertes Verhalten präferiert. Bevorzugt wird ein kognitiv wenig belastendes gewohntes Verhalten ausgeführt. Menschen sind gewohnt nach der Bezahlung und vor dem Eintritt in etwas eine Handlung auszuführen, beim ÖPNV oder beim Kinobesuch ist es die Entwertung. Danach gilt als Gewohnheit die Gewissheit, sich nicht mehr um das Ticket kümmern zu müssen. Genau dies gilt auch bei der mit CIBO einhergehenden Verhaltensweise. Umgekehrt ist es schwierig und mit einer großen Fehlerwahrscheinlichkeit behaftet, wenn Habitualisierungen durch neue Verhaltensnotwendigkeiten ge- oder zerstört werden. Dies kann einer der Gründe sein, warum empirisch klar belegt wurde, dass das Check-Out in vielen Feldversuchen und im Regelbetrieb (z.B. in den Niederlanden) so häufig vergessen wird: Das eingeübte Verhaltensrepertoire sieht dieses Verhalten schlicht nicht vor. (Die Situation stellt sich bei einem CICO-System mit Gates anders dar: Der Mensch, der vor einer Sperre oder einer verschlossenen Tür steht, ist gewohnt, handeln zu müssen, um einen geöffneten Zustand herzustellen). Ferner bleibt zu erwähnen, dass das menschliche Gehirn als Inbegriff einer kognitiv-ergonomischen Struktur habitualisierte Verhaltensaufführungen bevorzugt und die damit einhergehenden neuronalen Aktivitäten schneller ausgeführt werden als bei kognitiv aufwändigeren Verhaltensweisen oder gar bei Habitualisierungsstörungen (Check-Out). Dies dürfte sich in einer ausgeprägteren Akzeptanz für das CIBO-System ausdrücken.

Ein ÖPNV-Vertrieb, der sich eines Smartphone-basierten Check-In/Be-Out-Systems (mit leistungsabhängigem Tarif) bedienen kann, ist also zum Wohle der Fahrgäste im Vorteil.

### **Smartphone-basiertes CIBO als Basis für weiteren Kundennutzen**

Künftig soll das Smartphone als Nutzermedium und Geldbörse für elektronisches Fahrgeldmanagement genutzt werden. Mit dieser Verwendung wird die Grundlage für weitere Vorteile für den Fahrgast gelegt. Das Smartphone des Fahrgastes ist ein allgegenwärtig verfügbares Medium der Interaktivität und zwar vor, während und nach der Fahrt. Relevante Informationen zur Ausführung einer außerhäusigen Aktivität als Verkehrszweck können zu jeder Zeit auf dem Smartphone abgerufen bzw. dargestellt werden. Hier scheint für Verkehrsunternehmen bislang die Möglichkeit über Störungen im Beförderungsablauf zu informieren prioritär zu sein. Für den Fahrgast kann es motivierender sein, wenn er – der realen Betriebssituation entsprechend – grundsätzlich bei Fahrtantritt mitgeteilt bekommt, dass die

volle Dienstleistung des Verkehrsunternehmens für ihn zur Verfügung stehen wird. Darüber hinaus ist es der große Vorteil des mitgeführten Smartphones, dass dem Fahrgast darüber sämtliche beförderungsrelevante Informationen mitgeteilt werden können. Andererseits kann der Fahrgast in Zukunft auch eine aktivere Rolle als früher einnehmen und der Leitstelle des Verkehrsunternehmens über Auffälligkeiten während seiner Fahrt berichten. Die Nutzung von Crowd Intelligence, wie sie sich bereits die Hersteller von Navigationssystemen für den motorisierten Individualverkehr zunutze machen, kann hier durchaus in Betracht kommen.

Für die zukünftige Ausgestaltung der Dienstleistungen eines Verkehrsunternehmens gilt die Annahme, dass der Fahrgast zum Mobilitätskonsumenten mutiert und damit wird aus dem Smartphone endgültig ein persönlicher Mobilitätsassistent. Das Smartphone wird zur Basis für die Bereitstellung von ubiquitärer Mobilitätsinformation: Welches Beförderungsmittel steht mir wann, wo und zu welchen Konditionen zur Verfügung? Dient es als Alternative zum ÖPNV oder als den ÖPNV ergänzendes Verkehrsmittel vor und/oder nach der ÖPNV-Nutzung? Mit dem Smartphone können Antworten auf diese Fragen unabhängig von Zeit und Raum, in dem sich der Mobilitätskonsument bewegt, gegeben werden. Das bedeutet, Menschen werden durch eine Anwendung von zukünftigem Service auf ihrem Smartphone begleitet. Damit erleben sie unabhängig von ihrem Anliegen ein Höchstmaß an Komfort. Sie erfahren einen Schutz vor jeglicher Form von Unsicherheit bei der Benutzung des ÖPNV. Im Gegensatz zum Erlernen von Scheitern, wie heute in vielen Fällen bei der Erstinutzung von ÖPNV in einer fremden Umgebung, lernen sie mit Hilfe ihres persönlichen Mobilitätsassistenten, sich selbst darin zu vertrauen, alles richtig gemacht zu haben. Oder ganz konkret: Die informatorischen Voraussetzungen für eine stressfreie Nutzung des ÖPNV sind gegeben. Damit ist eine ultimative Bedingung für einen langen Lebenszyklus der Kundenbeziehung erfüllt. Die Einführung eines Smartphone-basierten Check-In/Be-Out-Systems dient dafür als Grundlage.

Allerdings ist es vor einer CIBO-Einführung in den Regelbetrieb sinnvoll, auf den Erkenntnissen von *big bird* Soest aufbauend, Stationen und Fahrzeuge der DVG als Labor im Feld zu nutzen, um noch offen gebliebene Fragen beantworten zu können. Es gilt zu berücksichtigen, dass *big bird* Soest auf ein bzw. das Verkehrsmittel Bus beschränkt war und nur in oberirdisch verlaufenen Fahrten ohne Tunnel getestet werden konnte. Der Feldversuch *big bird* Duisburg soll die vorliegenden Erkenntnisse durch Nutzung von Stadtbahnfahrzeugen, die ober- wie unterirdisch unterwegs sind und oberirdische Haltestellen wie unterirdische Stationen nutzen, qualitativ vertiefen und quantitativ erweitern.

## 1.2 Projektbeteiligte

Neben dem Kompetenzzentrum Elektronisches Fahrgeldmanagement des Landes NRW (KCEFM) waren folgende Partner am Feldversuch mit ihren jeweiligen Leistungen beteiligt:

Projektpartner	Leistungen
Cubic Transportation Systems (Deutschland) GmbH	Gesamte Hard- und Software des Projektes <ul style="list-style-type: none"><li>- BLE Infrastruktur in den Fahrzeugen</li><li>- Leitstelle für Fahrzeuge</li><li>- BLE Infrastruktur in den Stationen</li><li>- Hintergrundsystem zur Erfassung der Fahrdaten und Abrechnung des leistungsbezogenen Tarifs</li><li>- iOS App / Android App</li></ul>
Duisburger Verkehrsgesellschaft AG	Beistellung von Informationen über die Attribute der auszurüstenden Fahrzeuge. Unterstützung bei der Kommunikation mit den verschiedenen Ansprechpartnern innerhalb der DVG. Begleitung des Projektes und Unterstützung beim Einbau in die Fahrzeuge

*Tabelle 1: Projektbeteiligte und deren Leistungen*

Die Beteiligten bedanken sich an dieser Stelle beim Land Nordrhein-Westfalen für die Förderung des Projektes.

### 1.3 Das Testgebiet

Der Feldversuch wird auf der Strecke der Stadtbahn U79 im Stadtgebiet Duisburg durchgeführt. Auf dieser Strecke sind insgesamt acht Waggons der DVG mit einer für den Feldversuch genutzten Hardware ausgestattet (s. Kap. 4.2). Bei den Wagen handelt es sich um den Typ B80C mit einer Länge von ca. 28 m.

Zusätzlich wurden für eine begrenzte Zeit von der Haltestelle Kesselsberg abfahrende Busse mit einer mobilen OBU versehen. Eine eingebaute Hardware wurde hier nicht eingesetzt, weil aufgrund der geringen Anzahl der ausgestatteten Busse (3) nicht sichergestellt werden konnte, dass diese tatsächlich den Kesselsberg anfahren.

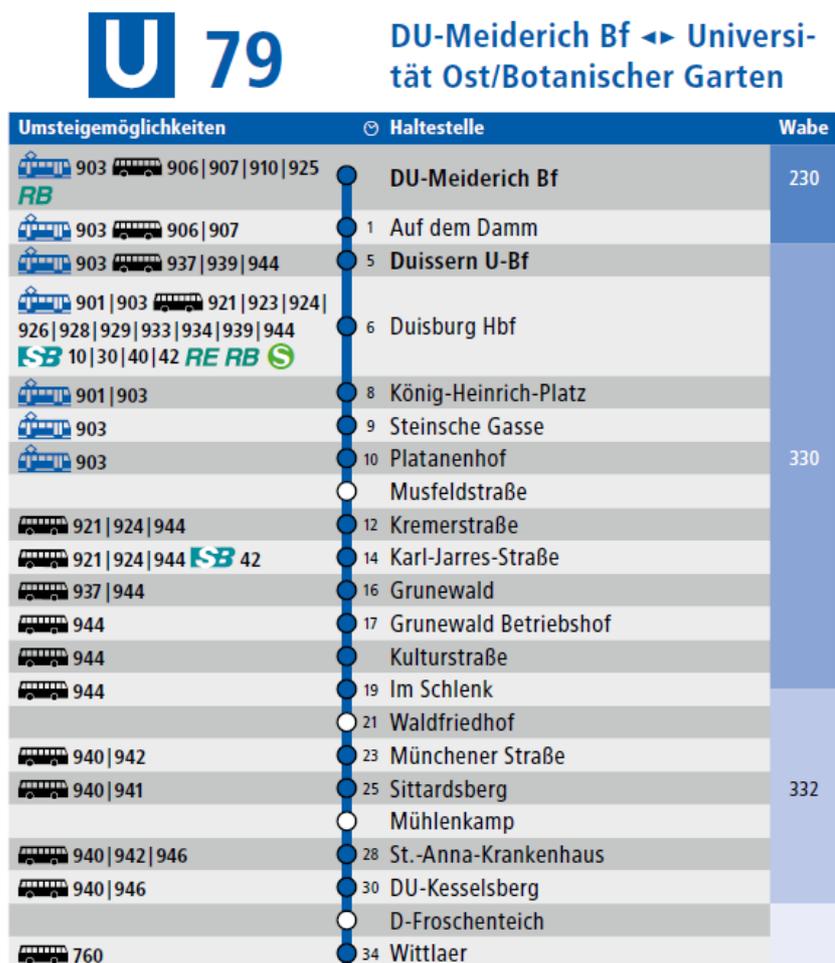


Abbildung 1: Teststrecke

Die unterirdischen Haltestellen Meiderich, Auf dem Damm, Duissern U-Bf, Duisburg Hbf, König-Heinrich-Platz und Steinsche Gasse sind zusätzlich mit sogenannten stationären Beacons ausgestattet (s. Kap. 3.3). Diese Beacons senden eine ID der entsprechenden Station aus und erlauben es der einfahrenden Bahn, auch im Tunnel die erforderliche Lokalisierung vorzunehmen.

Die oberirdische Haltestelle Platanenhof wurde ebenfalls mit einem stationären Beacon versehen<sup>1</sup> (siehe auch Kap. 4.3).

## 1.4 Übersicht der verwendeten Komponenten

Komponente	Beschreibung
On-Board Unit	In den Fahrzeugen sind autarke Kleinstrechner installiert, die über eine Mobilfunkverbindung, GPS und einen BLE-Transmitter verfügen. Die installierte Software analysiert die Position und leitet autark die BLE-Signale ab.  Für eine Beschreibung der OBU s. Kap. 3.2.
Managementsystem für On-Board Units	Die OBU werden durch ein zentrales Managementsystem mit Daten versorgt und entsorgen ihre Daten (z.B. Position, Check-Ins oder Anwesenheiten) ebenfalls dorthin.
Backend <ul style="list-style-type: none"><li>- DL-System (Fahrtenkonstruktion)</li><li>- KVPS-System</li><li>- PV Tarifrerkern</li></ul>	Das cloudbasierte Hintergrundsystem zur Verwaltung der Anmeldungen und Fahrten ist in Kap. 0 erläutert.
CIBO-App	Die CIBO-App ist die zentrale Kundenschnittstelle. Die App wird in Kap. 0 beschrieben.

*Tabelle 2: Verwendete Komponenten*

<sup>1</sup> Dieses wurde inzwischen gestohlen. Diese Ausstattung ist aber aufgrund der Verbesserung des GPS-Signals der OBU auch nicht mehr zwingend erforderlich gewesen.

## 2 Das Verfahren

Im folgenden Kapitel wird das im Rahmen des Projektes *big bird Duisburg* genutzte Verfahren dargestellt. Dabei werden auch die im Projektverlauf nicht weiter verfolgten Elemente und Bestandteile des Verfahrens erläutert. Zunächst wird das Online-Verfahren dargestellt, mit dem die Datenübertragung vom Mobiltelefon zum Hintergrundsystem mit Hilfe des Mobilfunknetzes erfolgt. Im darauf folgenden Kapitel wird das Offline-Verfahren erläutert, bei dem das Mobiltelefon auch in der Rückrichtung via BLE mit der OBU kommuniziert. Abschließend werden die Umschaltunkte beschrieben.

### 2.1 Online-Verfahren

Bei dem Online-Verfahren handelt es sich grundsätzlich um das aus dem Feldversuch in Soest bereits bekannte Verfahren. Der Informationstransfer zwischen OnBoard-Unit (OBU), Nutzermedium (CIBO-App auf dem Smartphone des Fahrgastes) und Hintergrundsystem ist wie folgt strukturiert:

1. Die OBU im Fahrzeug ermittelt in regelmäßigen Zeitintervallen die aktuelle Position des Fahrzeuges auf der befahrenen Route. Die Positionsbestimmung des Fahrzeugs erfolgt über die gemessene GPS-Position (s. Kap 4.3), welche auf eine entsprechende Station der Route abgebildet wird. Bei unterirdischen Streckenabschnitten erfolgt die Positionsbestimmung durch den Empfang eines 'Stations-Beacon'-Signals. Dieses Signal wird in den unterirdischen Haltestellen durch installierte Beacons ausgesandt. Hieraus lässt sich die aktuelle Station der befahrenen Route für das Fahrzeug ableiten.
2. Diese Information „Station“ wird in Form eines BLE-iBeacon-Datenpaketes versendet (Advertising-Modus), wobei die Felder 'Major' und 'Minor' genutzt werden. Diese iBeacon-Pakete werden vom Nutzermedium eines sich in der Bahn befindlichen Fahrgastes mittels der CIBO-App empfangen. Ein aktiver Verbindungsaufbau zwischen OnBoard-Unit und Nutzermedium ist nicht erforderlich. Die CIBO-App des Nutzermediums reagiert dabei nur auf iBeacon-Pakete mit einer bestimmten ID (UUID), mit der die OBU die Datenpakete 'markiert'.
3. Die App wandelt das empfangene Datenpaket im Nahbereich einer Station unter Zuhilfenahme von Daten des Fahrplanes in eine aktuelle Anzeige um.
4. Der Fahrgast beginnt durch manuelles 'Check-In' in der CIBO-App die Fahrt - in der Regel beim Einsteigen in das Fahrzeug. Der Einstieg wird zusammen mit einer eindeutigen ID des Nutzermediums an das Hintergrundsystem via Mobilfunknetz übertragen.
5. Im Fahrzeug überwacht das Mobiltelefon weiterhin die Anwesenheit des BLE-Beacons. Beim Einfahren in eine neue Station der aktuellen Linie wird eine 'Nutzermediumsmeldung' ausgelöst ('presence recording'). Diese wird über das Mobilfunknetz an das Hintergrundsystem übertragen und dort als Streckenabschnitt zur nachgelagerten Preisberechnung des Nutzers gespeichert.
6. Verlässt der Fahrgast das Fahrzeug, so registriert die CIBO-App nach einer justierbaren Zeit von beispielsweise 15 Sekunden das Fehlen eines BLE-Signals. Das auf diese Weise festgestellte Ende der Fahrt wird an das Hintergrundsystem übertragen.

7. Basierend auf den so protokollierten Streckenabschnitten zwischen dem Ort des CI und dem Ort des BO findet im Hintergrundsystem abschließend die Preisberechnung statt.

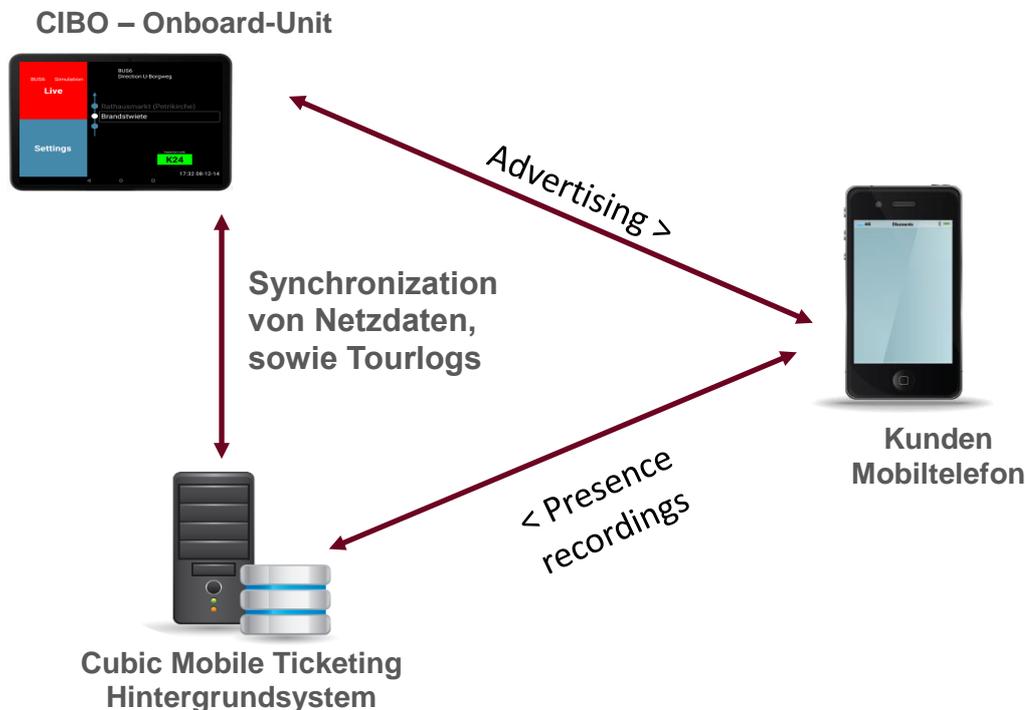


Abbildung 2: Informationstransfer

Weitere Projekte, die ebenfalls ähnliche Ansätze verfolgen, waren das eSIM-Projekt sowie das derzeit laufende Projekt EILO.

Das Online-Verfahren stellt eine mittlere bis hohe Anforderung an die Verfügbarkeit des Mobilfunknetzes. Diese kann beispielsweise im unterirdischen Bereich stark eingeschränkt sein. Auf der Teststrecke der U79 ist im Tunnel die notwendige Verfügbarkeit gegeben gewesen.

## 2.2 Offline-Verfahren

Im 'Offline'-Modus erfolgt der Informationstransfer zwischen OBU des Fahrzeugs, Nutzermedium (CIBO-App auf dem Handy des Fahrgastes) und dem Hintergrundsystem. Neben den in Kap. 2.1 beschriebenen erfolgen bei diesem Verfahren weitere Schritte wie folgt:

1. Die Information über die augenblickliche Routenposition wird in Form eines eigens hierfür definierten BLE-Datenpaketes versandt (Advertising-Modus) und vom Nutzermedium eines in der Bahn fahrenden Passagiers mittels der CIBO-App empfangen.
2. Die App des Nutzermediums wandelt das empfangene Datenpaket unter Zuhilfenahme von Tourdaten (bezogen vom Hintergrundsystem) in eine aktuelle Stationsanzeige um.
3. Der Fahrgast beginnt eine Fahrt durch manuelles Check-In in der CIBO-App auch beim Offline-Verfahren, und zwar in der Regel beim Einsteigen in das Fahrzeug. Beim Check-In wird eine BLE-Verbindung zwischen der App und der OBU hergestellt. Über diese

Verbindung werden die für den Check-In relevanten Daten des Nutzers (ID, Station, etc.) an die OBU des Fahrzeugs übermittelt. Im Unterschied zum Online-Verfahren sammelt die OBU auf diese Weise die verschiedenen Check-Ins der Fahrgäste und leitet sie in gesammelter Form über das Mobilfunknetz an das Hintergrundsystem weiter. Eine Verbindung des Nutzermediums zum Mobilfunknetz ist bei diesem Ansatz nicht erforderlich. Beim aktuellen Stand der Bluetooth-Technologie ist momentan nur eine Verbindung pro Zeiteinheit möglich (Nutzer-App <-> OnBoard-Unit). Der Datenaustausch eines verschlüsselten Daten-Pakets benötigt ca. 200-300 ms (Android) und 500-750 ms (iOS). Zukünftige Bluetooth-Protokolle und Versionen (ab 5.0) unterstützen mehrere parallele Verbindungen.

4. Beim Einfahren in eine neue Station auf der aktuellen Route wird eine 'Nutzermediumsmeldung' ausgelöst ('presence recording'). Diese wird - analog zum initialen Check-In - über eine BLE-Verbindung von der CIBO-App an die OBU übertragen und dort gesammelt an das Hintergrundsystem übermittelt.
5. Verlässt der Nutzer die Bahn, so registriert die CIBO-App nach einer (justierbaren) Zeit von beispielsweise 15 Sekunden das Fehlen eines BLE-Signals. Im Hintergrundsystem manifestiert sich das Fahrtende durch die zuletzt registrierte Anwesenheitsmeldung ('presence recording').
6. Basierend auf den nachgewiesenen Streckenabschnitten des Fahrgastes wird ein Preis berechnet.

Im Lauf des Projektes wurde das Offline-Verfahren zunächst dahingehend abgeändert, dass es nur im Fall einer nicht vorhandenen Datenkommunikation zum Einsatz kam. Wir gehen jedoch inzwischen davon aus, dass das Offline-Verfahren aufgrund der für die bidirektionale Kommunikation notwendigen Bandbreite erst mit BT 5.0 für realistische Nutzerzahlen anwendbar wird.

## 2.3 Umschaltpunkte

Es war immer Ziel des Projektes, keine Integration mit dem physikalischen IBIS-Bus der Bahnen/Busse herstellen zu müssen, denn der mit einer derartigen Integration zusammenhängende Aufwand wäre erheblich gewesen. Die Verbreitung von IBIS-IP wird hier sicherlich aufgrund des wesentlich moderneren Protokolls für andere Entscheidungsgrundlagen sorgen.

Das Ziel war die Nutzung von autarken OBU, die sich auf Basis von GPS oder anderen Lokalisierungstechnologien eigenständig die erforderlichen Informationen erschließen. Da GPS-Daten nur bis zu einem gewissen Grad genau sein können, wurde der folgende Ansatz gewählt (s. Abbildung unten):

- Wenn sich ein Fahrzeug der Haltestelle (A) nähert, dann wird im Beacon-Signal eine „Near station (A)“ gesendet.
- Wenn sich das Fahrzeug von der Haltestelle (A) entfernt, wird nach einer bestimmten Distanz (ca.  $r_1 = 90\text{m}$  bis  $150\text{m}$ ) der Status *Far* gesendet, bis die nächste Station (B) in der Nähe ist.

- Ein Rückschalten auf Station (A) (z.B. weil aufgrund von Fluktuation der Ortungsbestimmung der zufällige Abstand wieder näher an der Haltestelle (A) ist) findet nur statt, wenn ein Radius  $r_2 < r_1$  im Abstand unterschritten wird.
- Die Umschaltunkte führen dazu, dass im Signal die Bereiche *Near/Far* gesandt werden, aber keine konkreten Abstände zu den Haltestellen oder die konkrete Information „Sie sind in (A)“.

Dieses Verfahren ist sowohl im Hinblick auf ggf. unsichere oder verrauschte GPS-Daten als auch bei ungenauen Haltestellenzuordnungen hinreichend robust.

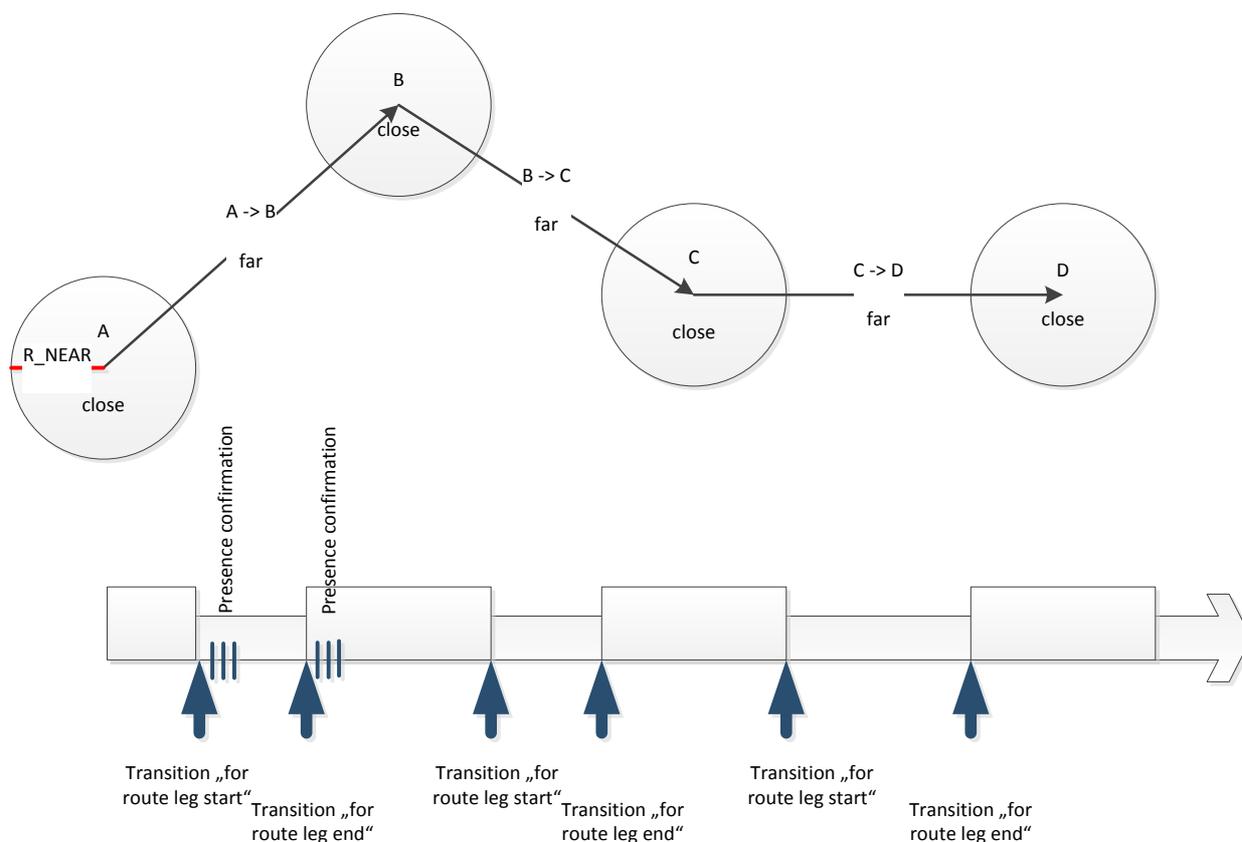


Abbildung 3: Umschaltpunkte

Die Status NEAR und FAR haben eine direkte Auswirkung auf die Anzeige und das Verhalten der CIBO-App.

Status	Definition	Anzeige
NEAR	Einchecken möglich	Aktuelle Haltestelle
FAR	Kein Einchecken möglich	Nächste Haltestelle

---

*Tabelle 3: NEAR und FAR Definition*

Bei den beiden Statusübergängen von Near → Far sowie Far → Near werden die sogenannten Anwesenheitsmeldungen generiert, diese werden zur Fahrtenplausibilisierung an das Hintergrundsystem gesandt.

### 3 Die Technik des Feldversuches

Das folgende Schaubild gibt einen Überblick über das CIBO-Gesamtsystem. Auf die einzelnen Komponenten wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

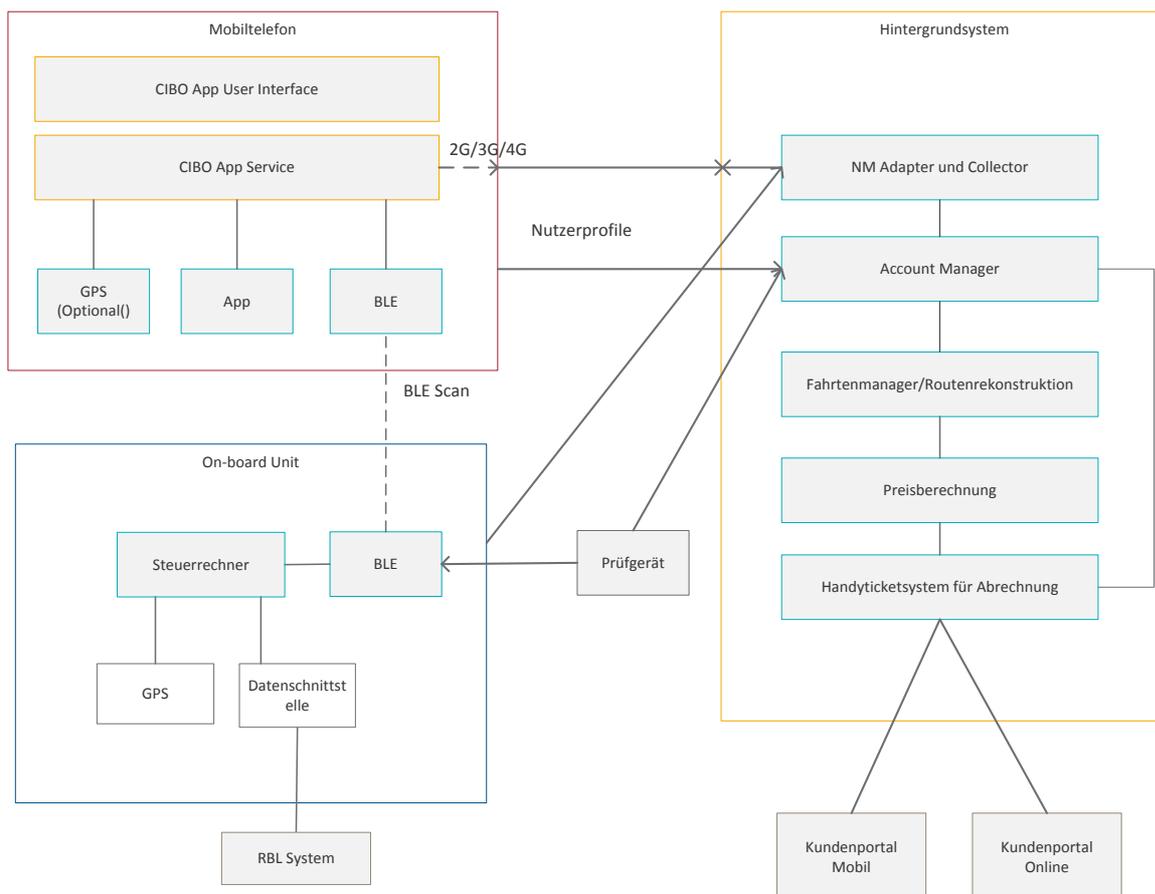


Abbildung 4: CIBO-Gesamtsystem

#### 3.1 Hintergrundsystem

Das Hintergrundsystem (Backend) des Feldversuches ist auf der rechten Seite der oben angeführten Abbildung dargestellt. Auf die einzelnen Komponenten des Hintergrundsystems wird nachstehend eingegangen.

##### Nutzermedium-(NM-) Adapter

Der Nutzermedium-Adapter nimmt die von den Mobiltelefonen entweder direkt oder über die OBU übermittelten Datensätze auf (zu den beiden Varianten s. Kap. 2) und leitet diese weiter zum Fahrtenmanager.

##### Fahrtenmanager/Routenkonstruktion

Der Fahrtenmanager sammelt nach einem Check-In alle Ereignisse des Nutzermediums. Im Idealfall sind dies ein dediziertes Check-In-Ereignis (CI), periodische Anwesenheitsmeldungen und ein dediziertes Check-Out oder Be-Out-Ereignis (CO/BO=X0). Anschließend wird anhand der CI-/BO-Daten die tariflich relevante Relation ermittelt und diese mit den übrigen erhaltenen Daten (im Wesentlichen den Anwesenheitsmeldungen) plausibilisiert. Im Fall eines hohen „Confidence-Levels“ ist damit die Fahrtenbildung abgeschlossen und ein entsprechender Datensatz wird dem Nutzermedium im Hintergrundsystem zugeordnet. Im Fahrtenmanager sind auch die Prozesse lokalisiert, die aktuell nicht beendete Fahrten untersuchen und nach bestimmten Kriterien automatische Check-Outs erzeugen.

### **Preisberechnung**

Die Fahrtenbildung im Hintergrundsystem liefert eine Abfolge von Fahrtabschnitten und Haltestellen, die mit einer Fahrt assoziiert sind. Anhand dieser Daten wird der Preis ermittelt, wobei unterschiedliche Tarifmodelle möglich sind. Für den Feldversuch wurden Parameter eines potenziellen leistungsbasierten Tarifes des VRR genutzt.

Standardmäßig berücksichtigt das Cubic-System die folgenden Tarifmodelle:

- Leistungsbierte Tarife mit realen oder tariflichen Kilometern;
- Zonen- oder wabenbasierte Tarife;
- Diverse Rabattregeln (Tages-, Wochen-, Monatszusammenfassungen).

### **Abrechnung und Kundenservice**

Für die Abrechnung und den Kundenservice wird das Mobile-Ticketing-System von Cubic genutzt. Es übernimmt die Rechnungserstellung und Zahlungsverfolgung der Verkäufe. Zusätzlich bietet es über diverse Schnittstellen Zugriffsfunktionen auf diese Daten an, so dass Endkunden (über Portale) und Support-Mitarbeiter (via CRM) diese Daten einsehen und in definierter Weise ändern können. Für den Feldversuch wurde die Zahlungsverfolgung deaktiviert und es wurden lediglich Platzhalter für Kontonummern verwendet.

### **Schnittstelle zur Kontrolle der Fahrtberechtigung**

Der CIBO-Fahrtenmanager hat eine Webserviceschnittstelle, die anhand einer Nutzermedium-ID und einer Fahrt-ID (ermittelt z.B. durch das Scannen eines Barcodes) die letzten im System für diese Fahrt und dieses Nutzermedium registrierten Ereignisse zurücksendet. So kann bestimmt werden, ob ein Kunde berechtigt ist am Verfahren teilzunehmen und ob der Kunde sich ordnungsgemäß eingeecheckt hat.

## **3.2 OnBoard-Units**

Die Hardware in den Fahrzeugen, also die sogenannten OBU, müssen eine Reihe von Funktionen erfüllen:

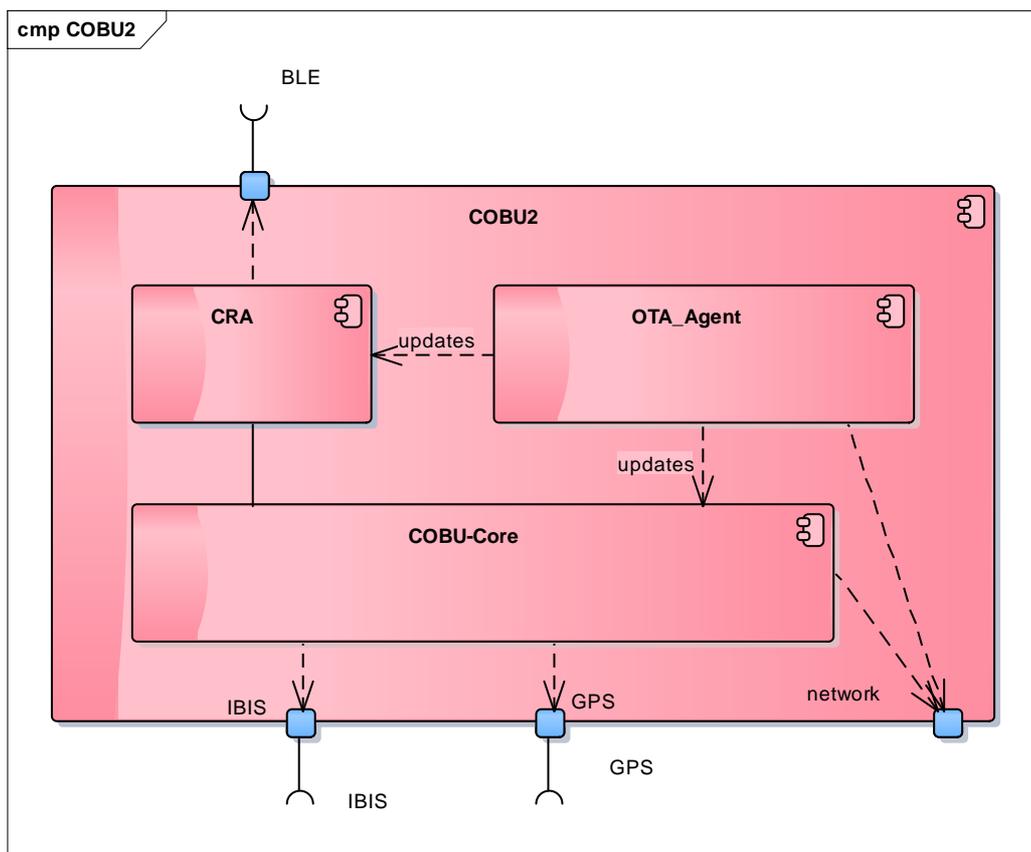
- Verbindung zum Hintergrundsystem über das mobile Datennetz (Empfehlung: In einem produktiven Einsatz sollte hier das Bordnetz des Fahrzeuges mitbenutzt werden);
- GPS-Empfang zur Positionsbestimmung;

- Scannen und Empfang der stationären Beacons in den Stationen zur Ergänzung der Positionsbestimmung im Tunnel;
- Senden der BLE-Signale sowie Verarbeitung von Verbindungsanfragen im Offline-Verfahren.

Diese Hardwarefunktionalitäten werden von der plattformunabhängigen Software der OBU genutzt. Für jede der genannten Hardwarefunktionen existierte eine Abstraktionsschicht, so dass diese Software auf diversen Betriebssystemen einsetzbar ist<sup>2</sup>. Im Feldversuch kam ein embedded Linux zum Einsatz.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Softwarekomponenten im Überblick. Neben der zentralen Komponente CIBO-Core gibt es den CRA, der für das Senden der Beacons verantwortlich ist, sowie das OTA-Module, das die Fernwartung über das Mobilfunknetz realisiert. Alle Komponenten wurden im Rahmen des Feldversuches speziell entwickelt. Der IBIS-Konnektor wurde nicht realisiert.

Durch das Ablösen des CRA von der Hauptfunktionalität kann die BLE-Sendeleistung auf verschiedene „Satelliten“ verteilt werden, dies ist ein alternativer Ansatz zum Device-Chaining (Kap. 4.4).



<sup>2</sup> Gegenwärtig Betriebssysteme von Linux, Windows 7&10 sowie Android

### Abbildung 5: COBU Module

Über die **Datenverbindung** werden die Konfigurationsdaten gelesen. Diese sind im Wesentlichen Informationen zum Streckenverlauf und den Kursen.

In die andere Richtung werden die Statusdaten des Fahrzeuges an das Hintergrundsystem übertragen, diese sind:

- Ermittelte Position des Fahrzeuges;
- Ausgesandte BLE-Signale inklusive der aus der Position abgeleiteten Kurse, sowie letzte und nächste Haltestelle;
- Aktuell eingecheckte Nutzermedien (bei Check-In über die bidirektionale Kommunikation).

Die Ermittlung der **Position** erfolgt mittels eines NMEA-kompatiblen GPS-Sensors. Da im Tunnel kein GPS verfügbar ist, werden die Felder der dort verbauten stationären Beacons genutzt. Hierzu scannt ein Sensor laufend die Umgebung (insgesamt sind 3 BLE-Sensoren verbaut). Die Stationsbeacons enthalten die Haltestellennummern und werden über GTFS-Daten des VRR auf Positionen gemapped. Im Projektverlauf wurde auch mit WIFI-Barken experimentiert, jedoch dann auf die beschriebene Lösung umgeschwenkt, weil die Installation der WIFI-Barken zu aufwändig erschien und deren Nutzung keinerlei Vorteil brachte.

In der OBU wird der **Kurs** zugeordnet. Hierzu wird folgender Algorithmus angewandt, der hier in verkürzter Form dargestellt wird:

- Falls die augenblickliche Position nicht zur erwarteten Position (anhand eines eingestellten Kurses) passt oder noch keine Zuordnung existiert, wird der Fangmodus aktiviert.
- Im Fangmodus wird die Gesamtmenge von möglichen Kursen (auch Fahrten, erhalten vom Hintergrundsystem) analysiert und auf die Menge der mit der augenblicklichen Position verträglichen reduziert (Suchkorridor).
- Der Suchkorridor wird nun mit jeder wesentlichen Änderung, das sind Stationseinfahrten und –ausfahrten, wieder überprüft und ggf. eingeschränkt.
- Wenn nur ein Treffer existiert, ist der neue Kurs bestimmt.

Da im Feldversuch auch Demofahrten geplant waren/sind, kann der Algorithmus nicht die zeitliche Komponente des Soll-Fahrplanes einbeziehen. Dies führt dazu, dass zu Beginn einer Fahrt ein kurzes „Einschwingen“ erforderlich ist. Falls die Bahn beispielsweise ab dem Betriebshof Grunewald losfährt, weiß der Algorithmus bis zur nächsten Haltestelle nicht, um welche Linienführung es sich handelt. Des Weiteren ist der exakte Kurs unter diesen Bedingungen prinzipiell nicht zu bestimmen, da die Kurse sich teilweise nur in den Zielbahnhöfen unterscheiden. Im Feldversuch wurde der zweite Aspekt dadurch umgangen, dass nur „verkürzte“ Kurse zwischen Bf. Meidrich und Kesselsberg vorausgewählt wurden.

Die **BLE-Beacon-Signale** werden über ein BLE-Nano vom Hersteller Readbear (s. Abbildung) ausgesandt. Das Gerät steckt im USB-Port der OBU. Es ist von CTS mit einer Software programmiert worden, die über den USB-Port gesandte Informationen direkt in BLE-Signale umsetzt.



Abbildung 6: BLE-Nano

Das BLE-Nano ist mit einem Nordic SOC (System On a Chip) vom Typ nRF51822 SoC ausgestattet<sup>3</sup>.

### 3.3 BLE-Beacons an den Haltestellen (Stationäre Beacons)

Die Tunnelstationen Meiderich bis Steinsche Gasse sind mit jeweils zwei sogenannten Stations-Beacons ausgestattet. Diese wurden in der Regel auf den Wagenstandsanzeigern untergebracht (ein Beacon pro Fahrtrichtung). Ein Stations-Beacon ist weiter unten gezeigt.

Die Beacons senden BLE-Datenpakete im iBeacon-Format mit einer zuvor festgelegten Identifizierung (UUID) aus. Auf diese UUID filtert die OBU einer einfahrenden Bahn und extrahiert aus dem Paket die eindeutige Identifikation der jeweiligen Station. Hieraus kann die OBU auch im Tunnelbereich (ohne GPS-Empfang) ihre Haltestellen-Position ermitteln und an das Nutzermedium weiterleiten. Dies erfolgt ebenfalls über BLE.

Die Stationen Meiderich bis Steinsche Gasse wurden im Jahr 2016 sukzessive mit Stations-Beacons ausgestattet. Die Beacons werden durch zwei 1,5V-Batterien betrieben. Es hat sich herausgestellt, dass die Sendeleistung der zuerst installierten Beacons innerhalb des ersten Jahres noch nicht wesentlich abgenommen hat. Aus diesem Grund kann von einem mehrjährigen Betrieb ausgegangen werden, bevor ein Batteriewechsel erforderlich wird. Alternativ besteht die Möglichkeit einer externen Spannungsversorgung (z.B. aus der Wagenstandsanzeige der entsprechenden Station). Hierfür ist eine microUSB-Verbindung vorgesehen.

Der Hersteller gibt bei der Nutzung qualifizierter Batterien eine Mindestlaufzeit von zwei Jahren an (bei Nutzung bestimmter Advertising-Parameter).

---

<sup>3</sup> Siehe <http://redbearlab.com/blenano/>



*Abbildung 7: Stations-Beacon*

### 3.4 CIBO-App

Die CiBo-App wurde für die Betriebssysteme iOS und Android umgesetzt und basiert auf einer Crossplatform-Entwicklung für Benutzeroberfläche, Ortungsfunktion sowie einfache Ticketing- und Auskunftsfunktionalität.

Die einzelnen Funktionen umfassen insbesondere.

- Anmeldung;
- CIBO Einstieg und „On Tour“ Anzeige;
- Fahrtenhistorie;
- optional eine Verbindung mit der Fahrplanauskunftssystem des VRR.

Die eigentliche CIBO-Funktionalität wurde in ein eigenständiges Subsystem (Bibliothek unter Android, statische Library unter iOS) ausgelagert, um die Integration in andere Anwendungen zu ermöglichen.

Die folgenden Shreenshoots geben nur einen kleinen Eindruck der App. Die App kann von Projektbeteiligten heruntergeladen und installiert werden.

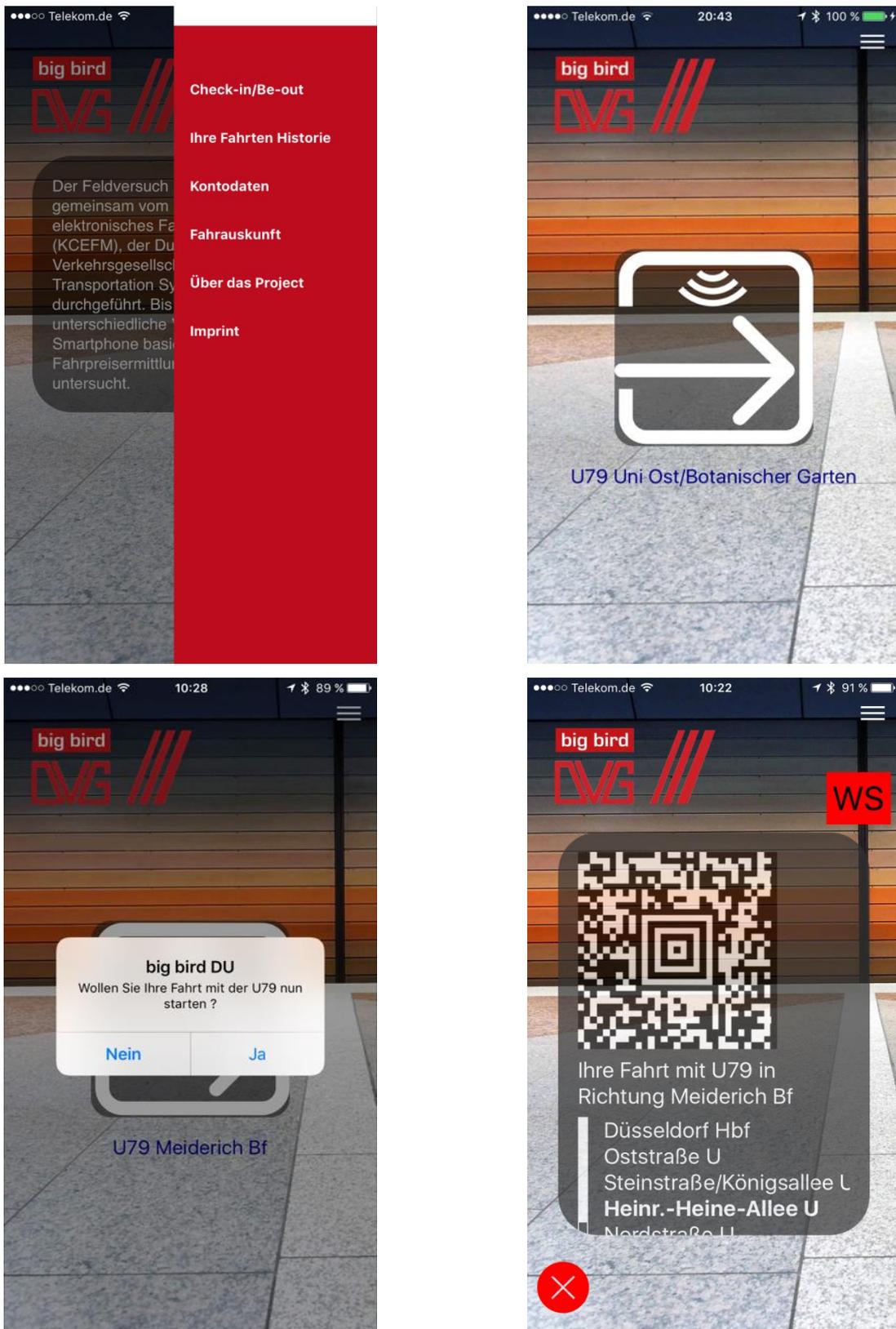


Abbildung 8: Screenshots der Cibo-App

## 4 Herausforderungen

Im Rahmen des Feldversuchs hat sich eine Reihe von Herausforderungen ergeben, die in diesem Kapitel dargestellt werden sollen.

### 4.1 Die Nutzermediums App im Hintegrund

Während bei Android-Betriebssystemen die CIBO-App jedes aufgefangene Advertising-Paket erhält und verarbeiten kann, ist die Funktionalität bei iOS-Betriebssystemen stark gekapselt und eingeschränkt. Die Einschränkungen gelten insbesondere für die Nutzung der CIBO-App im Hintergrund.

Um den Energieverbrauch von iOS-Apps im Hintergrund zu beschränken, können nur bestimmte zugelassene Ereignisse die App zum Prozessieren von Daten aktivieren, einige davon sind:

- Audio events, Voice over IP;
- Ortungs-Updates (Positioning Framework (GPS/WIFI) oder BLE - Monitoring);
- Timer-Ereignisse mit einem zugeteilten Kontingent von einigen Sekunden Gesamtverarbeitungszeit;
- Push-Nachrichten.

Im Rahmen des Projektes wurden die Ansätze untersucht und im Hinblick auf Verlässlichkeit sowie den Apple Guidelines für die Zulassung von Apps bewertet. Die Wahl fiel auf das sogenannte UUID-Cycling. Beim UUID-Cycling registriert sich die App auf eine Reihe von iBeacon-UUIDs. Beim Erscheinen und Verschwinden dieser UUIDs wird die App kurz aufgeweckt und kann für wenige Sekunden nach Beacon-Signalen scannen. Die Frequenz, mit der dieses Rollieren der UUIDs durchgeführt werden kann, ist zeitlich nach unten begrenzt, weil Änderungen im Bereich „< 1 Minuten“ ggf. nicht als Änderungen erkannt und daher vom Mobiltelefon ignoriert werden.

Die OBU im Feldversuch rollieren zwischen drei UUID, der Wechsel findet jeweils bei Änderung einer relevanten Information statt, also beispielsweise dem Übergang von NEAR → FAR.

Aufgrund der Limitierung von iOS ergeben sich also folgende Aspekte:

1. Für das Beacon-Signal muss zwingend das sogenannte Apple iBeacon Format genutzt werden, was den nutzbaren Payload auf vier bytes einschränkt<sup>4</sup>. Andere Formate – entweder das Eddystone-Format oder aber das allgemeine BLE-Format für Device – können nicht genutzt werden, weil nur das CoreLocations Framework im Hintergrund arbeitet.
2. Aufgrund des zeitlichen Verhaltens im Hintergrund ist kein vollkommen deterministisches Zeitverhalten zu erwarten. Beispielsweise kann ein Be-Out nur 10 Sekunden betragen, aber auch bis zu einer Minute im Hintergrund dauern.

---

<sup>4</sup> Fünf bytes sind als Payload möglich gewesen, wenn das für den nominalen RSS-Wert genutzte Byte verwendet und damit zweckentfremdet werden soll.

- Anwesenheitsmeldungen können eventuell ausbleiben, weil aufgrund besonders rechenintensiver Prozesse auf dem Mobiltelefon BLE-Ereignisse nicht verarbeitet werden. Das Hintergrundsystem muss in diesem Fall die Fahrtenkette interpolieren.

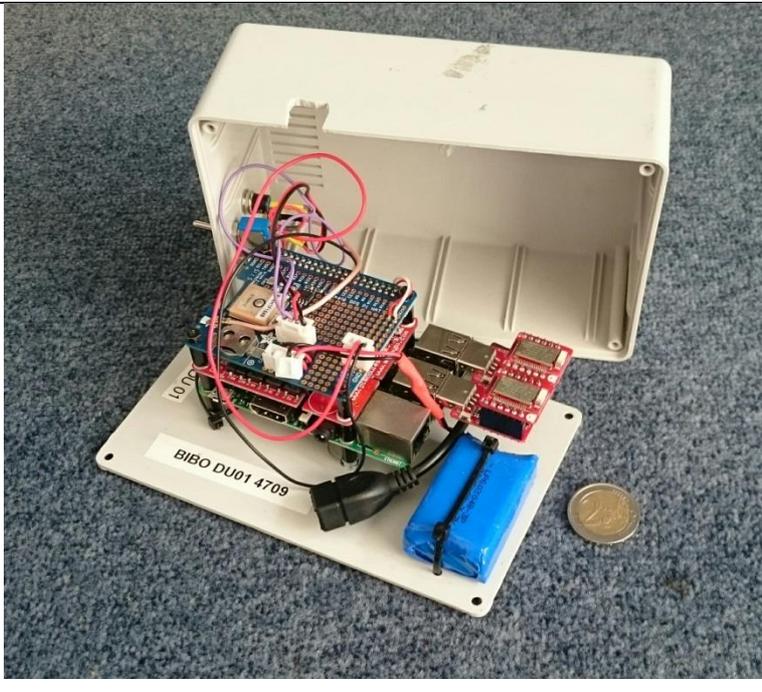
## 4.2 Hardware

Zunächst wurden im Frühjahr 2016 vier Bahnen mit einer OBU ausgerüstet. Im Herbst 2016 wurden drei weitere Bahnen mit OBU ausgestattet.

Die Erstinstallation wurde mit einem Raspberry Pi 3 als OBU realisiert. Der GPS-Empfang wurde über ein GPS-Receiver-Board mit externer GPS-Antenne realisiert. Zur Kommunikation über das mobile Datennetz wurde ein Huawei UMTS-Adapter mit SIM-Karte verwendet, der über die USB-Schnittstelle an den Raspberry Pi angebunden wird. Ein ebenfalls über USB eingebundenes BLE-Device wurde zum Scannen nach Stations-Beacons eingebunden. Zwei weitere BLE-Nano-Devices dienen zur Kommunikation mit der App des Nutzermediums - je ein BLE-Device pro Operations-Modus ('offline'/'online', s. Kap. 2). Die Firmware der beiden BLE-Devices wurde von Cubic entwickelt.

Im Dauerbetrieb stellte sich heraus, dass die angeschlossenen externen Devices (BLE und UMTS) den Stromverbrauch der USB-Schnittstelle des Raspberry Pi zum Teil über die Spezifikationen hinaus belastete. Dies führte teilweise zu unvorhersehbarem Verhalten, wie beispielsweise dem Reboot der OBU bei Stromspitzen oder dem Versagen des UMTS-Sticks (mobile Datenverbindung) bei nicht genau eingestellter externer Spannung.

Diese Schwierigkeiten konnten durch eine Nachrüstung einer externen Spannungsversorgung des USB-Busses gemindert, aber nicht vollkommen beseitigt werden.

	
<p>Spannungsregulator Phoenix Contact 24DC/1-15DC (grün) zur Versorgung der Onboard-Unit</p>	<p>Die Onboard-Unit der ersten Revision (Raspberry Pi 3) in einem weißen Schutzgehäuse.</p>

*Abbildung 9: Onboard-Unit und Spannungsregulator*

Aufgrund der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten wurde eine zweite Revision/Installation von insgesamt acht Bahnen durchgeführt (dabei handelt es sich zum Teil um den Austausch von Geräten der ersten Generation und zum Teil um Neuinstallationen). Es wurde eine neue Hardware als OnBoard-Unit eingesetzt (Reliagate 1011 Mikrocomputer, Eurotech). Die neue Hardware wird auf den nachfolgenden Abbildungen gezeigt.



*Abbildung 10: Hardware der Revision 2*

Auf der (zuvor gezeigten) Hardware läuft ein embedded Linux-Betriebssystem. Diese Hardware beinhaltet sowohl einen integrierten GPS-Empfänger als auch ein integriertes UMTS-Modem zur mobilen Datenkommunikation – jeweils mit externen Antennen. Die Kommunikation zwischen OBU und der App des Nutzermediums erfolgt unverändert über die BLE-Nano-Devices.

Wie gewünscht stellte sich schnell heraus, dass Hardware der Revision2 im Dauerbetrieb deutlich stabiler läuft als die Realisierung mittels Raspberry Pi.

Weitere Herausforderungen zeigten sich im Dauerbetrieb und traten unabhängig von der verwendeten Hardware auf:

- Moderater bis schlechter GPS-Empfang (siehe nächstes Kapitel)
- Zum Teil schlechter UMTS-Empfang in einigen Tunnelabschnitten und damit eine eingeschränkte Kommunikation zwischen OBU und Hintergrundsystem).

### 4.3 GPS

Die Positionsbestimmung des Fahrzeugs zur Feststellung des aktuellen Streckenabschnitts geschieht mittels eines GPS-Empfängers: Die gemessene GPS-Position wird mit den GPS-Koordinaten der Haltestellen auf der aktuellen Route verglichen und so die aktuelle Position zwischen zwei Haltestellen ermittelt. Zusätzlich wird ein Streckenabschnitt in die Bereiche 'NEAR' (Abstand zur Station geringer als ein festzulegender Mindestabstand, z.B. 150m) und 'FAR' eingeteilt.

Eine besondere Herausforderung der GPS-Positionsbestimmung liegt im schnellen Wiederfinden des GPS-Signals nach einem längeren Tunnelaufenthalt der Bahn – beispielsweise nach der Strecke Meiderich bis Steinsche Gasse. Nach dem Verlassen des Tunnels stehen nur ungefähr zehn Sekunden Zeit zur Verfügung, um die Haltestelle 'Platanenhof' noch vor dem Einfahren in die Station zu registrieren. Ein sehr guter GPS-Empfang ist hierfür unabdingbar.

Bei der ursprünglichen Installation der OBU wurde die GPS-Antenne zunächst innerhalb des Elektronik-Kastens über dem Fahrersitz installiert, d.h. in der Nähe der OBU selbst.

Der GPS-Empfang war moderat – mit einer durchschnittlichen Sicht von drei bis vier Satelliten (drei Satelliten sind die Mindestanforderung für eine Positionsbestimmung).

Durch eine aufwändigere Verlegung der Antennen in den Bereich der Frontanzeige konnte die GPS-Empfangsqualität erheblich verbessert werden (im Mittel sieben bis acht Satelliten). Somit ergaben sich eine entsprechend höhere Positionsgenauigkeit sowie ein schnelleres 'Wiederfinden' des GPS-Signals. Die bessere Positionsqualität ist in der untenstehenden Darstellung illustriert.



Abbildung 11: Positionsgenauigkeit vor und nach Verlegung der GPS-Antenne

#### 4.4 Vollbesetzte Bahn

Die in Duisburg eingesetzten Beacons mit dem Chipsatz Nordic 51822 haben eine nominale Sendeleistung von +4dbm. Aufgrund der Position in der Front bzw. dem Heck des Wagens und der dämpfenden Verkleidung, hinter der sich der Sender befindet, wird die Leistung im Fahrgastbereich mit zunehmendem Abstand vom Sender gedämpft. Die Form des Wagens und dessen metallische Ummantelung wirken bündelnd für das Feld, so dass der Abfall der RSSI-Sendeleistung nicht ganz so stark abnimmt, wie dies im „freien Feld“ der Fall wäre ( $1/r^2$ ).

Bei einem durchschnittlich besetzten Wagen (ca. jeder 3. Platz besetzt, einige Personen stehen) ist die empfangene RSSI im gegenüberliegenden Ende des Wagens noch im Bereich von -99 dBm und noch ausreichend für einen Empfang durch das Mobiltelefon. Die Empfangsstärke variiert hierbei jedoch u.a. abhängig von der Ausrichtung des Smartphones und dessen Nahkörperabschirmung durch den Nutzer.

Für den Fall einer stark durch Passagiere ausgelasteten Bahn (z.B. Schulschluss, Feierabendverkehr) wurde jedoch beobachtet, dass sich die Abschirmung des Signals deutlich erhöht und es somit zu Schwierigkeiten kommen kann, das Beacon der OBU am anderen Ende des Wagens sicher zu empfangen. Hierdurch kann es bei längerer Abschwächung dazu kommen, dass die App fälschlicherweise einen Be-Out interpretiert (welcher ja durch das Ausbleiben des iBeacon-Signals definiert ist).

Ein Lösungsansatz für die Signalschwäche bei voll besetzten Bahnen besteht in der Ausstattung der Wagen mit mehreren Beacons (beispielsweise an der Wagenfront, -mitte und am -heck), die jeweils dasselbe Signal senden. Hierdurch wäre der Wagen gleichmäßig ausgeleuchtet und für das Beacon-Signal empfangsschwache Bereiche wären eliminiert.

Dafür kommen mindestens zwei Varianten in Betracht: Es können Beacons eingesetzt werden, die selber über Funk mit der OBU in Verbindung stehen und von dort das Datenpaket beziehen, um es dann lokal auszusenden. Jedoch besteht auch bei dieser Variante aufgrund einer möglicherweise hohen Absorption durch eine Vielzahl von Fahrgästen (Passagierdichte) die Möglichkeit einer schlechteren und ggf. nicht ausreichenden Verbindung.

Ein alternativer Ansatz besteht in der Installation einer „Beacon-Chain“. Hier beziehen die einzelnen Beacons auf der Kette die auszusendenden Daten über eine Kabelverbindung von der OBU. Dies erfordert zwar einen erhöhten Installationsaufwand, ermöglicht jedoch die erforderliche sichere Verbindung zwischen den einzelnen Beacons und der OBU.

## **4.5 Störungen des Mobilfunknetzes**

Wie bereits zuvor erläutert, ist im Normalfall das Check-In auch bei den unterirdischen Stationen in Duisburg über die Datenkommunikation des Mobiltelefons technisch ohne Schwierigkeiten möglich. Im Juni 2016 fand im Rahmen der Kontiki-Konferenz ein Belastungstest statt, bei dem sich ungefähr 150 Nutzer in kurzer Zeit in der unterirdischen Haltestelle König-Heinrichplatz einzuloggen versuchten.

Die dabei eingesetzte Version der CIBO-App aktualisierte bei aktivierter Betriebsbereitschaft im minütigen Intervall die in der App angezeigte Abfahrtsinformation des Echtzeit-Informationssystems der DFI. Der insgesamt resultierende Datenverkehr führte dazu, dass augenscheinlich die Kapazität der Mobildatenversorgung über die in den Stationen befindlichen Repeater (?) erschöpft war, was zu Timeouts beim Check-In führte.

Daraus lässt sich ableiten, dass für einen produktiven Einsatz zumindest für Orte mit spezieller Versorgung (wie z.B. unterirdische Stationen) in Zusammenarbeit mit den Mobilfunkanbietern Kapazitätsüberlegungen angestellt werden müssen, um eine ausreichend Kapazität vorzuhalten. Darüber hinaus ist natürlich eine effektive Pufferung der Übertragung zwischen Mobiltelefon und Hintergrundsystem zu ermöglichen.

## 5 Durchführung

### 5.1 Monitoring des Betriebs

Im Hintergrundsystem gibt es mehrere Komponenten, mit Hilfe derer der Status und das Verhalten der einzelnen Bahnen überwacht werden können:

- Die OBU der einzelnen Bahnen melden sich mehrfach pro Minute durch einen sogenannten 'Ping' beim Hintergrundsystem. In diesem wird jede Bahn in einer Liste dargestellt, zusammen mit der IP-Adresse und dem Zeitpunkt des letzten Pings.
- Mit der Rückmeldung wird ebenfalls eine GPS-Koordinate (falls messbar) übermittelt. Durch diese GPS-Koordinate lassen sich die Positionen der einzelnen Bahnen auf dem Duisburger Streckenverlauf darstellen (siehe Screenshot in Abbildung 11).
- Des Weiteren meldet die OBU in regelmäßigen Abständen die aktuelle Station und den Bereich ('NEAR', 'FAR' oder 'TUNNEL') an das Hintergrundsystem. Diese Information entspricht dem Status, der auch lokal in der Bahn an die Nutzermedien mittels BLE-Technologie übertragen wird.



Abbildung 12: Screenshot zu GPS-Positionen

### 5.2 Ansicht für das Kundenmanagement

Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft der First-Level Support von Mitarbeitern der Verkehrsunternehmen geleistet wird.

Diese Mitarbeiter benötigen für die Beratung der Endkunden oder für die Überprüfung ggf. falsch zugeordneter Fahrten eine Erweiterung des heutigen Kundenmanagementsystems.

Dem Kundenmanagementsystem des „Cubic Handytickets“ wurden eine Maske zur Einsicht der Fahrten hinzugefügt. Prozesse wie beispielsweise eine Auswahl alternativer Routen oder die manuelle Änderung des Fahrtverlaufs usw. waren nicht Bestandteil des Feldversuches. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Funktionen Bestandteile eines produktiven Systems sein/werden sollten. Im Folgenden ist beispielhaft mit Screenshots das Kundenmanagementsystem mit Kundenidentifikation und Verlauf der Check-In-Vorgänge dargestellt.

1. Schritt: Identifikation des Kunden über seine Anmeldedaten, die Nutzermediumsnummer oder andere im Prozess zu erfragende Merkmale.

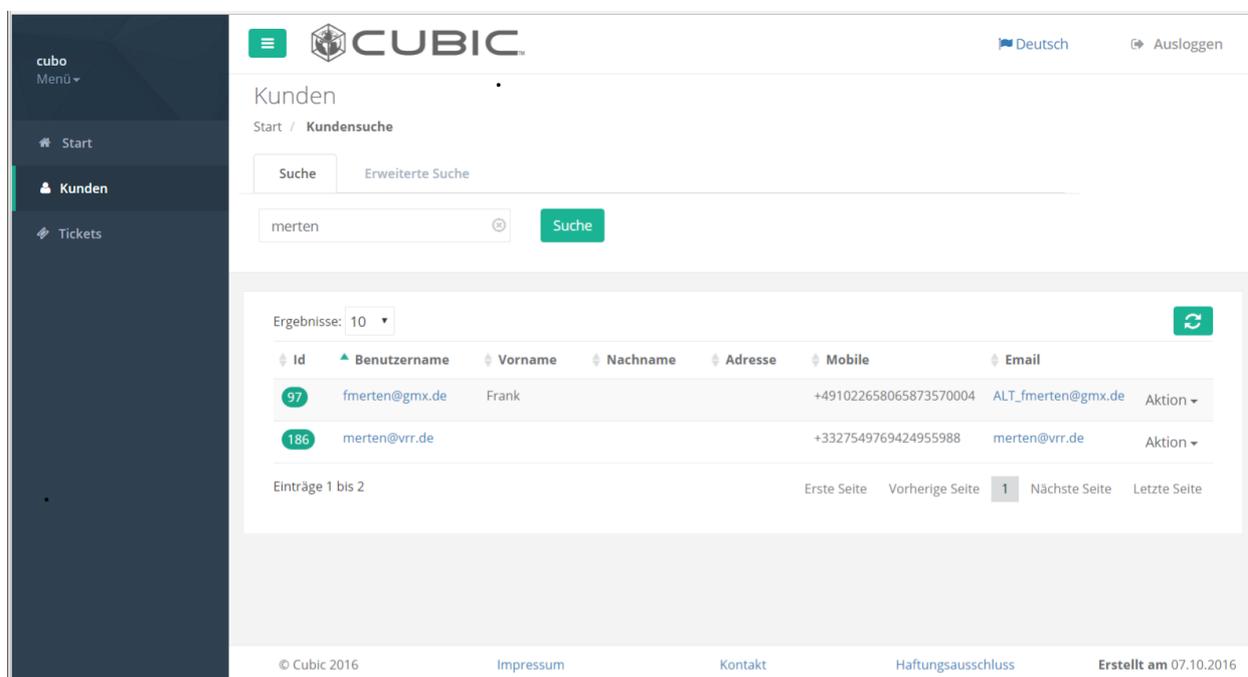


Abbildung 13: Screenshot Kundenidentifikation

2. Schritt: Es werden alle Check-In Vorgänge (Fahrtenbeginn) mit Ort und Zeit angezeigt, und der Fahrgast (Nutzer) kann dann den folgenden Verlauf auf einer Karte betrachten. Auf Wunsch kann der Fahrgast die Rohdaten des Systems, also insbesondere die Anwesenheitsmeldungen, einsehen (hier nicht gezeigt).

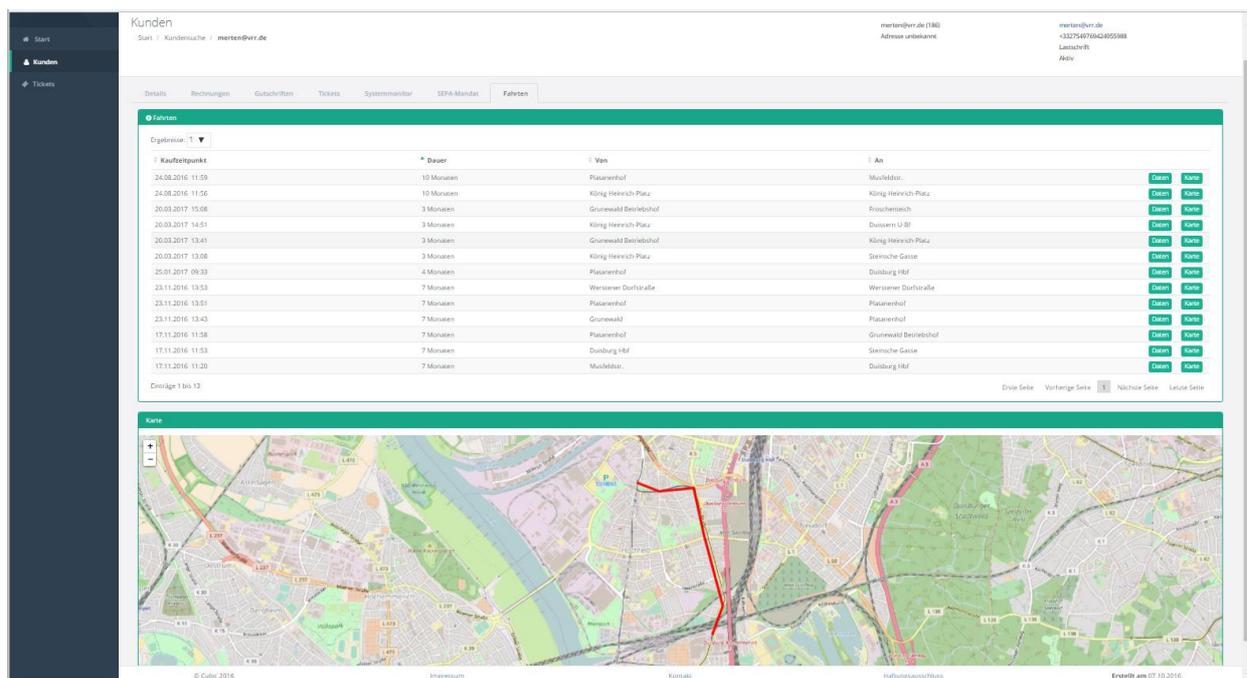


Abbildung 14: Screenshot Verlauf Check-In-Vorgänge

### 5.3 Prüfkonzert

Der CIBO-Fahrtenmanager hat eine REST-Schnittstelle, die anhand einer Nutzermedium-ID und einer Fahrt-ID (ermittelt z.B. durch den Scan des für die Fahrt ausgestellten Barcodes) die letzten im System für diese Fahrt und dieses Nutzermedium registrierten Ereignisse zurücksendet. So kann einfach bestimmt werden, ob ein Kunde berechtigt ist, am Verfahren teilzunehmen und sich ordnungsgemäß eingechekkt hat.

Im Fall eines Kunden, der bei der Kontrolle seine Fahrtberechtigung nicht vorweisen kann, gibt es darüber hinaus auch die Möglichkeit, eine Anfrage anhand persönlicher Merkmale wie Vor-/Nachname durchzuführen. Die Rückmeldung zu der jeweilig durchgeführten Anfrage liefert bei entsprechender Berechtigung des Fahrgastes die letzten gemachten Fahrten sowie die Ereignisse der letzten begonnenen Fahrt.

Eine einfache Sichtkontrolle, um Betrug feststellen zu können, ist ebenfalls verfügbar: Der Busfahrer (oder der Kontrolleur) kann einen mehrstelligen Farbcode mit einer dreistelligen Ziffer, der für jede Haltestelle zufällig neu generiert wird, mit dem Farbcode auf dem Mobiltelefon abgleichen.



Abbildung 15: Prüf-Farbcode

Dieser Prüf-Farbcode kann auch während der Fahrt aktiviert werden. Hierzu muss der Kontrolleur mit Hilfe einer speziellen App die entsprechende Aktivierung für das Fahrzeug veranlassen („Razzia“). Darüber hinaus wird bei jedem Check-In-Vorgang ein Barcode generiert, der auf dem Mobiltelefon in der CIBO-App angezeigt wird und vom Kontrolleur gescannt werden kann. Der Barcode enthält den Einstiegsort sowie die Einstiegszeit. Für den Fall des wiederholten Eincheckens in dasselbe Fahrzeug ist ein Merkmal enthalten, so dass der Kontrolleur auf Kunden, die sich ggf. nach Erkennen der anstehenden Kontrolle erneut eingchecked haben, reagieren kann.

## **6 Evaluierung**

Einige wesentliche Ergebnisse wurden bereits im Kapitel 4 aufgeführt und diskutiert.

Die Tests und Messungen werden gegenwärtig noch fortgeführt.

Nachstehend werden die während des Feldversuches gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst bewertet. Dabei wird insbesondere auf die grundsätzliche Anwendbarkeit der im Feldversuch getesteten Erfassungstechnologie, die Performanz, die Sicherheit und Genauigkeit, die Skalierbarkeit des Systems, die Nutzbarkeit (Usability), die Migrationsfähigkeit und die Zukunftssicherheit eingegangen.

### **6.1 Grundsätzliche Anwendbarkeit**

An der grundsätzlichen Anwendbarkeit eines CIBO-Systems gibt es aus unserer Sicht keine Zweifel. Sowohl bei iOS als auch bei Android konnten durch den Ansatz des periodischen UUID-Wechsels eine verlässliche Hintergrundaktivität und damit eine ausreichende Menge von Anwesenheitsmeldungen erzwungen werden. Anhand dieser Daten konnten die Nutzer-Fahrten verlässlich belegt werden.

### **6.2 Performanz**

Die Gesamtperformanz wird nach zwei Bereichen gegliedert dargestellt: BLE-Kommunikation sowie Hintergrundprozesse.

Für die BLE-Kommunikation kann man sagen, dass die Erkennung von Statusänderungen (z.B. Erscheinen von Fahrzeugen) sowohl im Vorder- als auch im Hintergrund auf allen Betriebssystemen in weniger als 10 Sekunden erfolgte<sup>5</sup>, dies ist für die Nutzung schnell genug. Alleine die Erkennung eines Be-Out im App-Hintergrund kann unter dem Betriebssystem iOS bis zu 1,5 Minuten dauern, dies erscheint subjektiv lang zu sein, ist aber durch die Charakteristiken des iOS-Betriebssystems bestimmt und stellt konzeptionell kein Problem dar.

Darüber hinaus besitzt das System die typische Performanz eines Cloud-basierten Systems. D.h bei wenigen hundert gleichzeitigen Nutzern ist keine Degeneration der Reaktionszeiten bei einem Server zu beobachten; Falls eine Skalierung in den Bereich mehrerer tausend gleichzeitiger Nutzer erfolgen soll, muss ggf. eine Server-Farm zum Einsatz kommen. Da sich die Aufgabe der Fahrtenkonstruktion und anschließende Preisberechnung sehr gut parallelisieren lässt, sollte dies jedoch ohne weiteres möglich sein.

### **6.3 Sicherheit und Genauigkeit**

Nach der Stabilisierung des Systems, insbesondere der Lösung des OBU-GPS Fehlverhaltens, zeigt das System verlässlich Einstiegs- und Ausstiegs-Haltestellen an.

---

<sup>5</sup> Durchgängig ist bei solchen Betrachtungen iOS im Hintergrund aufgrund von Restriktionen am trägesten.

Der Einsatz von Onboard-Units macht das Verfahren insbesondere durch zwei hier zu nennende Effekte genau:

- Die Anwesenheit in einem Fahrzeug ist unmittelbar erkennbar an der Anwesenheit des Fahrzeug-BLE-Signals. Beispielsweise bei GPS-basierten Verfahren muss erst auf die Anwesenheit geschlossen werden.
- Die Onboard-Units zeichnen ein exaktes TourLog auf, das zur Fahrtenkonstruktion herangezogen werden kann. Die zeitlich anhaltende Korrelation zwischen dem vom Mobiltelefon gesehene BLE-Signal und dem im TourLog aufgezeichneten Fahrzeug-Signal ist ein starkes Kriterium um eine falsche Anwesenheitszuordnung auszuschließen.

Auf diesen beiden Effekten basiert die eindeutige Zuordnung. Es soll aber auch darauf hingewiesen werden, dass die unidirektionale Kommunikation des Online-Verfahrens aus Sicherheitsaspekten nicht optimal ist.

- Die Fahrzeugsignale können gefälscht oder zumindest durch eine sogenannte Relay-Attacke<sup>6</sup> fälschlich gesendet werden.
- Die Entsorgung der Anwesenheitsmeldung über das Mobilfunknetz kann vom Nutzer verzögert werden und anschließend völlig unterbunden werden, dies bietet ebenfalls ein Missbrauchspotential.

Es gibt eine Reihe von Gegenmaßnahmen, die prozessualer Natur sind: Online-Signaturprüfung der Beacon-Signale, zusätzliche Erhebung der Mobilfunkortung zwecks Konsistenzprüfung, „thin-sampling“ von Anwesenheitsmeldungen, die vom Telefon an die OBU via BLE gesandt werden.

Auf die durch die Nutzung von BT 5.0 neuen Möglichkeiten gehen wir am Ende des Dokumentes ein.

## **6.4 Skalierbarkeit des Feldversuchs**

Wesentlicher Faktor für die Skalierbarkeit des Feldversuches ist sicherlich die Ausrüstung von Fahrzeugen mit OBUs. Falls man dies nicht flächendeckend durchführen möchte/kann, bleibt nur die Kombination mit einem auf Mobiltelefonortung, ggf. um stationäre Beacons an kritischen Stationen ergänzten, basierten Verfahren. Für diese Verfahren stehen die durch das Fahrzeugsignal induzierten Ereignisse, insbesondere das Be-Out, nicht zur Verfügung, so dass ggf. eine bewusste Nutzerhandlung erforderlich wird um das Verfahren genau genug zu gestalten. Inwieweit ein Verfahren, das in unterschiedlichen Regionen oder Verkehrsmitteln ggf. unterschiedliche Mitwirkungen des Nutzer erforderlich macht, genutzt werden soll, muss untersucht werden.

---

<sup>6</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Relay\\_attack](https://en.wikipedia.org/wiki/Relay_attack)

## **6.5 Usability für den Nutzer**

Bereits im Feldversuch Soest hat sich gezeigt, dass die Nutzung durch den Fahrgast sehr einfach ist und sofort verstanden wird. Trotzdem gilt für eine tatsächliche CIBO-App das Gleiche wie für alle Apps, die eine große Anzahl von Nutzern einer nicht homogenen Gruppe erreichen sollen: Die Verständlichkeit und Usability muss mit Tests in einem erweiterten Nutzerkreis überprüft und ggf. optimiert werden.

## **6.6 Migrationsfähigkeit von anderen EFM3-Systemen**

Grundsätzlich ist die gleichzeitige Nutzung mit anderen EFM3-Systemen möglich und somit auch eine stufenweise Migration.

## **6.7 Zukunftssicherheit**

Die Innovationszyklen im Bereich mobile Kommunikation, insbesondere auch bei den kommerziellen Mobiltelefonen sowie IoT und den damit verbundenen Funkstandards sind sehr kurz und nur schwer vereinbar mit den Zyklen, die wir auf Seiten der Infrastruktur im ÖPNV / PNV kennen.

Wir gehen davon aus, dass ein zukunftssicheres CIBO-System, besser ein System zur EFM3-Stufe, im Laufe seiner Einsatzzeit von beispielsweise 10 Jahren mindestens einmal an den aktuellen technologischen Stand angepasst werden muss.

Auch wenn aktuelle BT 5.0 SOCs aller Wahrscheinlichkeit nach eine softwaretechnische Aufrüstung zum nächsten Standard anbieten werden (wie dies heute bereits von BT 4.2 nach 5.0 möglich ist), ist auch eine einfache hardwareseitige Aufrüstungsoption für den Investitionsschutz erforderlich.

Die systemseitige hardwaretechnische Trennung der Radio-Funktion (siehe 3.2) macht den Austausch einfach und stellt aus unserer Sicht eine wesentliche Voraussetzung für die Zukunftssicherheit des Systems dar.

## 7 Fazit und Ausblick

Der Feldversuch *big bird Duisburg* hat gezeigt, dass ein CIBO-System grundsätzlich auch im Schienenverkehr genutzt werden kann. Der Einbau einer entsprechenden Hardware in Fahrzeugen ist möglich und ist keine besondere Herausforderung. Die Over-The-Air-Datenversorgung sowie -entsorgung und die kontinuierliche Ortung im Unter-/Obergrund setzen jedoch der Umgebung angepasste leistungsfähige Komponenten voraus.

Der Einsatz autarker Steuereinheiten erscheint im ersten Moment verlockend, jedoch legen die Schwierigkeiten in der Bestimmung der Kursdaten (Fahrzeuglinie, Richtung) beim Kursbeginn für die Zukunft eine Kopplung an das ICTS-System, das die erforderlichen Daten ebenfalls produziert, nahe.

Im Projektverlauf wurde eine Prüfung der VDV300 IBIS\_IP Schnittstelle vorgenommen und bestätigt, dass diese die notwendigen Daten bereitstellt.

Um eine ausreichende Feldstärke des BLE-Signals zu erhalten, ist davon auszugehen, dass mindestens alle 15m ein Fahrzeug-Beacon mit mindestens 4dBm erforderlich ist, um eine zu starke Abschirmung des Signals durch den menschlichen Körper bei vollbesetzten Fahrzeugen auszuschließen.

Der Test wurde auf Basis der Bluetooth-Version 4.0 (bzw. 4.2) durchgeführt, mit der in der Verbreitung befindlichen Bluetooth 5.0 Version werden sich erhebliche Veränderungen ergeben. Bis jedoch diese Version in den im Markt befindlichen Mobiltelefonen verbaut (und dort von der Firmware unterstützt) sein wird, muss die heutige Generation von Mobiltelefonen ausgetauscht sein. Eines der ersten verfügbaren Bluetooth 5.0 Mobiltelefonen ist das Samsung Galaxy S8, jedoch ist von einer wesentlichen Marktdurchdringung innerhalb der nächsten 5 Jahre nicht auszugehen. Die Vorteile von Bluetooth 5.0 sind:

- Erhöhung der maximalen Datenrate um den Faktor 4.  
Zur Erläuterung: Eine Erhöhung der Geschwindigkeit bedeutet auch eine Verkürzung der PDU (Protokoll Data Unit) und damit einen geringeren Energieverbrauch und höhere Kapazität des Übertragungsbandes.
- Bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Energieverbrauch ist die Reichweite um den Faktor 4 (12 db) erhöht.
- Erhöhung der maximalen Sendeleistung um den Faktor 10 und damit Erhöhung der Reichweite um Faktor 2. Dieser Effekt kann schon heute genutzt werden.
- Erhöhung des Payloads der Advertising-Pakete von 30 auf 255 Bytes und die Möglichkeit des *Chainings* von Adv- Paketen.<sup>7</sup>

Insbesondere dem letzten Punkt kommt eine hohe Relevanz zu, da die heutige Limitierung des Payloads der Advertising-Pakete die Signierung der Daten beispielsweise mit einer

---

<sup>7</sup> Quelle <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-5>

asymmetrischen Signatur und damit die Verwendung einer PKI-Infrastruktur verhindern. Die Nutzung einer PKI würde jedoch die Authentizitätsprüfung erheblich vereinfachen.

Mit der Ergänzung Bluetooth 5.0 / Mesh (sowie der Erhöhung der Anzahl gleichzeitiger Verbindungen von 1 auf 8) wird der BLE-Rückkanal für die Anwesenheitsmeldungen ebenfalls deutlicher attraktiver.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das vorgestellte CIBO-Verfahren schon heute sehr praktikabel ist und die Anforderungen erfüllt. Aufgrund der technologischen Entwicklungen kann davon ausgegangen werden, dass sich weitere Verbesserungen in naher Zukunft ergeben werden, die insbesondere die Punkte Massentauglichkeit und Sicherheit betreffen.