

# Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb

## ABSCHLUSSBERICHT

PROF. DR. HEIKE PROFF, PROF. DR. PEDRO JOSÉ MARRÓN,  
DR. MARCUS HANDTE, LISA KRAUS, LUKAS ZEYMER

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

<b>I. Kurzdarstellung</b> .....	1
A. Aufgabenstellung .....	1
B. Voraussetzungen für die Durchführung der Machbarkeitsstudie.....	3
C. Planung und Ablauf der Machbarkeitsstudie.....	3
D. Stand der Forschung und der Technik, an den angeknüpft wurde.....	5
E. Kooperation und Kontakt mit einem Start-up .....	6
<b>II. Eingehende Darstellung</b> .....	7
A. Arbeitsergebnisse bezogen auf die Projektziele .....	7
1. Arbeitspakete .....	7
AP 1: Ausdifferenzierung der Use Cases und der Funktionen der SmaTa-Plattform	7
AP 2: Lastenheft für die Plattform.....	13
AP 3: Kostenabschätzung und Risikoanalyse.....	19
AP 4: Untersuchung der Schnittstellenkompatibilität.....	25
2. Erweiterte Analyse der Fahrtdaten in der zweiten Projektphase.....	25
3. Untersuchung des Geschäftsmodells.....	27
4. Abschätzung des Gewinnmodells .....	30
5. Möglichkeiten zur Verbesserung der Rentabilität .....	33
B. Wichtige Angaben zum zahlenmäßigen Nachweis .....	33
C. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeit.....	34
D. Nutzen und Verwertbarkeit der Projektergebnisse.....	35
E. Während der Projektbearbeitung bekannt gewordene Fortschritte bei der Elektrifizierung des Taxibetriebs .....	35
F. Veröffentlichungen der Projektergebnisse .....	36
<b>III. Anhang</b> .....	II

# I. Kurzdarstellung

## A. Aufgabenstellung

Taxifahrzeuge sind aufgrund der langen Standzeiten an Taxiplätzen für eine Elektrifizierung besonders geeignet, weil sie während der Wartezeit geladen werden können. Dies ist vielen Taxifahrern jedoch noch nicht bewusst, auch weil sie die Lademöglichkeiten nicht ausreichend kennen. Eine Befragung von Taxifahrern in Köln durch den Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement der Universität Duisburg-Essen im Herbst 2018 hat gezeigt, dass es folgende wesentliche Hürden des Umstiegs auf die Elektromobilität gibt:

- Taxifahrer können die Lademöglichkeiten an innerstädtischen Haltepunkten nicht abschätzen und deshalb nicht in ihre Fahrrouen integrieren,
- Anmeldungen an Ladesäulen und Abrechnung erfolgen nicht elektronisch und nehmen deshalb zu viel Zeit in Anspruch und
- die Taxi-Fahrrouen werden ohne Berücksichtigung von Reichweite und Fahrbeschränkungen z.B. in Umweltzonen geplant.

In einem Workshop der Projektpartner zur Vorbereitung der Antragserstellung wurden folgende Anforderungen an die Ladeinfrastruktur genannt:

- Anpassung der Ladegeschwindigkeit an den Energiebedarf, um die Lebensdauer der Batterie zu erhöhen,
- Abfangen von möglichen Lastspitzen im Stromnetz bei großem Ladeaufkommen und
- Vernetzung der von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur.

Bisher gibt es keine Plattform, die intelligente Fahrempfehlungen mit Beachtung von Energiebedarf, Batteriekapazität und Fahrverboten ermöglicht. Erst durch Vernetzung von Taxifahrzeugen und Ladeinfrastruktur über eine digitale Plattform wird eine effiziente Elektrifizierung der Taxiflotten gelingen. Somit stellt eine solche Plattform einen wirksamen Baustein für die Luftreinhaltepläne der Städte dar, insbesondere wenn die Emissionsgrenzwerte überschritten werden. Eine intelligente Ladeinfrastruktur sieht auch der deutsche Taxi- und Mietwagenverband BZP als notwendige Voraussetzung für die Elektrifizierung der Taxiflotte in Deutschland. Taxifahrzeuge müssen während der Wartezeit geladen werden, um zu vermeiden, dass Fahraufträge aufgrund unzureichender Restreichweite nicht angenommen werden können. Um die

Integration der Ladevorgänge in den Taxialltag smart zu managen, bedarf es einer intelligenten Vernetzung durch eine taxispezifische Plattform.

In der Studie SmaTa wurde zunächst die Machbarkeit einer smarten Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb mit Beteiligung aller relevanten Interessengruppen (Stakeholder, d.h. Taxiunternehmer, selbstständige und angestellte Taxifahrer, Energieversorger, Infrastrukturbetreiber und die Stadtverwaltung) untersucht. Sie sind nicht nur an dem Projekt interessiert, ohne sie wäre das Projekt auch nicht möglich gewesen. Die Plattform soll die Integration von Elektrofahrzeugen in den Taxialltag ermöglichen, u.a. durch ein smartes Lademanagement aufgrund von Prognosen der Fahrten, des Energiebedarfs und der Lademöglichkeiten. Dazu mussten konkrete Nutzungs- oder Anwendungsfälle („Use Cases“) von Taxi- und Ladebetrieb definiert und genauer untersucht werden. Durch die Einbeziehung aller Stakeholder wurden Datenschnittstellen identifiziert und ihre Integrierbarkeit in eine Plattform überprüft. Entwicklungsanforderungen an die Systemintegration, die benötigte Hardwareinfrastruktur und die notwendigen Algorithmen wurden erfasst und in einem Lastenheft zusammengetragen. Zusätzlich wurde eine betriebswirtschaftliche Kosten- und Risikountersuchung durchgeführt.

Die Machbarkeitsstudie überprüfte zunächst die Use Cases (vgl. AP 1:) in einem Workshop unter Einbeziehung aller relevanten Stakeholder.

Danach erfolgte die Abstimmung der Anforderungen der einzelnen Stakeholder an die Plattform, die folgende Funktionen abbilden soll:

- Überprüfung der Lademöglichkeiten an Taxiplätzen und Ladesäulen,
- Taxizuweisung und Fahrverhalten unter Einbeziehung von Fahrzeugdaten zu Position, Ladezustand, Reichweite, Lademöglichkeit und Netz,
- optimaler Ladezeitpunkt aufgrund der Prognosen von Fahrbedarf, Reichweite und Lademöglichkeit,
- Anzeige der Kosten und der (eingesparten) CO<sub>2</sub>-Emissionen in Echtzeit.

Zur Realisierung dieser Funktionen werden viele Datenquellen genutzt und verbunden (vgl. Abb. 15).

Folgende Ziele und Teilziele (TZ) wurden definiert

1. Ausdifferenzierung der Use Cases und der Funktionen der SmaTa-Plattform
  - 1.1 Validierung der Stakeholder
  - 1.2 Validierung der Use Cases des Taxi- und Ladebetriebs
  - 1.3 Validierung des Umfangs der Funktionen der SmaTa-Plattform

2. Definition eines Lastenhefts für die zu entwickelnde Plattform
  - 2.1 Bestimmung der für die Plattformfunktionen erforderlichen Datensätze und der möglichen Schnittstellen
  - 2.2 Überprüfung der Schnittstellen und der Kompatibilität der Daten
  - 2.3 Abbildung der Anforderungen an die Plattform und erster Entwürfe in einem Lastenheft
  - 2.4 Erhebung und Auswertung der Daten zu Taxifahrten
3. Kostenabschätzung und Risikoanalyse der Realisierung der Plattform
  - 3.1 Abschätzung der Entwicklungskosten
  - 3.2 Ermittlung der Risiken der Projektrealisierung und der Maßnahmen zur Risikominimierung.

## **B. Voraussetzungen für die Durchführung der Machbarkeitsstudie**

Die Bereitschaft der Taxifahrer und der genossenschaftlich organisierten Taxiunternehmen zur Kooperation war eine Voraussetzung für die Durchführung der Machbarkeitsstudie, da die Akzeptanz der geplanten Plattform und die Bereitstellung von Daten aus Taxifahrzeugen für das Gelingen der Machbarkeitsstudie entscheidend waren. Wichtig waren auch Daten anderer Stakeholder wie der Stadt und des Ladesäulenbetreibers (Charge Point Operator, CPO) für die Schnittstellenüberprüfung. Alle Projektpartner waren sehr kooperativ und unterstützten das Projekt durch Daten. Nach Rücksprache mit dem Justizariat der Universität Duisburg-Essen wurden die Vorgaben zum Schutz der Daten, vor allem personenbezogener Daten eingehalten. Der Lehrstuhl für Networked Embedded Systems (NES) hatte die notwendigen Kompetenzen und Erfahrungen aus anderen Forschungsprojekten.

## **C. Planung und Ablauf der Machbarkeitsstudie**

Die Machbarkeitsstudie bestand aus fünf Arbeitspaketen. Das übergeordnete Arbeitspaket (AP 0) umfasste die Projektkoordination durch den Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre & Internationales Automobilmanagement (IAM) der Universität Duisburg-Essen. Zu den Aufgaben gehörten u.a. die Organisation und Durchführung von zwei Workshops, der Austausch mit dem Projektträger, die Zusammenführung der Arbeitspakete und die Suche nach einem geeigneten externen Dienstleister für das vierte Arbeitspaket (AP 4), der jedoch durch gezieltes Insourcing nicht gebraucht wurde (siehe Anhang III.F.).

Im **ersten Arbeitspaket (AP 1)** wurden Besonderheiten des elektrischen Taxiverkehrs als Anwendungsfall für die SmaTa-Plattform mit klaren Systemgrenzen und unter Berücksichtigung aller Stakeholder definiert, federführend durch den Lehrstuhl IAM und unterstützend durch NES bei Fragen zur Informationstechnologie. IAM überprüfte die Stakeholder und Use Cases in 1,5 Monaten auf Vollständigkeit (Teilziele TZ 1.1 und 1.2) als Vorarbeiten zur Beschreibung des Funktionsumfangs der SmaTa-Plattform und für den ersten Workshop (TZ 1.3) acht Wochen nach Projektstart (am 20.11.2019). Im Workshop mit den Projektpartnern (vgl. Kap. II.A.1.) wurden die Teilziele 1.1, 1.2 und 1.3 diskutiert und validiert. Die danach erstellte Liste der erforderlichen Funktionen der SmaTa-Plattform bildete den erfolgreichen Abschluss des ersten Meilensteins.

Im **zweiten Arbeitspaket (AP 2)** wurde das Lastenheft für die zu entwickelnde Plattform durch NES aufgrund der Smartphone-Daten von fünf Taxifahrzeugen erstellt (TZ 2.4.) (siehe Anhang III.G.). Den Taxifahrern waren Smartphones als Datenlogger gegeben worden. Auch die zur Koordination und Abrechnung gespeicherten Fahrt- und Positionsdaten eines Taxiunternehmens konnten ausgewertet werden. Zur Repräsentativität der Daten kann jedoch nichts gesagt werden. Die Daten der Taxiunternehmen erlauben aber insgesamt eine vertiefte Auswertung, weil sie nicht nur von Diesel-PKW, sondern auch von einem Elektrofahrzeug stammen.

Zur Systematisierung und Auswertung der Daten programmierte NES ein Analysetool, mit dem u.a. Betriebszeiten, Stand- und Fahrtzeiten und die durchschnittliche Fahrstrecke erfasst, aber auch Prognosen erstellt werden können. Diese Prognosen, z.B. zur Wirkung einer Batterieaufladung während einer Stand- oder Wartezeit auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen, und die daraus ableitbaren Aussagen über die benötigte Batteriekapazität eines Taxisfahrzeugs, werden in Kap. III.H. ausführlicher dargestellt.

Nach Abschluss der Machbarkeitsstudie wurden die Daten in der mCloud veröffentlicht. Um die standort- und personenbezogenen Daten veröffentlichen zu können, wurden sie datenschutzkonform zu Fahrprofilen aggregiert. Die Standortdaten selbst wurden nicht veröffentlicht, was aber die Relevanz der Informationen nicht mindert.

Von NES wurden in enger Abstimmung mit IAM die Datensätze für weitere Plattformfunktionen und mögliche Schnittstellenlösungen bestimmt (TZ 2.1). Die Ergebnisse zu den Teilzielen 2.1 bis 2.4 wurden in einem Lastenheft zusammengetragen (siehe Anhang III.G.), in dem die technischen Anforderungen an die Plattform beschrieben und erste Lösungsoptionen abgebildet wurden (TZ 2.3). Das Lastenheft bildete die Diskussionsgrundlage für den zweiten Workshop. Besonders wichtig waren rechtliche Anforderungen und die Datensicherung.

Im **dritten Arbeitspaket (AP 3)** wurden die Kosten zur Umsetzung der SmaTa-Plattform abgeschätzt und Einsparpotenziale aufgezeigt (TZ 3.1). Die Kosten der Plattform wurden bereits nach dem ersten Workshop von IAM mit Unterstützung von NES geschätzt. IAM schätzte die

Risiken der Projektrealisierung ab und erarbeitete Maßnahmen zur Risikoverringung (TZ 3.2). Das Lastenheft aus AP 2 und Ergebnisse des AP 3 wurden beim zweiten Workshop diskutiert (vgl. Kap. II.A.1.).

Parallel zum zweiten Arbeitspaket wurden im **vierten Arbeitspaket (AP 4)** Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur untersucht. Dafür waren 2,5 Monate eingeplant. Da NES die Schnittstellen schon untersuchen konnte, wurde auch aufgrund der bisherigen Projekterfahrungen auf die geplante externe Ausschreibung mit einem Budget von 15.000 € verzichtet. Die Ergebnisse aus AP 4 wurden ins Lastenheft übernommen. Abb. 1 zeigt die Arbeitspakete im Projekt SmaTa.

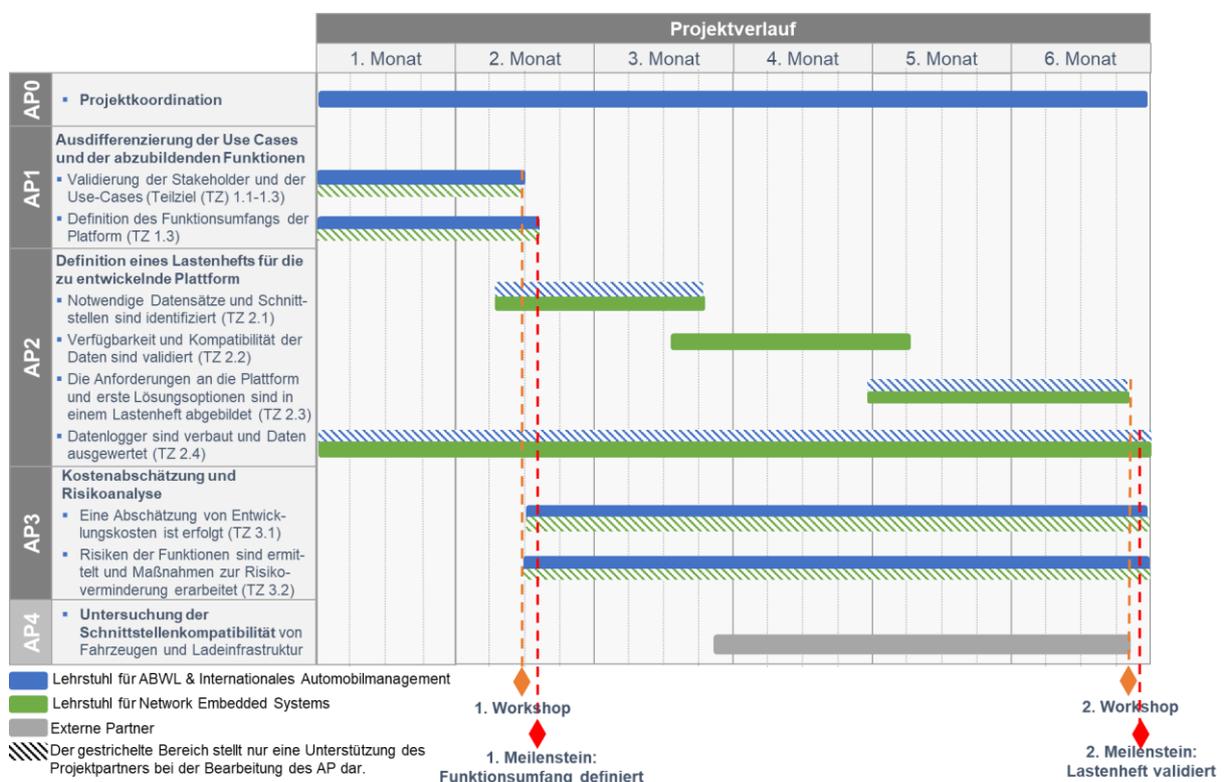


Abb. 1 Arbeitspakete im Projekt SmaTa (eigene Darstellung)

#### D. Stand der Forschung und der Technik, an den angeknüpft wurde

Konstruktionen, Verfahren oder Schutzrechte, die für die Durchführung der Machbarkeitsstudie die nützlich gewesen wären, sind nicht bekannt.

Zu Netzwerken von Stakeholdern (Ecosystems) gibt es eine breite betriebswirtschaftliche Forschung. In Ecosystems geben Unternehmen, meist unterschiedlicher Branchen, Produktions- wie Dienstleistungsunternehmen ein gemeinsames Leistungsversprechen, das sie allein

aufgrund fehlender Kompetenzen oder Technologien nicht geben könnten. Das Untersuchungskonzept beruht auf neuen Forschungen zu neuartigen plattformbasierten „strukturellen“ Ecosystems (u.a. auf Arbeiten von Adner (2017)<sup>1</sup> und Jacobides et al. (2018) basierend)<sup>2</sup> und zur Theorie mehrseitiger Märkte (basierend auf der Arbeit von Rochet und Tirole 2003)<sup>3</sup>.

Die Entwicklung der Tracking-App und der Analysesoftware stützt sich auf Arbeiten zur Auswertung von Positionsdaten. Einen Überblick über aktuelle Arbeiten in diesem aktiven Forschungsfeld liefern z.B. Toch et. al.<sup>4</sup>. Für die Analyse der Schnittstellenkompatibilität wurden Schnittstellen verschiedener webbasierter Informationsdienste untersucht, u.a. der Open Data Server des Deutschen Wetterdiensts (DWD), Datenangebote der Städte Köln und Düsseldorf, Daten der Bundesnetzagentur und Schnittstellen der OpenChargeMap. Eine vollständige Aufstellung dieser Dienste und der Analyseergebnisse enthält das Lastenheft (siehe Anhang III.G).

## **E. Kooperation und Kontakt mit einem Start-up**

Es wurde versucht, die Auflage, mit dem ebenfalls durch das mFUND geförderten Projekt „ChargePlanner“ zu kooperieren, zu erfüllen. Es war angedacht, die aus diesem Projekt vorhandenen und für SmaTa relevanten Schnittstellen zu verwenden. Alle Kontaktversuche blieben leider unbeantwortet. Kontakt wurde jedoch mit dem Start-Up Ekaros aufgenommen, das ein ähnliches Projekt plant, um sich auszutauschen und bei einem möglichen SmaTa-Folgeprojekt zu kooperieren.

---

<sup>1</sup> Adner, R. (2017): Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy, in: Journal of Management, Vol. 43, No. 1, S. 39-58.

<sup>2</sup> Jacobides, M. G.; Cennamo, C.; Gawer, A. (2018): Towards a theory of ecosystems, in: Strategic Management Journal, Vol. 39, No. 8, S. 2255-2276.

<sup>3</sup> Rochet, J.; Tirole, J. (2003): Platform competition in two-sided markets, in: Journal of the European Economic Association, Vol. 1, Nr. 4, S. 990-1029.

<sup>4</sup> Toch, E., Lerner, B., Ben-Zion, E., Ben-Gal, I. (2019): Analyzing large-scale human mobility data: A survey of machine learning methods and applications, in: Knowledge Information Systems, Vol. 58, S. 501–523.

## II. Eingehende Darstellung

### A. Arbeitsergebnisse bezogen auf die Projektziele

#### 1. Arbeitspakete

Das Gantt-Diagramm zur Machbarkeitsstudie war Planungsgrundlage für die Zielerreichung (s. Kap. I.C)

#### AP 1: Ausdifferenzierung der Use Cases und der Funktionen der SmaTa-Plattform

Das erste Ziel war die Ausdifferenzierung der Use Cases und der Funktionen der SmaTa-Plattform. Dazu mussten die Stakeholder, die Use Cases des Taxi- und Ladebetriebs und der Funktionsumfang der geplanten SmaTa Plattform ermittelt werden. Diese Aufgaben wurden vor dem ersten Workshop bearbeitet und nach diesem abgeschlossen.

Am ersten Workshop nahmen Mitarbeiter von IAM und NES und Praxispartner teil: Vertreter der Städte Duisburg und Köln, der Rheinenergie Köln und der Taxiunternehmer (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Teilnehmende am 1. SmaTa-Workshop (Eigene Darstellung)

	Institution/Unternehmen
<b>Prof. Dr. Heike Proff</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Lisa Kraus</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Lukas Zeymer</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Dr. Marcus Handte</b>	Universität Duisburg-Essen – Networked Embedded Systems (NES)
<b>Peter Roch</b>	Universität Duisburg-Essen – Networked Embedded Systems (NES)
<b>Bijan Shahbaz Nejad</b>	Universität Duisburg-Essen – Networked Embedded Systems (NES)
<b>Uwe Möller</b>	Stadt Duisburg
<b>Dr. Gregor Waluga</b>	Stadt Köln
<b>Jeff Witting</b>	Rheinenergie
<b>Frank Wittig</b>	Taxi Duisburg
<b>Randolf Stephany</b>	Auto Stephany/ Bundesverband Taxi und Mietwagen

Im ersten Workshop ging es um die Elektrifizierung des Taxibetriebs, Vor- und Nachteile, Szenarien und Herausforderungen. Abb. 2 zeigt Ideen und Assoziationen zur Elektrifizierung des Taxibetriebs.

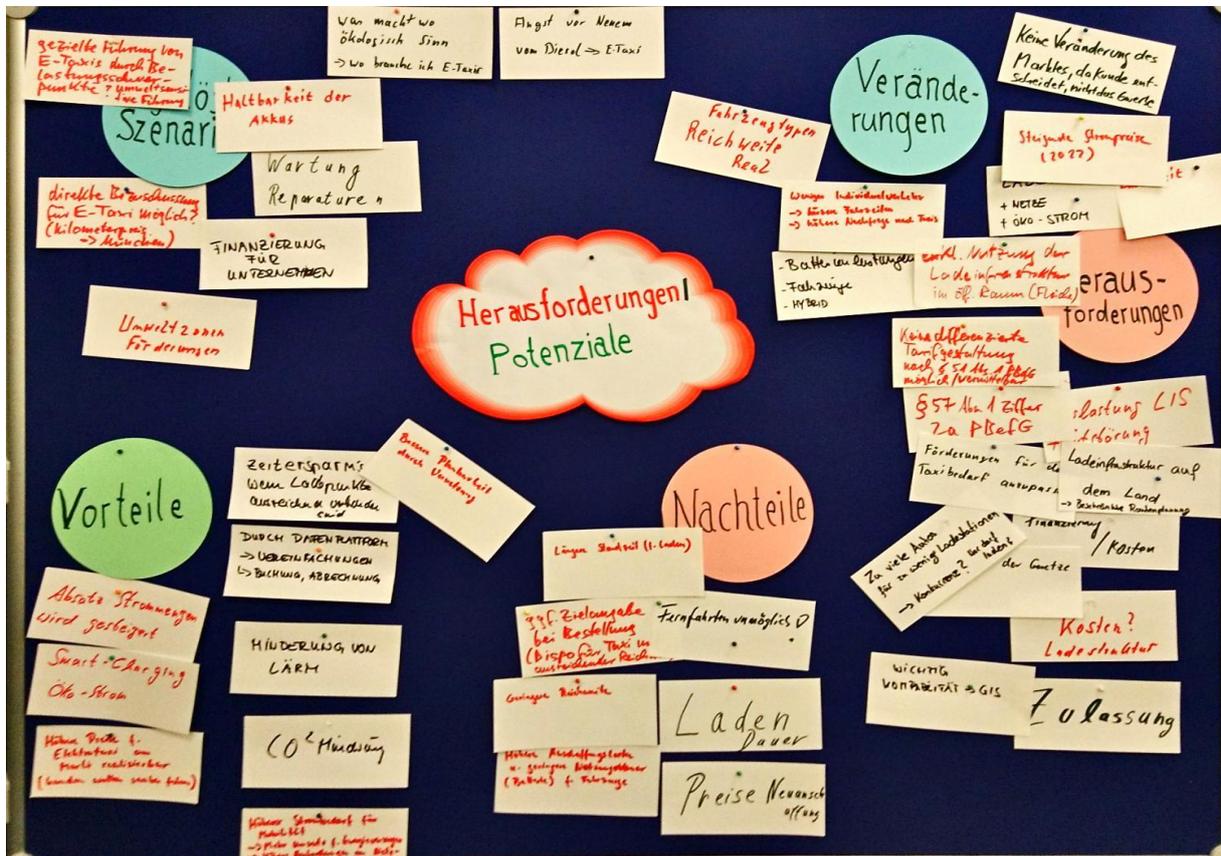


Abb. 2: Ideen und Assoziationen zur Elektrifizierung des Taxibetriebs

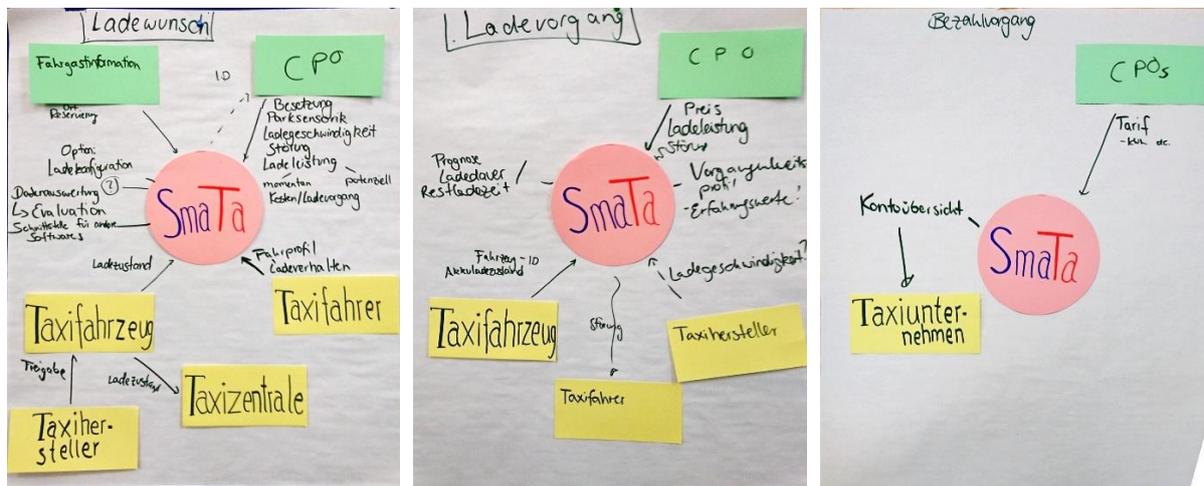
(Foto vom 1. Workshop)

Im Workshop wurden zuvor durch die Projektbearbeiter identifizierte Anwendungsfälle („Use Cases“) im Taxi- und Ladebetrieb (Zuteilung der Fahrten, Empfehlung Fahrmodus, Taxiwartung sowie Taxiladung und Bezahlung; vgl. Abb. 3) durchgespielt. Sie wurden nach Ende des Workshops von den Projektbearbeitern und den Workshop-Teilnehmern konkretisiert, die zusammen die notwendigen Projektpartner und die von ihnen benötigten Informationen und Daten ermittelten.



**Abb. 3: Vor dem ersten Workshop von den Projektarbeitern erarbeitete Anwendungsfälle der SmaTa-Plattform (Eigene Darstellung)**

Von den Workshop-Teilnehmern wurden selbständig auch folgende Anwendungsfälle genannt: „Ladewunsch“, „Ladevorgang“ und „Bezahlvorgang“. Sie wurden von den Projektarbeitern zusammen mit den Workshop-Teilnehmern konkretisiert (Abb. 4), um die notwendigen Projektpartner und die von ihnen benötigten Informationen und Daten zu ermitteln.



**Abb. 4: Im Workshop identifizierte Anwendungsfälle „Ladewunsch“, „Ladevorgang“ und „Bezahlvorgang“ (Foto vom 1. Workshop)**

Auch für die Anwendungsfälle „Zuteilung der Fahrten“ (Abb. 5), „Empfehlung des Fahrmodus“ (Abb. 6) und „Taxiwartung“ (Abb. 7) haben die Projektarbeiter die notwendigen

Projektpartner und die von ihnen benötigten Informationen und Daten ermittelt, vorgestellt und mit den Teilnehmern diskutiert.

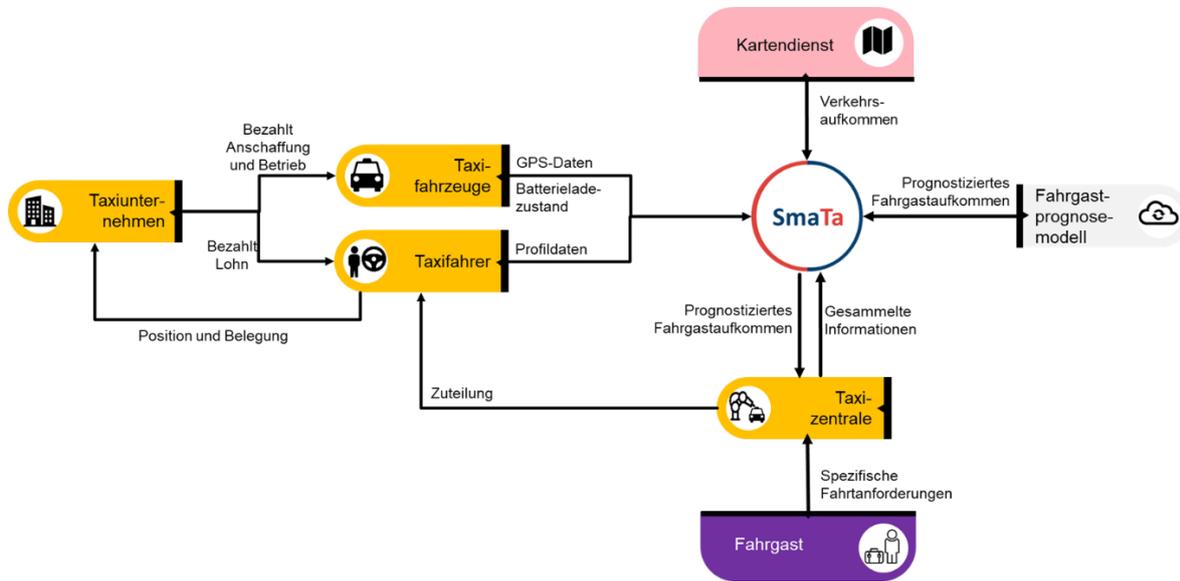


Abb. 5: Anwendungsfall „Zuteilung der Taxifahrten“ (eigene Darstellung)

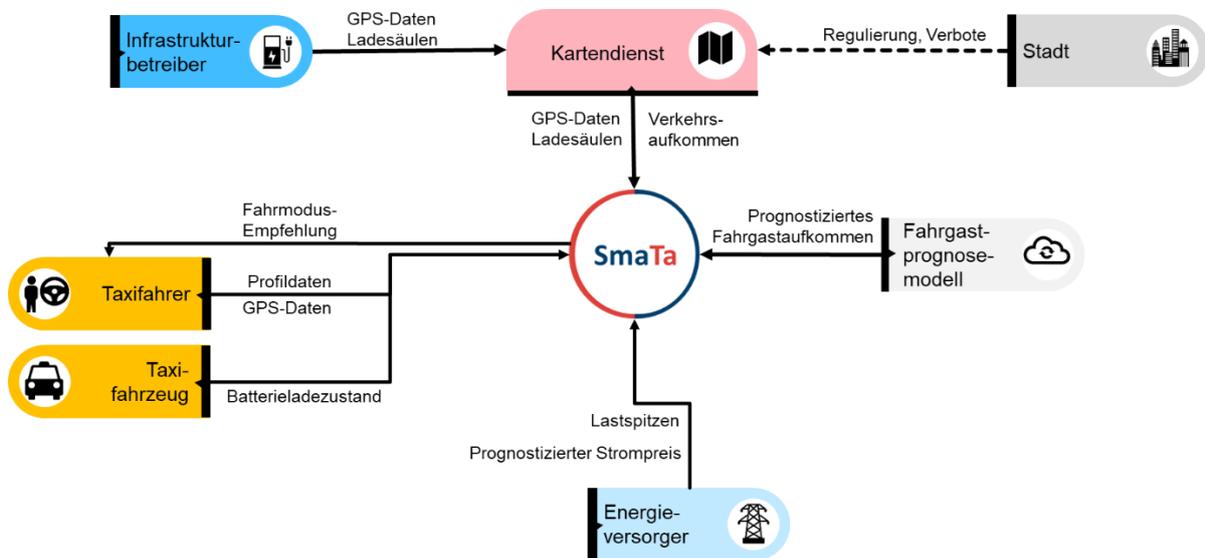


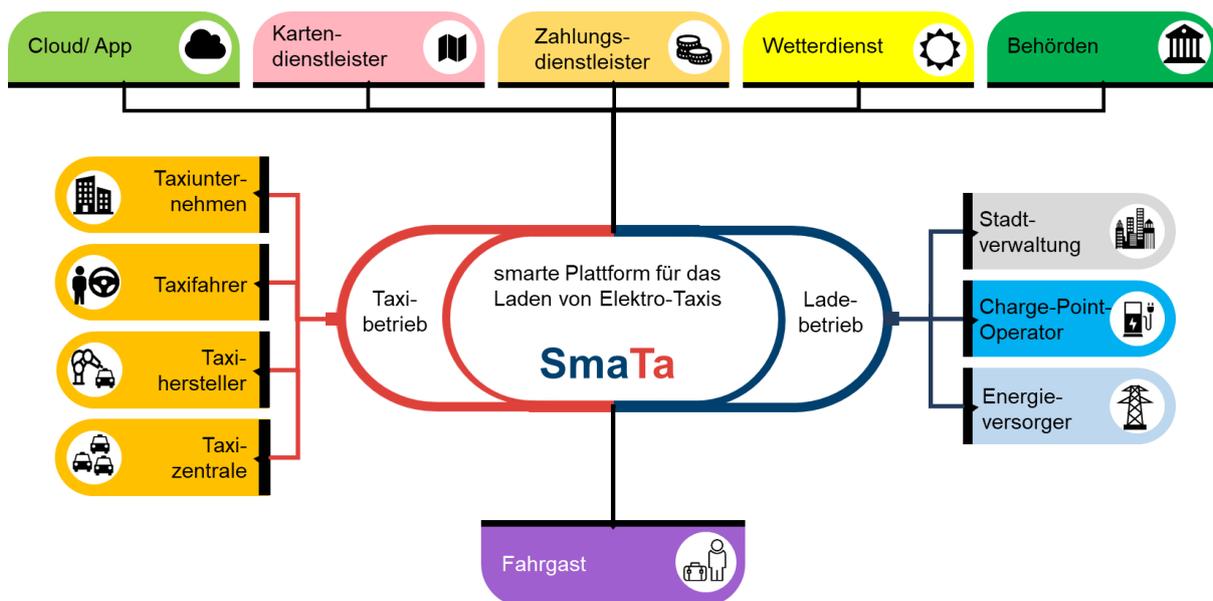
Abb. 6: Anwendungsfall „Empfehlung des Fahrmodus“ (eigene Darstellung)



- Die Zuteilung der Fahrten vor allem in größeren Taxiunternehmen, Ladevorgang und Bezahlvorgang sollten erneut untersucht werden, nicht dagegen die Taxiwartung, da sie als weniger wichtig angesehen wird (eine Wartungsempfehlung wird in vielen Fahrzeugen bereits angezeigt).
- Use Cases sollen durch Funktionen zur Prognose des Fahrgastaufkommens, des Batteriebedarfs, der Lademöglichkeiten und der Fahrbedingungen ergänzt und präzisiert werden.

Nicht alle Use Cases wurden von allen Teilnehmern des Workshops gleichermaßen als besonders wichtig angesehen. Von einem Taxiunternehmer mit mehreren Fahrern wurde die Zuweisung der Taxifahrten begrüßt, von der Taxigenossenschaft, zu der auch Ein-Personen-Unternehmen gehören dagegen als unfairer Eingriff in den Wettbewerb gewertet.

Für die Untersuchung der Use Cases und die Entwicklung der Plattform war die Mitarbeit und Unterstützung durch die in Abb. 9 genannten Projektpartner (Taxiunternehmer, selbstständige und angestellte Taxifahrer, Energieversorger, Infrastrukturbetreiber und Kommune) erforderlich. Auch die Hersteller der Taxifahrzeuge sollten einbezogen werden.



**Abb. 9: Projektpartner der Entwicklung der SmaTa-Plattform** (eigene Darstellung)

Den Taxiunternehmern wurde beim 1. Workshop erklärt, dass die Machbarkeit der Plattform nur untersucht werden kann, wenn Taxifahrer Fahrtdaten über Handys erheben. Außerdem wurden weitere innovative Anwendungsbereiche der Plattform auf dem Workshop diskutiert wie

- autonomes Fahren
- Wassertaxi (z.B. in Amsterdam)
- Ride Pooling
- Flugtaxis

- Verbindung von Pods (Platooning)
- SmaTa für gewerbliche Flotten, z.B.
  - Paketdienste
  - Firmenfahrzeuge
  - Müllentsorgung
  - Logistikunternehmen
  - Fahrzeuge des ÖPNV
  - Carsharing
- energieautarke Quartiere
  - Management von Energieerzeugung und -verbrauch
  - Integration der Taxis
- SmaTa für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge

## AP 2: Lastenheft für die Plattform

Für die Definition des Lastenheftes wurden die Ergebnisse des ersten Workshops durch Arbeiten von NES ergänzt. Dafür wurden die für den im Workshop festgelegten Funktionsumfang notwendigen Datensätze und mögliche Schnittstellen identifiziert sowie die Kompatibilität der Daten mehrerer Anbieter überprüft. Die Ergebnisse wurden im Lastenheft zusammengetragen, das als ein wesentliches Ergebnis der Machbarkeitsstudie zeigt, wie eine Plattform zur Unterstützung der Elektrifizierung des Taxibetriebs im städtischen Bereich aufgebaut ist. Ziel dieser Plattform ist die Vernetzung aller Beteiligten zur Umsetzung der Anwendungsfälle, die im Rahmen der Arbeitstreffen erarbeitet wurden. Aufgrund der spezifischen Anforderungen der Beteiligten zielen die Anwendungsfälle vorwiegend auf die Optimierung der Ladevorgänge ab.

Um diese Optimierung zu ermöglichen, beschreibt das Lastenheft die erforderlichen Grundfunktionen des zu entwickelnden Informationssystems und einen ersten Entwurf der Plattformarchitektur. Zu den wesentlichen Grundfunktionen gehört zum einen die Erstellung von Prognosemodellen zur Berechnung des Fahraufkommens und der Restreichweite und zum anderen die gezielte Verwendung dieser Ergebnisse zur Berechnung des optimalen Ladezeitpunkts und Ladeorts. Neben einem Web Service zur Datenspeicherung und -verarbeitung umfasst die Architektur noch eine mobile Anwendung sowie eine Webanwendung. Beide Komponenten werden verwendet, um eine lose Kopplung zwischen den vorhandenen Informationssystemen der Taxiunternehmen und dem zu entwickelnden System zu realisieren. Mit Hilfe einer im Konzept vorgesehenen Programmierschnittstelle lässt sich zu einem späteren Zeitpunkt die Integration unternehmensspezifisch vertiefen.

Um die benötigten Funktionen liefern zu können, greift der Web Service auf eine Reihe von externen Diensten zu, die verschiedene Daten bereitstellen müssen. Zu den erforderlichen Daten gehören Wettervorhersagen, Veranstaltungs- und Karteninformationen sowie Informationen über die Position und den Zustand der verfügbaren Ladestationen. Die Ergebnisse der Schnittstellenanalyse der Machbarkeitsstudie zeigen, dass grundsätzlich alle erforderlichen Daten verfügbar sind. Bei einzelnen Daten, z.B. bei der Verfügbarkeit von aktuellen Zustandsinformationen, hängt die Qualität jedoch maßgeblich davon ab, ob die Betreiberunternehmen willens sind, ihre Daten für die Plattform freizugeben. Aus technischer Sicht scheint die Plattform problemlos umsetzbar zu sein, die zu erwartenden Betriebskosten werden als sehr gering eingeschätzt. Das vollständige Lastenheft ist in Anhang III.G zu finden.

Grundlegende Aspekte des Lastenheftes wurden beim 2. Workshop am 5.3.2020 in Duisburg diskutiert (zu den Teilnehmenden vgl. Tab. 2).

**Tab. 2: Teilnehmende des 2. Workshops** (eigene Darstellung)

<b>Teilnehmende</b>	<b>Institution/Unternehmen</b>
<b>Prof. Dr. Heike Proff</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Lisa Kraus</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Lukas Zeymer</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für ABWL & Internationales Automobilmanagement (IAM)
<b>Prof. Dr. Pedro Marrón</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für Networked Embedded Systems (NES)
<b>Dr. Marcus Handte</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für Networked Embedded Systems (NES)
<b>Bijan Shahbaz Nejad</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für Networked Embedded Systems (NES)
<b>Peter Roch</b>	Universität Duisburg-Essen – Lehrstuhl für Networked Embedded Systems (NES)
<b>Dennis Klusmeier</b>	Taxi Düsseldorf eG Taxi-LV-NRW e.V.
<b>Dieter Schwedland</b>	Stadt Düsseldorf
<b>Jeff Witting</b>	Rheinenergie
<b>Randolph Stephany</b>	Auto Stephany/Bundesverband Taxi und Mietwagen
<b>Dr. Gregor Waluga</b>	Stadt Köln (entschuldigt)
<b>Aleksandar Dragicevic</b>	Taxi Ruf (entschuldigt)
<b>Erol Norman</b>	Taxi Norman

Somit war von jeder Stakeholder-Gruppe (IAM, NES, Taxi, Stadt, CPO) ein Vertreter anwesend. Die Projektpartner unterstützten die vorgeschlagene Plattformarchitektur und die Quellen für den Datenbezug. Sie stellten die Bedeutung des Zugangs zum Batterieladezustand (State of Charge, „SOC“) heraus, was über verschiedene Wege geschehen kann, etwa durch

Analyse der On-Board-Diagnostics (OBD)-Schnittstelle des Fahrzeugs oder durch manuelle Eingabe durch den Taxifahrer.

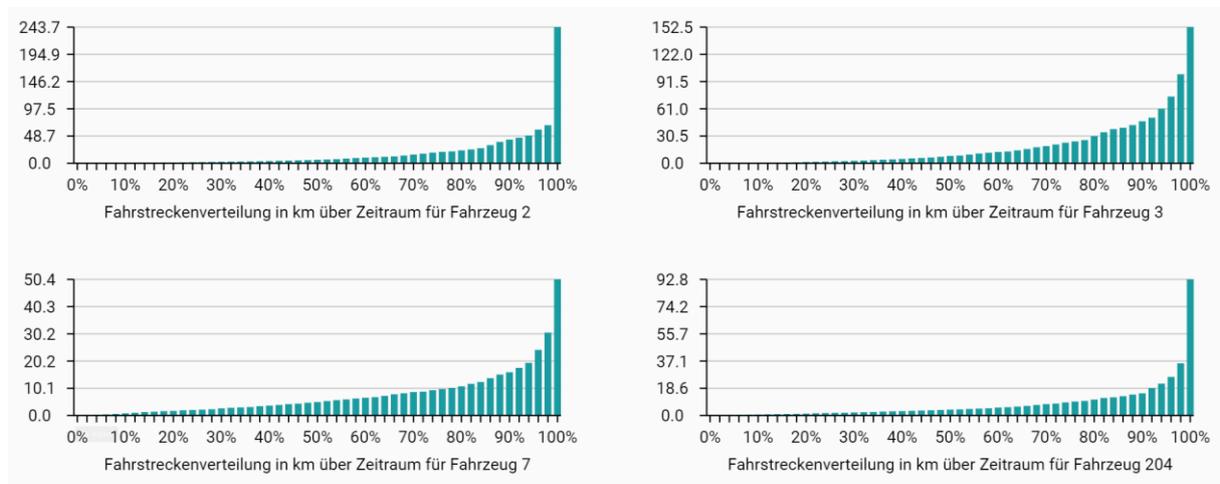
Ferner wurde durch die Taxiunternehmer die Notwendigkeit der einfachen Integration der Plattform in den Taxiablauf betont, welche durch eine Anzeige auf dem Smartphone der Fahrer möglich ist. Die geplante Programmierschnittstelle („Application Programming Interface“, API), die Softwareanbieter nutzen können, wäre die nächste Integrationsstufe, ohne, dass zu viel Mehraufwand durch spezifische Anpassungen für die Plattformbetreiber entsteht. Zusammenfassend wurde festgehalten, dass die Workshop-Teilnehmer das Projektvorhaben befürworten.

Zu diesem Arbeitspaket gehörte auch die Erhebung und Auswertung von Fahrtdaten. Mit den angeschafften Handys als Datenlogger zur statistischen Analyse wurden die Taxifahrten erfasst, um die Eignung von Elektrotaxis zu bestimmen, z.B. die Verteilung von Fahrt- und Wartezeiten. Die durchschnittliche und maximale Fahrdistanz geben Auskunft über die Anforderung an die Batteriekapazität, die durchschnittliche und minimale Wartezeit über die Anforderungen an die Ladegeschwindigkeit und zeitliche Änderungen über die Variabilität der Anforderungen. Regelmäßigkeiten im täglichen Verlauf wurden ebenso erfasst. So sind wiederkehrende Warteorte potenzielle Ladeplätze und die Vorhersagbarkeit der Fahrten bestimmt die Güte der Ladeempfehlungen.

In fünf Taxifahrzeugen wurden durch Handys die Fahrtwege erfasst. Die Daten wurden von NES mit einer eigens hierfür geschriebenen Software für eine kontinuierliche Erfassung der Fahrzeugposition ausgewertet (TZ 2.4). Zuvor testete NES Hard- und Software in einem Fahrzeug. Die Analyseergebnisse wurden beim zweiten Workshop diskutiert und anonymisiert in KW 11 auf der mCLOUD veröffentlicht. Sie stehen Dritten für Analysen zur Verfügung. Die Metadaten sind im RDF/XML-Format unter folgendem Link abrufbar: <https://www.mcloud.de/export/datasets/E0BD87DA-5D6E-411D-8681-41E9F55A54AE>. Dies wurde von mFUND auch im Rundbrief 04/2020 vom 29.04.2020 kommuniziert.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse der Untersuchung beschrieben. Zum Vergleich wurde Daten eines Taxis mit einem Fahrer (Fahrzeug 3), eines Taxis mit mehreren Fahrern (Fahrzeug 2), eines Elektrotaxis (Fahrzeug 7) und eines Taxis eines selbstfahrenden Unternehmers (Fahrzeug 204) analysiert. Ohne Pause (als Pause wurden Standzeiten über zehn Minuten definiert) wurden in 98 Prozent der Fälle Fahrten von unter 100 km getätigt. Im Median betragen die Fahrten weniger als zehn km bis zur nächsten Pause. Für das Elektrofahrzeug und das Fahrzeug des Einzelunternehmers ist gemäß der Analyse des Fahrverhaltens ein reiner Batteriebetrieb mit geringer Batteriekapazität möglich, für die beiden anderen Fahrzeuge wäre eine höhere Batteriekapazität notwendig oder alternativ ein Range Extender, um auch

Fahrtstrecken von über 150 km ohne Pause realisieren zu können. Dies ist auch in Abb. 10 zu sehen.

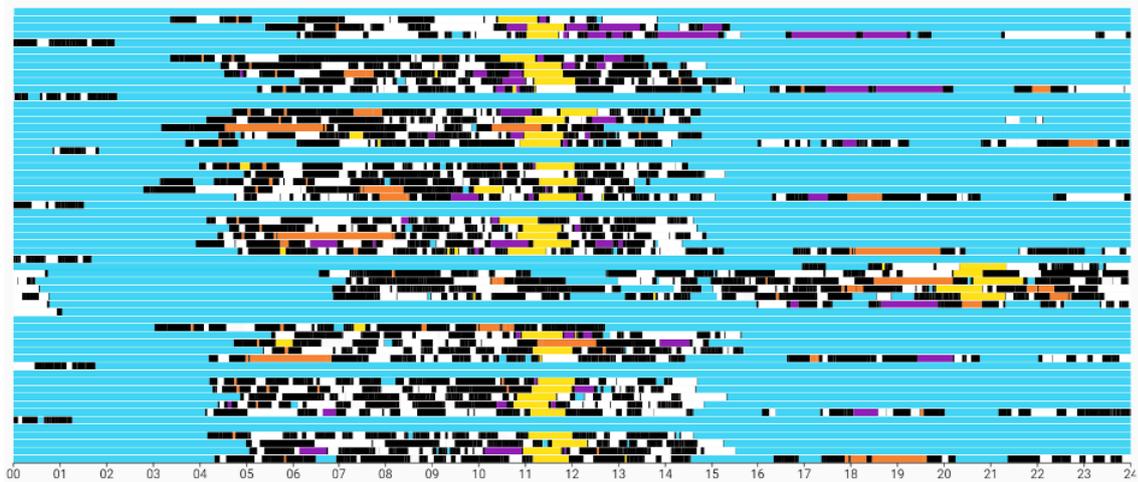


**Abb. 10: Fahrtenverteilung zwischen Pausen von mindestens zehn Minuten**

(eigene Darstellung)

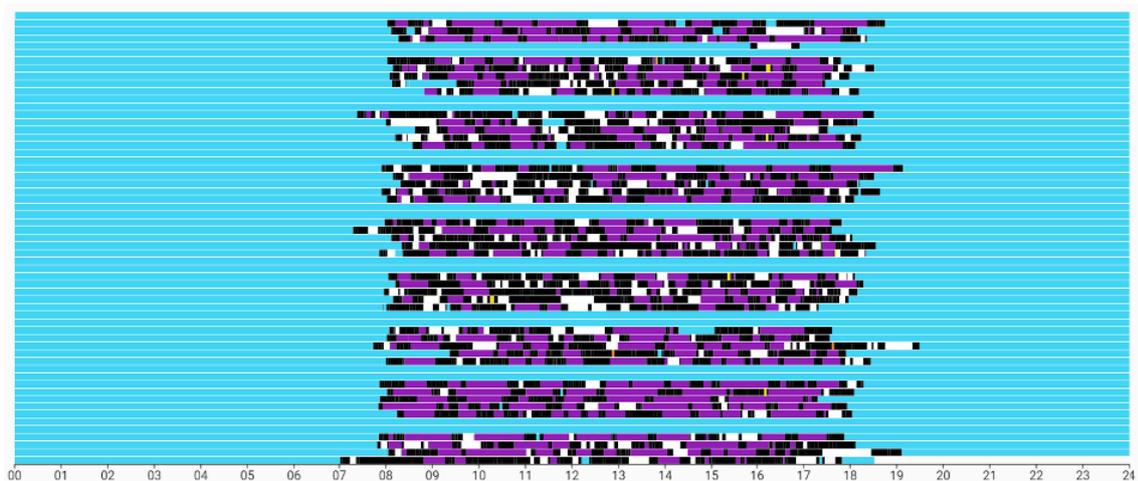
Ob die Pausen auch für das Laden von Elektrofahrzeugen ausreichend wären, wurde im nachfolgenden Schritt analysiert, in welchem die Verteilung von Fahrt- und Standzeiten über 24 Stunden (von Mitternacht bis Mitternacht, auf der x-Achse eingetragen) und mehrere Tage (eine Zeile entspricht einem Tag) genauer betrachtet wurde. Die blaue Einfärbung symbolisiert, dass das Fahrzeug nicht in Betrieb war, schwarze Balken stellen die Fahrten dar, violett sind Standzeiten am Bahnhof, orange Balken Aufenthalte am Flughafen, gelbe Balken Pausen und weiße Balken sonstige Warteorte.

Abb. 11 ist zu entnehmen, dass das Fahrzeug mit Verbrennungsmotor im Zweischiebtbetrieb gefahren wird. Die angefahrenen Orte sind heterogen und wechseln zwischen Bahnhof, Flughafen und sonstigen Warteorten. In der Zeit von 11 bis 12 Uhr wird meist eine Pause gemacht. Das Verhältnis von Stand- zu Wartezeiten stellt sich als recht ausgeglichen dar.



**Abb. 11: Datenauswertung zum Fahrverhalten des angestellten Taxifahrers mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (eigene Darstellung)**

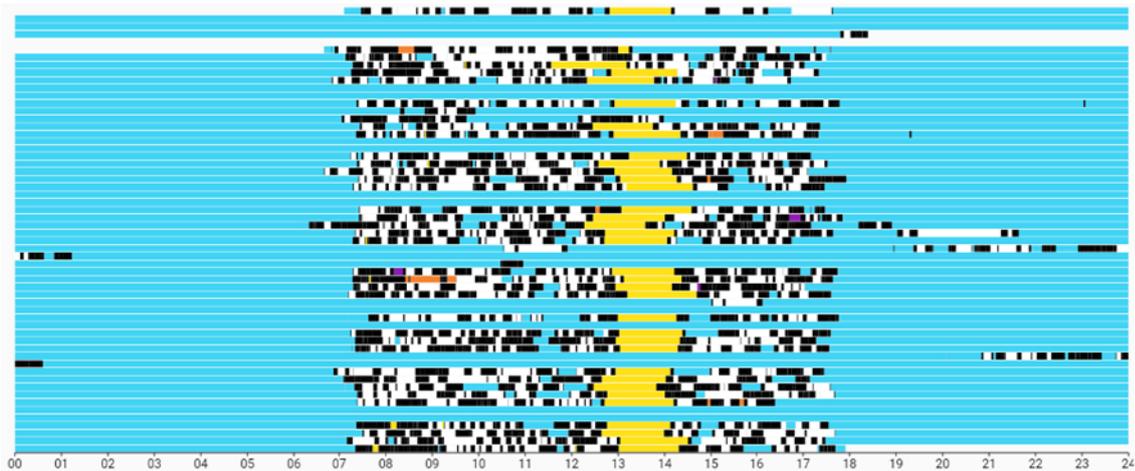
Der selbständige Taxifahrer fährt seine Schicht von ca. 8 bis 18.30 Uhr. Er hält meistens am Bahnhof. Regelmäßigkeiten in den Pausenzeiten und -orten sind in Abb. 12 nicht erkennbar.



**Abb. 12: Datenauswertung zum Fahrverhalten des selbständigen Taxifahrers**

(eigene Darstellung)

Bis auf wenige Ausnahmen fährt das Elektrotaxi in einer Schicht von etwa 7 bis 18 Uhr. Es hält an sehr unterschiedlichen Orten, zu denen der Bahnhof und der Flughafen eher nicht gehören. Zwischen 13 und 14 Uhr macht der Fahrer seine Pause, wie in Abb. 13 visualisiert ist.



**Abb. 13: Datenauswertung zum Fahrverhalten des angestellten Taxifahrers mit Elektrotaxi**  
(eigene Darstellung)

Durch die Datenanalysen sind Regelmäßigkeiten klar erkennbar. Standzeiten und Ladezeiten außerhalb des Fahrtbetriebs sind als Ladezeiten gut zu nutzen. Genauere Erkenntnisse der Analyse sind dem Artikel im Anhang III.H. zu entnehmen.

Die Teilnehmer des Workshops äußerten sich durchweg positiv zur Auswertung und den Ergebnissen. Es wurde auf die unterschiedlichen Fahraufkommen in urbanen und ländlichen Regionen hingewiesen, da etwa in Düsseldorf mehr Wegstrecken als im Untersuchungsgebiet (Mülheim an der Ruhr) zurückgelegt würden. Dementsprechend wurde angemerkt, dass die geplante Plattform (und das durch sie geregelte Laden während der Schicht) umso sinnvoller ist, je höher die Laufleistung der Fahrzeuge ist. Durch den Vertreter der Stadt wurde zudem angemerkt, dass die Auswertung frequentierter Warteplätze auch gerade für die Bestimmung von Orten für zukünftige Ladesäulen von Interesse ist.

Für die Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen konnte auf die Kompetenz von NES zurückgegriffen werden. Grundlage für die Prüfung ist eine Kategorisierung der zu verarbeitenden Daten in Daten mit und ohne Personenbezug. Auf Basis der Zielsetzung des Vorhabens wurde davon ausgegangen, dass insbesondere die Daten über die Zustände und Positionen der Fahrzeuge einen direkten Personenbezug gemäß DSGVO Art. 4 Abs. 1 aufweisen. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass eine Verarbeitung von besonderen Kategorien personenbezogener Daten gemäß DSGVO Art. 9 Abs. 1 nicht stattfinden wird.

Um eine rechtmäßige Verarbeitung der erforderlichen Daten zu gewährleisten, wurde für jede Kategorie der Zweck der Verarbeitung gemäß DSGVO Art. 6 Abs. 1 sowie die erforderliche Speicherdauer bestimmt. Zusätzlich wurde analysiert, in welcher Form die erforderliche Einwilligung für die Datenverarbeitung erfolgen könnte. Weiterhin wurde untersucht, ob und ggf. wie der Personenbezug der Daten mittels Verdichtung und Pseudonymisierung entfernt

werden kann. Letzteres war vor allem bei der Speicherung von statistischen Analysen denkbar. Abschließend wurden die Auswirkungen der Nichtbereitstellung der Daten auf die Funktionen der Plattform identifiziert und dokumentiert und die technischen und organisatorischen Möglichkeiten zur Gewährleistung der Datensicherheit für die verschiedenen Kategorien skizziert. Ausgangspunkt für diese Analyse sind gängige Verfahren zur Gewährleistung der Authentizität, Integrität und Geheimhaltung auf Transportebene (z.B. Transport Layer Security (TLS)) sowie übliche Verfahren zur sicheren Datenspeicherung (z.B. verschlüsselte Datei- und Datenbanksysteme).

### AP 3: Kostenabschätzung und Risikoanalyse

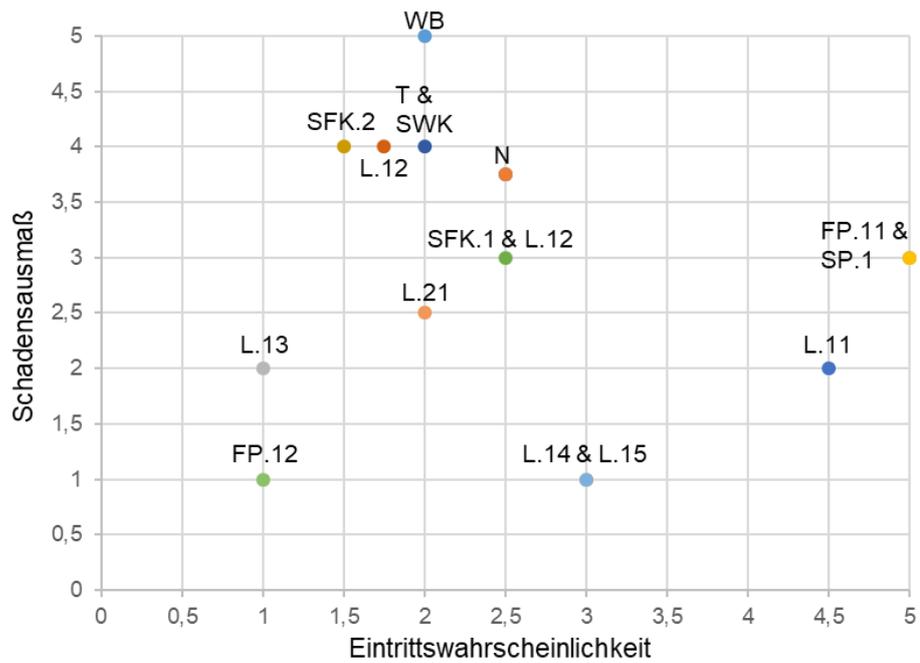
Im dritten Arbeitspaket wurden die Entwicklungskosten abgeschätzt und die Risiken der Projektrealisierung ermittelt sowie Maßnahmen zur Risikominderung erarbeitet. Dies wurde vor dem zweiten Workshop durchgeführt und mit den Teilnehmern bei diesem Workshop diskutiert und validiert.

Die Risikoanalyse erfolgte im zweiten Workshop in zwei Gruppen. Die Vertreter des Taxibetriebs schätzten die für sie relevanten Kosten ab, die Vertreter der Ladeinfrastruktur und der Stadt die ihren. Nach der individuellen Einschätzung wurden die Ergebnisse diskutiert. Ebenso wurden die zuvor im internen Brainstorming erörterten Risiken um zusätzliche Faktoren durch die Teilnehmer erweitert. Die Beschreibung der Risiken ist in Tab. 3 zusammengefasst.

**Tab. 3: Risiken der SmaTa-Plattform** (eigene Darstellung)

Bezug	Abk.	Risiko
Funktion Fahrgastprognose	FP.11	notwendige Daten sind nicht verfügbar oder werden durch die Taxizentrale nicht freigegeben (z.B. aktuelle Auftragslage, Reservierungen)
Funktion Fahrgastprognose	FP.12	das Fahrgastaufkommen ist zu unberechenbar für eine qualitativ ausreichende Prognose
Use Case Ladewunsch/-notwendigkeit	L.11	die Reservierungsfunktion der Ladesäulen ist nicht umsetzbar
Use Case Ladewunsch/-notwendigkeit	L.12	die reservierte Ladesäule kann zugeparkt und nicht zugänglich sein trotz freier Ladeplatzmeldung
Use Case Ladewunsch/-notwendigkeit	L.13	der Taxifahrer muss durch die leere Batterie eine Zwangspause einlegen und verliert dadurch ggf. die Beförderung von Fahrgästen in der Ladezeit
Use Case Ladewunsch/-notwendigkeit	L.14	obwohl erfahrungsgemäß in diesem Zeitfenster keine Fahrgäste kommen, können sie trotzdem anfragen
Use Case Ladewunsch/-notwendigkeit	L.15	auf dem Weg zur Ladesäule oder kurz nach Start des Ladevorgangs können Fahrgäste kommen, der Ladevorgang wird dann nach kurzer Zeit wieder abgebrochen
Use Case Ladevorgang	L.21	Schnittstellen zum LIS-Betreiber sind nicht verfügbar (für Störungsmeldungen, verbleibende Ladedauer, etc.)
Nachfrage	N	keine Nachfrage durch beteiligte Stakeholder
fehlende Kooperationsbereitschaft	SFK.1	wenig Interesse der Projektpartner zur Integration ihrer Daten in die Plattform
fehlende Kooperationsbereitschaft	SFK.2	kein Interesse von unverzichtbaren Schlüsselpartner
Funktion Restreichweitenprognose	SP.1	die Schnittstelle zum Fahrzeug ist nicht verfügbar.
Funktion Restreichweitenprognose	SP.2	die Restreichweite wird ungenau berechnet.
wenige kooperierende Elektrotaxi-Unternehmen	SWK	die Anzahl der Elektrotaxiunternehmen/der Elektrofahrzeuge in Taxiunternehmen ist zu gering
Use Case Fahrmodusempfehlung/Routing	T	keine Schnittstelle zum Fahrer
Betriebskosten	WB	kein wirtschaftlicher Betrieb der fertigen Plattform möglich

In Abb. 14 ist die zusammengestellte Risikomatrix zu sehen. Die Risikoarten sind darin nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet, wobei die jeweils relevanten Stakeholder die Einschätzung zusammen durchgeführt haben. bewertet. Die Risiken, die ein sehr hohes Schadensausmaß und eine große Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen, werden als kritisch eingestuft. Diese sind nicht aufgetreten.



**Abb. 14: Risikomatrix für die SmaTa-Plattform** (eigene Darstellung)

Zur Risikominderung wurden mit den Workshop-Teilnehmern Maßnahmen überlegt. In Tab. 4 sind alle Maßnahmen zur Verminderung der Risiken aufgelistet, wie sie im zweiten Workshop genannt wurden.

**Tab. 4: Maßnahmen zur Verminderung der Risiken für die SmaTa-Plattform**

(eigene Darstellung)

Abk.	Risiko	Maßnahme
FP.11	notwendige Daten nicht verfügbar oder werden durch Taxizentrale nicht freigegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prognose auf Basis des bisherigen Fahraufkommens durch GPS-Positionsdaten</li> </ul>
FP.12	Fahrgastaufkommen zu unberechenbar für qualitativ ausreichende Prognose	<ul style="list-style-type: none"> <li>siehe Tool NES (Auswertung und Simulation)</li> </ul>
L.11	die Reservierungsfunktion der Ladesäulen ist nicht umsetzbar	<ul style="list-style-type: none"> <li>langes Ladekabel</li> </ul>
L.12	die reservierte Ladesäule kann zugeparkt und nicht zugänglich sein trotz freier Ladeplatzmeldung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forderung: Stadt muss Ladeinfrastruktur an Warteplätzen bereitstellen</li> <li>Negativbeschilderung,</li> <li>Ladeplätze speziell für E-Taxis</li> </ul>
L.13	Taxifahrer muss durch leere Batterie Zwangspause einlegen und verliert dadurch ggf. die Beförderung von Fahrgästen in der Ladezeit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>sehr abhängig vom Fahrzeugtyp (mit Range Extender oder nicht) -&gt; genaue Analyse des Fahraufkommens vor der Anschaffung</li> </ul>
L.14	obwohl erfahrungsgemäß in der Zeit keine Fahrgäste kommen, können sie trotzdem anfragen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Festlegung des Mindestladezustands zur Sicherheit</li> </ul>
L.15	auf dem Weg zur Ladesäule oder kurz nach Start des Ladevorgangs können Fahrgäste kommen und der Ladevorgang wird dann nach kurzer Zeit wieder abgebrochen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Festlegung des Mindestladezustands für die Fahrt</li> </ul>
L.21	Schnittstellen zum Ladeinfrastrukturbetreiber sind nicht verfügbar (für Störungsmeldungen, verbleibende Ladedauer, etc.).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datenaustausch</li> <li>Standardschnittstelle</li> <li>geringfügige Beteiligung auf Selbstkostenbasis</li> </ul>
N	keine Nachfrage durch beteiligte Stakeholder	<ul style="list-style-type: none"> <li>abhängig von Investitionen der Stakeholder</li> <li>Gesetzesentwurf: Prozentsatz von Elektrofahrzeugen bei den Taxikonzessionen der großen Unternehmen</li> <li>Anpassung des Geschäftsmodells</li> </ul>
SFK.1	wenig Interesse der Projektpartner zur Integration ihrer Daten in die Plattform	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anreize schaffen</li> </ul>
SFK.2	kein Interesse von unverzichtbaren Schlüsselpartner	<ul style="list-style-type: none"> <li>Öffentlichkeitsarbeit</li> <li>Projektmittel zur Kostendeckung</li> </ul>
SP.1	Schnittstellen zum Fahrzeug sind nicht verfügbar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auslesen der OBD-Schnittstelle</li> </ul>
SP.2	Restreichweite wird ungenau berechnet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>bisherige Prognose laut Fahrzeuganzeige</li> <li>Gesetzesentwurf: Schnellladesäulen an allen Tankstellen, Berechnung aufgrund bisheriger Daten</li> </ul>
SWK	Anzahl der Elektrotaxiunternehmen/ der Elektrofahrzeuge im Taxiunternehmen zu gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Information der Taxifahrer über Vorteile der Elektrofahrzeuge</li> </ul>
T	keine Schnittstelle zum Fahrer/ Fahrzeug.	<ul style="list-style-type: none"> <li>manuelle Eingabe des SoC</li> </ul>

Da schon zuvor als weiteres Risiko der Autonomieverlust gegenüber der Taxizentralensoftware identifiziert wurde, soll die Plattform so entwickelt werden, dass Abhängigkeiten von

Stakeholdern des Taxibetriebs bezüglich der Daten minimiert werden. Anstatt der angestrebten Integration der Plattform in bestehende Systeme soll deshalb ein Graphical User Interface (GUI) für Zentralen bzw. eine App für Fahrer entwickelt werden, die auf Wunsch erworben werden können.

Auch die Abschätzung der Entwicklungskosten wurde vor den Workshops von IAM und NES vorbereitet sowie im zweiten Workshop durch die Teilnehmer validiert. Den größten Kostenfaktor stellen die Entwicklungskosten dar, größtenteils bestehend aus den Kosten für die Informatiker, die die App, die Webapp und weitere Services für das Basissystem, das erweiterte und anschließend das optimierte System entwickeln. Zudem fallen Kosten für Server als Investition und variable Kosten für den Zugriff auf die verschiedenen Datenquellen an. In Tab. 5 und Tab. 6 sind die Personalkosten für die Entwicklung und sonstige Kosten dargestellt.

**Tab. 5: Arbeitsaufwand und Personalkosten für die Entwicklung der SmaTa-App**

(eigene Darstellung)

Arbeitspaket	Personenmonate	Kosten
App-Entwicklung	11	64.460 €
Entwicklung Web-App	9	53.912 €
Service	32	195.853 €
Sonstige Arbeiten	20	123.909 €
<b>Gesamtkosten</b>		<b>438.134 €</b>

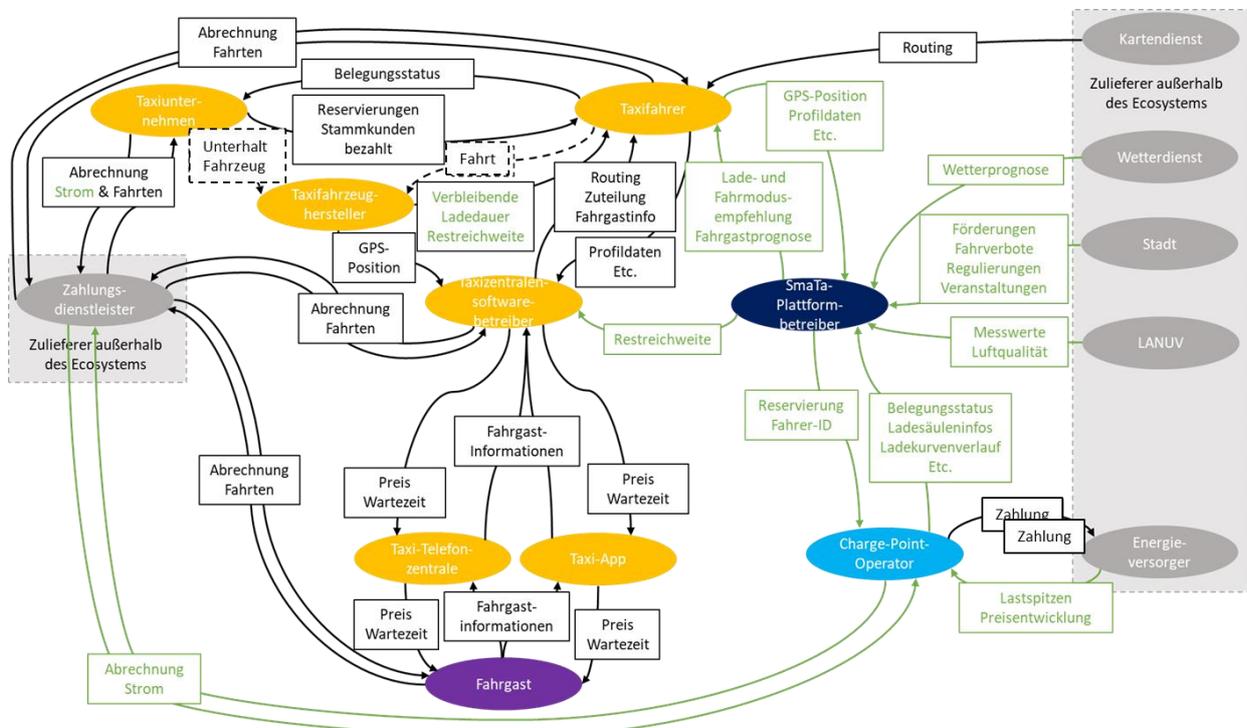
**Tab. 6: sonstige Kosten für die Entwicklung der SmaTa-App** (eigene Darstellung)

Kosten	Kosten
Freischaltung App Android (einmalig)	25 €
Freischaltung App iOS (einmalig, optional)	100 €
Serverbetrieb intern (einmalige Anschaffung)	20.000 €
Serverbetrieb extern (4 Stk à 150 €/M über 36 M)	25.200 €

Insgesamt belaufen sich die Entwicklungskosten auf 458.150 € bis 463.460 €. Da ein langfristiger Betrieb der Plattform angestrebt wird, amortisieren sich die Kosten für die Integration der Schnittstellen (z.B. des DWDs) auf lange Sicht, weil sich das Abonnement von frei integrierbaren Daten auf höhere Kosten belaufen würde. Der Verzicht auf laufende Abonnements stellt somit langfristig eine Einsparmaßnahme dar.

Zusätzlich werden weitere Kosten anfallen, die mit der Verwaltung zusammenhängen und mit der Entschädigung für den Testbetrieb, z.B. für Strom in der Testphase.

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie ist aus wirtschaftlicher Perspektive das in Abb. 15 dargestellte Ecosystem. Klar erkennbar sind die komplexe Struktur und die multilateralen Verknüpfungen der Informationsflüsse. Die „taxigelben“ Stakeholder sind dem traditionellen Taxigewerbe zuzuordnen, vor allem auf der rechten Seite sind die Partner aufgeführt, die für die neuen Funktionen im Kontext der Elektrifizierung der Taxis notwendig sind. Die Abbildung zeigt, dass das Gesamtsystem aus zwei abgrenzbaren Seiten besteht, der linken Taxi-Seite und der rechten „SmaTa“-Seite. Grau hinterlegt sind Zulieferer und Dienstleister als nicht aktiver Teil des Ecosystems. Schwarze Pfeile und Informationen sind bereits jetzt vorhanden, in grün sind neue Informationsflüsse und Daten dargestellt, gestrichelte Informationsflüsse sind nicht digital. Zur besseren Lesbarkeit werden einige Informationsflüsse vereinfacht dargestellt.



**Abb. 15: Stakeholder und Informationsflüsse in der SmaTa-Plattform** (eigene Darstellung)

Kritische Punkte der Machbarkeitsstudie sind der Zugang zu den in der Abbildung grün dargestellten Daten. Einen Mehrwert liefert die Fahrgastprognose, für die Daten der bilateral mit der Plattform verbundenen Stakeholder benötigt werden. Dazu gehört die Wetterprognose durch den Wetterdienst, Messwerte der Luftqualität vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) und Veranstaltungen oder kommunale Fahrverbote. Da diese Informationen als Open Data zur Verfügung stehen, ist die Datenverfügbarkeit gesichert. Der CPO und der Taxifahrer sind wichtige Mitglieder des Ecosystems, da sie multilaterale Beziehungen mit den weiteren Mitgliedern verbinden und der Plattform „SmaTa 2.0“ eine Vielzahl an kritischen Daten liefern. Die von der Plattform berechnete Ladeempfehlung

wird dem Taxifahrer als Hintergrund-App bereitgestellt und der Zentrale die Restreichweite per graphischer Benutzeroberfläche angezeigt.

#### AP 4: Untersuchung der Schnittstellenkompatibilität

Bezüglich der Schnittstelle zur Bereitstellung von Informationen über den Ladezustand des Fahrzeugs wurde die Integration mit der On Board Diagnostics (OBD)-Schnittstelle überprüft. Für Fahrzeuge des Herstellers LEVC ist das Auslesen dieser Schnittstelle problemlos möglich. Sollte eine solche Fahrzeugintegration bei anderen Herstellern nicht möglich sein, kann der Ladezustand ggfs. auch beim Laden über die Schnittstellen des CPOs erfasst werden oder lediglich auf Basis der bereits gefahrenen Strecke abgeschätzt werden. In diesem Fall müsste jedoch mit einer geringeren Datenqualität gerechnet werden.

Die Schnittstellenkompatibilität zur Ladesäule ist auch gegeben. Dies ging aus einem Austausch mit Rheinenergie hervor. Die Funktionen werden für den unternehmensinternen Betrieb bereits eingesetzt. In Gesprächen zur möglichen Kooperation im Folgeprojekt wurde festgelegt, dass der CPO selbst beim Auslesen unterstützen wird.

## **2. Erweiterte Analyse der Fahrtdaten in der zweiten Projektphase**

Im Rahmen der Verlängerung der Machbarkeitsstudie wurden die Analysen der erfassten Taxifahrten um verschiedene Szenarien erweitert, mit denen die Effekte unterschiedlicher Optimierungsstrategien untersucht werden können. Zu diesem Zweck wurde die in der Machbarkeitsstudie entwickelte Analysesoftware um ein konfigurierbares Batterie- und Lademodell erweitert. Mit Hilfe der Erweiterungen wurde dann anschließend simuliert, wie hoch der Anteil der elektrisch realisierbaren Fahrstrecken wäre, wenn die erfassten Taxis über einen elektrischen Antrieb verfügen würden.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über einige der Analyseergebnisse für vier verschiedene Fahrzeuge und vier verschiedene Optimierungsmöglichkeiten. Die Gesamtfahrstrecke der einzelnen Fahrzeuge variiert zwischen 3.217 km (Fahrzeug 2) und 8.569 km (Fahrzeug 1). Werden diese Fahrzeuge mit einem zusätzlichen Elektromotor ausgestattet, dessen Batterie über eine Kapazität von 100 km verfügt und die lediglich in sehr langen Nutzungspausen mit einer Minimaldauer von drei Stunden geladen werden, dann lassen sich zwischen 53 Prozent (Fahrzeug 1) und 69 Prozent (Fahrzeug 4) der Strecke elektrisch zurücklegen.

Wird die Batteriekapazität um den Faktor 3, d.h. von 100 km auf 300 km vergrößert, so lassen sich 96 bis 100 Prozent der Strecke im Batteriebetrieb bewältigen. Da eine solche Kapazitätserhöhung jedoch mit hohen Kosten verbunden ist, wird im zweiten Szenario untersucht, wie sich die Erhöhung der Ladegeschwindigkeit auswirken würde. Da die Kapazität der Batterie mit 100 km eher als gering betrachtet werden kann, wird gleichzeitig davon ausgegangen, dass diese bei Pausen von einer Stunde und mehr nachgeladen wird. Hier zeigt sich, dass selbst bei einer Verdreifachung der Ladestärke nur bis zu 83 Prozent der Strecke elektrisch zurückgelegt werden können. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich, wenn statt der Ladestärke die Ladehäufigkeit erhöht wird. Auch hier lassen sich selbst beim regelmäßigen Laden in allen Pausen, die länger als 30 Minuten sind, nur zwischen 84 und 88 Prozent der Strecken elektrisch zurücklegen. Eine sinnvolle Alternative ist die Kombination von leicht erhöhter Batteriekapazität (z.B. 150 bis 200 km) und gleichzeitiger Ausdehnung der Ladevorgänge auf längere Pausen. Hierbei könnten ebenfalls häufig mehr als 90 Prozent der Strecken elektrisch zurückgelegt werden, wobei die Anschaffungskosten entsprechend reduziert wären. Die Ergebnisse sind in Tab. 7 zusammengefasst.

**Tab. 7: Ergebnisse der erweiterten Analyse der Fahrtdaten** (eigene Darstellung)

				Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3	Fahrzeug 4
Strecke (km)				8281	8569	3217	6230
Szenario	Kapazität	Ladung	Laden bei Halt	% der Strecke auf Batteriebetrieb			
<b>Größere Batterie</b>	100km	50km/h	> 3h	53	49	67	69
	200km	50km/h	> 3h	84	85	97	93
	300km	50km/h	> 3h	96	98	100	99
<b>Stärker Laden</b>	100km	50km/h	> 1h	77	68	83	82
	100km	100km/h	> 1h	80	70	83	83
	100km	150km/h	> 1h	80	70	83	83
<b>Häufiger Laden</b>	100km	50km/h	> 3h	53	49	67	69
	100km	50km/h	> 2h	56	52	73	69
	100km	50km/h	> 1h	77	68	83	82
	100km	50km/h	> 0,5h	85	84	86	88
<b>Kombination</b>	100km	50km/h	> 1h	77	68	83	82
	150km	50km/h	> 1h	90	86	94	91
	200km	50km/h	> 1h	95	95	100	95

Diese Zusammenhänge verdeutlichen nicht nur den begrenzten Effekt von erhöhten Ladeleistungen, sondern unterstreichen auch die möglichen positiven Auswirkungen einer smarten Ladepattform auf den Taxibetrieb.

### 3. Untersuchung des Geschäftsmodells

Für den wirtschaftlichen Erfolg der Plattform auch über ein Folgeprojekt hinaus ist ein fundiertes Geschäftsmodell erforderlich. Im Folgenden werden Geschäftsmodelle in Anlehnung an Proff (2019, S. 74) durch die Wertarchitektur, den Wettbewerbsvorteil und das Nutzenversprechen auf der leistungsbezogenen Achse und durch die Ressourcenallokation und das Gewinnmodell auf der Finanzachse bestimmt<sup>5</sup>. Diese fünf Komponenten von Geschäftsmodellen wurden durch Elemente des St. Galler Business Model Canvas<sup>6</sup> ausdifferenziert.

Die erste Wahlentscheidung bei der Entwicklung eines Geschäftsmodells betrifft die Ressourcenallokation. Im Business Model Canvas beziehen sich die Elemente „Schlüsselressourcen“ und „Kundensegmente“ auf diese Entscheidung. Für das SmaTa-Wertangebot werden primär Schlüsselressourcen in Form von Daten benötigt, z.B. die Position der Taxifahrzeuge und ihr Batteriezustand, die Wettervorhersage und die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur. Hinzu kommen physische Schlüsselressourcen in Form der Ladeinfrastruktur und der Fahrzeuge, über die auch Daten freigegeben werden, und die Serverinfrastruktur, etwa zur Berechnung der Prognosemodelle. Ferner sind die Software-Entwickler wichtig, ebenso wie Eigen- sowie Fremdkapital nach der Anschubfinanzierung als finanzielle Ressourcen. Für die Distributionskanäle ist der Zugang zu den App-Stores nötig, für die Kundenbeziehungen ist ein Kundendienst vorgesehen. Schließlich ist die Integration eines Bezahl diensts Schlüsselressource für die Einnahmequellen. Bei den Kundensegmenten handelt es sich primär um Taxiunternehmen mit Elektrofahrzeugen. Der Fokus liegt somit auf einem engen Wettbewerbsfeld, also einem Nischenmarkt. Dies wird umso deutlicher, wenn die Anzahl von Elektrotaxis in Deutschland betrachtet wird. Diese betrug 2016 knapp 100 und machte damit einen Anteil von 0,18 Prozent an der Gesamtaxiflotte aus<sup>7</sup>.

Die zweite Wahlentscheidung betrifft den Wettbewerbsvorteil. Hier ist zwischen niedrigen Kosten, der Differenzierung, dem hybriden Vorteil einer kostenminimalen Differenzierung und der Innovationsfähigkeit auszuwählen. Da SmaTa eine völlig neue Dienstleistung anbietet, ist

---

<sup>5</sup> Proff, H. (2019): Multinationale Automobilunternehmen in Zeiten des Umbruchs. Herausforderungen - Geschäftsmodelle - Steuerung. Wiesbaden: Springer.

<sup>6</sup> Osterwalder, A. und Pigneur, Yves (2020): Business Model Generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. Hoboken: Wiley, pp. 16-19.

<sup>7</sup> www.heise.de (2018): [Elektromobilität: Auf deutschen Straßen rollen kaum E-Taxis. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektromobilität-Auf-deutschen-Straßen-rollen-kaum-E-Taxis-4052839.html> (Abruf am 15.06.2020). Für das Jahr 2020 liegen zum Stand 13.08.2020 noch keine aktuelleren Zahlen vor.

<sup>8</sup> Dieser Anteil wird sich aufgrund der Beschlüsse zur Luftreinhaltung in Städten und zur Einführung einer „E-Quote“ beim Kauf neuer Taxis ähnlich dem Bestand der E-Fahrzeuge in Deutschland exponentiell entwickeln (s. dazu das Gewinnmodell).

Innovationsfähigkeit nötig. Sie zeichnet sich durch die agile Entwicklung in Rekursionsschleifen und die Einbindung aller relevanten Stakeholder zur kontinuierlichen Plattformverbesserung aus. Da eine eigenständige und grundlegend neue Lösung für den Taxianwendungsfall entwickelt wird, für die auch neuartige Prognosemodelle geschaffen werden, ist die SmaTa-Plattform mehr als eine reine Differenzierung von anderen Charging-App-Angeboten.

Die dritte Wahlentscheidung betrifft die Wertarchitektur. SmaTa als Plattformbetreiber wird als „Orchestrator“ auftreten, der ähnlich einem Dirigenten mit seinen Partnern in einem Netzwerk (strukturelles Ecosystem<sup>9</sup>) verbunden ist und sie als Ecosystem-Leader koordiniert. Dieses Ecosystem lässt sich durch die Schlüsselpartner und Schlüsselaktivitäten gemäß Business Model Canvas kennzeichnen. Schlüsselpartner sind alle Ecosystem-Mitglieder von SmaTa, also der CPO, die Taxiunternehmen und teilweise die Energieversorger. Der Deutsche Wetterdienst, das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV), die Städte und die Fahrzeughersteller liefern Daten und sind daher Schlüssel-„Lieferanten“ für SmaTa. Mit dem CPO ist eine strategische Allianz einzugehen, mit den Taxiunternehmen steht SmaTa in einer Anbieter-Nachfrager-Beziehung. Schlüsselaktivitäten im Rahmen des Wertangebotes sind Datenbereitstellung und -integration sowie die Entwicklung der Prognosemodelle für die Ladeempfehlungen. Dabei müssen die Distributionskanäle den Zugang zur Online Plattform bereitstellen. Für die Kundenbeziehungen ist die Herstellung einer persönlichen Kontaktmöglichkeit entscheidend. Die Einrichtung eines automatisierten Bezahlvorgangs, etwa über PayPal, ist eine Schlüsselaktivität, um Einnahmen zu generieren.

Das Nutzenversprechen ist Gegenstand der vierten Wahlentscheidung. Gemäß dem St. Gallener Business Canvas ist dafür auch die Gestaltung der Distributionskanäle und Kundenbeziehungen wichtig. Die Kunden von SmaTa sollen über die Kanäle App (die Taxifahrer) und Telefon (die Taxizentralen) erreicht werden, statt wie bisher über E-Mails und Anrufe, weil die App stärker in die Kundenabläufe integriert werden kann. Um die App erst einmal bekannt zu machen, soll zunächst öffentlichkeitswirksam über das Projekt berichtet werden, etwa auf Taximessen und in der Zeitschrift Taxi Times. Anschließend ermöglichen Kundenbewertung eine Verbesserung der App - durch direktes Feedback oder durch die Möglichkeit, im App-Store Rezensionen zu verfassen. So kann gemeinsam (**interaktiv**) mit den Kunden (durch „value co-creation“) ein modulares Angebot entwickelt und im Internet bereitgestellt werden, das sich nach der Kontaktaufnahme über die Website kundengenau (**individuell**) anpassen lässt. Angeboten werden z.B. Informationen zur Reichweite der E-Taxis und dazu, ob sie noch für den nächsten Auftrag einsetzbar sind. Taxifahrer werden damit unterstützt, zu entscheiden, wann

---

<sup>9</sup> Adner, R. (2017): Ecosystem as a structure: An actionable construct von strategy. In: Journal of Management, Vol. 43 (1), S. 39-58.

sie wo laden, ohne dafür Kundenaufträge ablehnen zu müssen. Taxiunternehmen werden bei der Fahrtenzuteilung unterstützt und sie können ihre Ökobilanz verbessern sowie Kosten einsparen. Über eine Programmierschnittstelle kann die Plattform bei Bedarf auch in die Software der Zentrale **integriert** werden. Die persönliche Ansprache potenzieller Kunden ist für die Vermittlung wichtig. Nach dem Kauf wird den Taxizentralen eine Support-Hotline angeboten, während die Taxifahrer per Klick in der App Unterstützung bekommen können. Durch die Feedbackschleifen zum Web Service und zur App durch die Nutzer selbst wird die Anwenderfreundlichkeit erhöht. Damit steht nicht mehr das traditionelle „produkt- bzw. dienstleistungsdominierte“ Nutzenversprechen (Versprechung einer Dienstleistung im Taxibetrieb) im Vordergrund, sondern ein neues „servicedominiertes“<sup>10</sup> Nutzenversprechen. Sie bietet datengetrieben in Interaktion mit dem Kunden eine integrierte und individualisierte Lösung für den Taxi- und Ladebetrieb und damit Interaktions-, ein Integrations- und ein Individualisierungsversprechen. SmaTa bietet damit einen funktionalen, ökonomischen und ökologischen Nutzen.

Die fünfte und letzte Wahlentscheidung betrifft das Gewinnmodell. Es ergibt sich aus den übrigen Komponenten des Geschäftsmodells und umfasst die Einnahmequellen und die Kostenstruktur gemäß dem Business Model Canvas. Einnahmen werden generiert, wenn die Taxifahrer für die Fahr- und Ladeempfehlungen und die Taxizentralen für die „State of Charge“ (SoC)-Anzeige zahlen und wenn die Option genutzt wird, Daten über eine Datenschnittstelle in die Software der Taxizentralen zu integrieren. Aktuell gibt es kein vergleichbares Leistungsangebot, weshalb die Taxiunternehmen gegenwärtig höhere Opportunitätskosten zahlen. Weitere Einnahmequellen sind Nutzungsgebühren in Form von Abonnements, Lizenzen für Softwarebetreiber und Werbung. Kosten fallen hauptsächlich für die Entwicklung von SmaTa-Plattform und App an, vor allem zu Beginn, aber auch für die Weiterentwicklung und Modifikationen. Die Kosten sind hauptsächlich fix, da die Gehälter den größten Posten darstellen. Daher ist es wichtig, „asset-light“, also mit einer geringen Mitarbeiteranzahl, zu arbeiten. Eine erste Abschätzung des Gewinnmodells für den Anbieter der SmaTa-Plattform und App wird im Folgenden vorgestellt.

---

<sup>10</sup> Vargo S.L., Lusch, R.F. (2004): Evolving for a new dominant logic for marketing. In: Journal of Marketing, Vol. 68 (1), S. 1-17.

## 4. Abschätzung des Gewinnmodells

Rahmenbedingungen (1) sowie Kosten (2) und Erlöse (3), d.h. vor allem Werbeeinnahmen und Einnahmen aus Abonnements der SmaTa-App als Bestandteile des Gewinnmodells werden hier zunächst für einen Zeitraum von drei Jahren betrachtet.

### (1) Rahmenbedingungen

Jährlich werden bei einer Gesamtflotte von 90.000 Taxi- und Mietfahrzeugen 12.000 bis 15.000 neue Fahrzeuge als Taxis oder Mietwagen zugelassen. Die Flotte verjüngt sich gegenwärtig deutlich, da im Mittel alle drei Jahre neue Fahrzeuge angeschafft werden. Gründe dafür sind neben dem Ablauf der Garantiefrist aktuelle Diskussionen über den Umweltschutz und Kaufprämien<sup>11</sup>. Daher wird im Folgenden auch von 15.000 neu zugelassenen Taxis und Mietwagen pro Jahr ausgegangen.

Im Jahr 2024 wird der prognostizierte Anteil der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen an den Gesamtzulassungen in Deutschland bei knapp 11 Prozent liegen<sup>12</sup>, der Anteil der Taxis dürfte aufgrund zunehmender Förderungen, um kommunale Luftreinhaltepläne einhalten zu können, jedoch höher liegen. Wir rechnen mit 25 Prozent (3.750 Elektrotaxis). So stehen beispielsweise in Berlin Fahrverbote auch für Taxis im Raum<sup>13</sup>, in Düsseldorf sind Förderprogramme für Elektrotaxis und Ladeinfrastruktur geplant<sup>14</sup>, in Stuttgart wird die Ladeinfrastruktur direkt am Taxistand und exklusiv für Elektrotaxis aufgebaut<sup>15</sup> und in München werden kundenbesetzte E-Taxifahrten mit 0,20 Euro pro Kilometer gefördert<sup>16</sup>.

Nach Diskussion mit Mitgliedern des Projektkonsortiums wird aufgrund der Auswahl an Fördermaßnahmen für Elektrotaxis bei gleichzeitig noch nicht vorhandener Konkurrenz für SmaTa

---

<sup>11</sup> Interview mit Herrn Wilhelmsmeyer (stellv. Geschäftsführer Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V.) am 19.06.2020.

<sup>12</sup> Falk et al. (2020): Accelerating the transition to electric mobility in Germany to comply to regulatory requirements. In: International Journal of Automotive Technology and Management (eingereicht).

<sup>13</sup> www.taxi-heute.de (2019): [Diesel-Fahrverbot droht auch Taxis in Berlin]. Verfügbar unter: <https://www.taxi-heute.de/de/news/abgase-abgasnormen-und-vorschriften-diesel-fahrverbot-droht-auch-taxis-berlin-19463.html?fbclid=IwAR2CFI3ax3UMKqq7Lc4HSLNHskXkXjvTF4Njz-pEM3qadDCIF67nSqAMm4gs> (Abruf am 15.06.2020).

<sup>14</sup> Bezirksregierung Düsseldorf (2019): Luftreinhalteplan Düsseldorf 2019. Verfügbar unter: [http://www.bezreg-duesseldorf.nrw.de/Umweltschutz\\_Luftreinhaltung/pdf/Luftreinhalteplan\\_Duesseldorf\\_2019.pdf](http://www.bezreg-duesseldorf.nrw.de/Umweltschutz_Luftreinhaltung/pdf/Luftreinhalteplan_Duesseldorf_2019.pdf): S. 50 (Abruf am 15.06.2020).

<sup>15</sup> www.sueddeutsche.de (2019): [Erste Stuttgarter Schnellladestation für E-Taxis am Netz]. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/umwelt-stuttgart-erste-stuttgarter-schnellladestation-fuer-e-taxis-am-netz-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-191217-99-177531> (Abruf am 15.06.2020).

<sup>16</sup> www.muenchen.de (2020): [Förderprogramm E-Taxis: Referat für Gesundheit und Umwelt, SG E-Mobilität München]. Verfügbar unter: <https://www.muenchen.de/dienstleistungsfinder/muenchen/10226328/> (Abruf am 15.06.2020).

im ersten Jahr nach der Ausgründung ein Marktanteil von 30 Prozent (1.125 Elektrotaxis) angenommen. Dieser wird bis 2025 auf 50 Prozent (1.875 Elektrotaxis) und bis 2026 auf 70 Prozent (2.625 Elektrotaxis) steigen. Die Steigerung wird angenommen, da mit zunehmender Nutzerzahl der Bekanntheitsgrad wächst und so auch mehr Taxiunternehmer von SmaTa erfahren werden. Mehr Kundendaten verbessern zudem die Prognosen und somit die Plattform insgesamt.

## (2) Kosten

Der größte Kostenpunkt von SmaTa sind die Personalkosten, vor allem im ersten Jahr. Da dann die Verwertung der Plattform in weiteren Städten geplant ist, wird ein Mitarbeiter zu 100 Prozent und ein weiterer zu 50 Prozent beschäftigt sowie eine Hilfskraft angestellt. Den variablen Kostenanteil bildet die Versicherung, die sich auf zwei Prozent des Umsatzes beläuft. Dementsprechend hat der Preis als Determinante des Umsatzes auch Auswirkungen auf die Versicherungskosten. Weitere Kostenfaktoren sind ein Server (2.666 € p.a.), die IT-Infrastruktur (2.000 € p.a.), die Miete eines Büroraums (6.000 € p.a.) und Ausgaben für Telefon und Internet (360 € p.a.). Im zweiten Jahr werden noch vier Personenmonate (PM) für SmaTa benötigt, im dritten Jahr nur noch drei. Die Ausgaben für die Versicherung steigen minimal, da der Umsatz unter der Annahme eines inkrementell steigenden Marktanteils ebenso zunimmt. Entsprechend differieren die Kosten je nach Preis des Monatsabonnements minimal. Tab. 8 zeigt die Kosten für die verschiedenen Jahre je nach Preis des Abonnements.

**Tab. 8: Kosten für SmaTa nach Jahr und Preis** (eigene Darstellung)

	Marktanteil	Preis = 1,00 € <sup>17</sup>	Preis = 2,00 €	Preis = 3,00 €
2024	30 %	105.049,17 €	105.071,67 €	105.094,17 €
2025	50 %	31.064,17 €	31.101,67 €	31.139,71 €
2026	70 %	26.079,17 €	26.131,67 €	26.184,17 €

## (3) Erlöse

Zunächst werden durch die Schaltung von Werbung in der SmaTa-App Einnahmen generiert. Diese unterscheiden sich für Android- und iOS-Betriebssysteme, wobei rund 70 Prozent der User Android- und 30 Prozent iOS-Betriebssysteme besitzen<sup>18</sup>. Die Erlöse unterscheiden sich

<sup>17</sup> Preise pro User und Monat

<sup>18</sup> [www.gs.statcounter.com](https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/germany/#monthly-200901-202005) (2020): [Mobile Operating System Market Share Germany]. Verfügbar unter: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/germany/#monthly-200901-202005> (Abruf am 23.06.2020).

auch nach der Anzahl der Nutzer der App (Exposed Users), welche sich wiederum nach dem Marktanteil richten (vgl. Tab. 9). Die jährlichen Werbeeinnahmen belaufen sich für iOS-Nutzer auf 2,62 € und für Android-Nutzer auf 2,71 €<sup>19</sup>.

**Tab. 9: Erlöse aus der In-App-Werbung für SmaTa** (eigene Darstellung)

Marktanteil (Jahr)	Erlöse iOS	Erlöse Android	Erlöse gesamt
30 % (2024)	383,11 €	2.140,61 €	3.023,72 €
50 % (2025)	1.471,86 €	3.567,68 €	5.039,54 €
70 % (2026)	2.060,60 €	4.994,75 €	7.055,35 €

Die Erlöse aus Abonnements wurden für drei Jahre mit unterschiedlichen Marktanteilen und Preisen berechnet. Im ersten Jahr wird von einem Marktanteil von 30 Prozent ausgegangen. Bei einem Preis von einem € je Monat und Nutzer werden dann 13.500 € eingenommen, bei einem Preis von zwei € 27.000 € und bei drei € 40.500 €. Im zweiten Jahr und bei 50 Prozent Marktanteil belaufen sich die Einnahmen aus App-Abonnements auf 22.500 € bei einem Preis von einem €, auf 45.000 € bei zwei € und auf 67.500 € bei drei €. Für das dritte Jahr wird ein Marktanteil von 70 Prozent erwartet, entsprechend Einnahmen aus dem Abonnement von 31.500 € bei einem €, von 63.000 € bei zwei € und von 94.500 € bei drei €.

Tab. 10 zeigt entsprechend der Annahmen zu Einnahmen und Kosten das Betriebsergebnis.

**Tab. 10: Betriebsergebnisse bei unterschiedlichen Annahmen zu Marktanteil und Preis der Abonnements** (eigene Darstellung)

	2024 (30 % Marktanteil)			2025 (50 % Marktanteil)			2026 (70 % Marktanteil)		
Preis des Abonnements	1 €	2 €	3 €	1 €	2 €	3 €	1 €	2 €	3 €
Einnahmen aus Abonnements	13.500 €	27.000 €	40.500 €	22.500 €	45.000 €	67.500 €	31.500 €	63.000 €	94.500 €
Werbeeinnahmen	3.024 €			5.040 €			7.055 €		
Gesamteinnahmen	16.524 €	30.024 €	43.524 €	27.540 €	50.040 €	72.540 €	38.555 €	70.055 €	101.555 €
Kosten	105.049 €	105.072 €	105.094 €	31.064 €	31.102 €	31.140 €	26.079 €	26.132 €	26.184 €
Betriebsergebnis	-88.525 €	-75.048 €	-61.570 €	-3.524 €	18.938 €	41.400 €	12.476 €	43.923 €	75.371 €

<sup>19</sup> Quelle: interne Daten basierend auf Criteo (2020).

Bei einem Preis von einem € wird im dritten Jahr ein positives Ergebnis erzielt, bei zwei bzw. drei € bereits im zweiten Jahr.

## 5. Möglichkeiten zur Verbesserung der Rentabilität

Die Rentabilität der Plattform lässt sich verbessern, wenn sie nicht nur im Taxibetrieb genutzt wird, sondern z.B. auch in der City-Logistik von Fahrern der Paket- und Transportdienste. Auch hier nimmt der Anteil der Elektrofahrzeuge und der elektrischen Lastenräder<sup>20</sup> zu. Betrug der Anteil der Elektrofahrzeuge 2016 erst drei Prozent (4.200 Fahrzeuge)<sup>21</sup> so sind es 2020 schon fast 10 Prozent (14.000). Vor allem die Deutsche Post (DPDHL) treibt konsequent den Übergang zum Elektroantrieb, auch wenn sie die Streetscooter -Produktion 2020 aufgibt. 11.000 Streetscooter<sup>22</sup> und 12.000 E-Bikes und Elektro-Dreiräder (E-Trikes)<sup>23</sup> sind bereits eingesetzt, der Online-Supermarkt Picnic hat 100 elektrische Fahrzeuge<sup>24</sup>, UPS 10.000 Elektrofahrzeuge für den Einsatz in Deutschland und in den USA bestellt. Für die City-Logistik kann die Prognose der Reichweite übernommen werden, die für den Taxibetrieb entwickelt wurde. Dem prognostizierten Fahrgastaufkommen entsprechen Prognosen zur optimalen Abholungszeit im Depot bzw. im Microhub und zu Lieferzeitfenstern der Kunden. Der Algorithmus bestimmt auch hier den optimalen Ladezeitpunkt und -ort. Prognosen über die zeitliche Verteilung von Kundenbestellungen fließen mit ein. Die Architektur für diesen Anwendungsfall soll in einem Folge-Projekt, SmaTa-E, skizziert werden.

## B. Wichtige Angaben zum zahlenmäßigen Nachweis

Den größten und wichtigsten Kostenpunkt haben die Personalkosten dargestellt. Sie beliefen sich auf insgesamt 97.793 €. Aufgrund der kostenneutralen Projektverlängerung infolge der

---

<sup>20</sup> Interview mit Herrn Orschulko, Mitarbeiter Pressestelle Bundesverband Paket & Expresslogistik e.V., am 23.6.2020.

<sup>21</sup> Vgl. BIEK-Kompendium (2018): S. 1.

<sup>22</sup> www.sueddeutsche.de (2020): [Die Post gibt den Streetscooter auf]. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/post-streetscooter-e-auto-transporter-1.4824847> (Abruf am 24.06.2020).

<sup>23</sup> www.dpdhl.com (2020): [Elektromobilität]. Verfügbar unter: <https://www.dpdhl.com/de/presse/specials/emobilitaet.html> (Abruf am 24.06.2020).

<sup>24</sup> www.eurotransport.de (2019): [Lieferung nach dem Milchmann-Prinzip]. Verfügbar unter: <https://www.eurotransport.de/artikel/online-lebensmittel-lieferdienst-picnic-lieferung-nach-dem-milchmann-prinzip-10757774.html> (Abruf am 24.06.2020).

Corona-Pandemie wurde dafür nicht aufgebrauchtes Budget in Personalkosten umgewidmet. Dazu gehören im Wesentlichen 15.000 €, die für die Vergabe eines Unterauftrags an einen Schnittstellendienstleister vorgesehen waren, welche aber doch nicht hierfür benötigt wurden.

Der zweitgrößte Kostentreiber waren Honorare für die Taxifahrer für den Einbau von fünf Datenloggern in die Taxis sowie für die Kooperation im Tracking der Fahrzeugbewegungen. Dafür erhielten die Fahrer insgesamt 1.000 €.

Die Beschaffung von Mobiltelefonen als Datenlogger, dazugehörigen SIM-Karten und eines Diagnosegeräts zum Auslesen der OBD-Schnittstelle stellt den drittgrößten Kostenpunkt dar, der sich auf 865 € belief. Der Kauf dieser Geräte war für den Projekterfolg essenziell.

Fahrten nach Berlin zu den Arbeitsforen des mFUND in Höhe von rund 496 € stellen den vorletzten Kostenfaktor dar, gefolgt von der niedrigsten Kostenstelle, den sonstigen Verwaltungsausgaben, etwa für die Bewirtung im Rahmen der SmaTa-Workshops. In Tab. 11 wird eine Übersicht über die genannten Kostenpunkte sortiert nach Größe dargestellt.

**Tab. 11: Ausgaben für das SmaTa-Projekt** (eigene Darstellung)

<b>Gesamtfinanzierungsplan</b>		<b>Ausgaben</b>
0812	Beschäftigte E12-E15	87.034,05 €
0820	Lohnempfänger(innen) MTArb	10.758,67 €
0835	Vergabe von Aufträgen	1.000,00 €
0831	Gegenstände bis 800/410/400€	864,89 €
0846	Dienstreisen	496,10 €
0843	sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	368,82 €
<b>Gesamtausgaben</b>		<b>100.522,53 €</b>

### **C. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeit**

Die Arbeitspakete der Machbarkeitsstudie haben alle wesentlichen Punkte für die Beurteilung der Machbarkeit im gegebenen Zeitrahmen abgedeckt. Sie waren alle sinnvoll, um die vorgegebenen Ziele und Teilziele zu erreichen und den Zweck der Machbarkeitsstudie zu erfüllen. Neben der technischen Untersuchung war es wichtig, in Stakeholder-Workshops Einschätzungen der potenziellen Nutzergruppen zu erfassen und im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen. Die Auswertung der Fahrprofile kann über die Machbarkeitsstudie hinaus auf andere Mobilitätsprojekte übertragen werden. Datenlogger und Algorithmen der Auswertung konnten

in den Projekten TALAKO (Taxiladekonzept für den öffentlichen Raum) und InnaMo<sup>Ruhr</sup> (Konzept einer integrierten nachhaltigen Mobilität für die Universitätsallianz Ruhr), an denen beide Lehrstühle beteiligt sind, verwendet werden und dadurch die Kosten reduzieren. Im Projekt wurde ständig versucht, die Kosten zu reduzieren und sparsam zu wirtschaften.

#### **D. Nutzen und Verwertbarkeit der Projektergebnisse**

Die Machbarkeitsstudie hat untersucht, ob eine datengetriebene Plattform zur Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Dabei wurden alle wesentlichen Erfolgskriterien untersucht. So wurde das Fahrverhalten von Taxifahrern ausgewertet, die Schnittstellenkompatibilität und Datenverfügbarkeit überprüft und der finanzielle Aufwand für die Erstellung ermittelt. Auch Risiken bei der Umsetzung wurden betrachtet und Maßnahmen zu ihrer Reduzierung erarbeitet. Als Teilergebnis wurde außerdem ein Lastenheft erarbeitet. Die Ergebnisse belegen, dass eine erfolgreiche Projektumsetzung realistisch ist. Deshalb wird eine Weiterentwicklung und Umsetzung der Machbarkeitsstudie in einem Folgeprojekt angestrebt, um die Elektrifizierung von Taxis voranzutreiben. Dieses Folgeprojekt soll am Ende der Laufzeit ein tragfähiges Geschäftsmodell haben, um den langfristigen Betrieb sicherzustellen. Eine Projektskizze für das Folgeprojekt „SmaTa-E“ soll für die Förderrichtlinie 2 des mFUND eingereicht werden.

Erkenntnisse aus der Machbarkeitsstudie werden in weiteren Projekten aufgegriffen, wie etwa zur Kostenabschätzung und zur Datenerfassung in Ecosystems.

#### **E. Während der Projektbearbeitung bekannt gewordene Fortschritte bei der Elektrifizierung des Taxibetriebs**

Ein Fortschritt bei der Entwicklung von Plattformen zur intelligenten Ladung von Elektrotaxis ist während der kurzen Laufzeit der Machbarkeitsstudie nicht bekannt geworden. Lediglich das Startup „Ekaros“ strebt in einem anderen Raum die Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb an, mit dem Unterschied, dass keine Empfehlungen zu Ladezeit und -ort gegeben werden und auch keine Prognosemodelle entwickelt werden. SmaTa bietet den Taxiunternehmen damit einen umfassenderen Nutzen.

## **F. Veröffentlichungen der Projektergebnisse**

Ein Artikel zur Erfassung und Auswertung von Fahrzeugdaten (Anhang III.H.) wird im Tagungsband des Wissenschaftsforums 2020 erscheinen. Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die Forschungsergebnisse auf dem Wissenschaftsforum Mobilität „Making connected mobility work“, das für den 18.6.2020 geplant war, nicht vorgetragen werden.

Auf den Webseiten der Lehrstühle wird über die Machbarkeitsstudie informiert. Zudem wurde ein Roll-Up Banner zum SmaTa-Projekt am Lehrstuhl IAM aufgestellt. Auf Messen, wie beispielsweise der Hypermotion in Frankfurt und beim Kompetenztreffen Elektromobilität in Essen wurden weitere potenzielle Stakeholder und Verbesserungsmöglichkeiten der Plattform gesucht. Die Projektmitarbeiter nahmen im Rahmen der mFUND-Begleitforschung im November 2019 am „Arbeitsforum datenbasierte Geschäftsmodelle“ (18.11.2019) sowie am „Arbeitsforum Datenschutz und Compliance“ (31.12.2020) teil und konnten dort auch über das Projekt SmaTa berichten.

### III. Anhang

Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht .....	III
A. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen.....	III
B. wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens .....	IV
C. Fortschreibung des Verwertungsplans .....	VI
1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte .....	VI
2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende .....	VI
3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende .....	VII
4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse .....	VIII
D. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben .....	IX
E. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer .....	X
F. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.....	XII
1. Kostenplanung .....	XII
2. Zeitplanung .....	XII
G. Lastenheft .....	XIV
H. Artikel für den Tagungsband zum 12. Wissenschaftsforum Mobilität .....	XXXVI

# Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht

## A. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Die Machbarkeitsstudie hat einen wichtigen Beitrag zur Mobilität 4.0 geleistet, da gerade im Taxibetrieb die Digitalisierung noch nicht sehr weit vorangeschritten ist. Um angesichts der neuen Konkurrenz durch Mobilitätsanbieter wettbewerbsfähig zu bleiben, bieten Prognosemodelle basierend auf Machine Learning für den erfolgreichen Umstieg auf Elektromobilität entscheidende Vorteile. Durch die Vernetzung der einzelnen Interessensgruppen wird die Kommunikation von Fahrzeug und Ladeinfrastruktur über eine Plattform sichergestellt und somit eine datenbasierte Anwendung geschaffen, was auch Förderziel des mFUND ist.

Die Plattform verwendet für die Prognosemodelle des „State-of-Charge“ und des Fahrgastaufkommens Geo-, Mobilitäts- und Wetterdaten. Durch das fortwährende Sammeln und Auswerten von Daten und unter Anwendung von Machine Learning durchläuft das Prognosemodell einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Den Mitarbeitern in den Taxizentralen wird angeboten, sich über eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) die Restreichweite der Elektrotaxen anzeigen zu lassen, um darauf basierend die Fahrzeugzuteilung durchzuführen. So wird ihre Entscheidungsautonomie gewahrt. Da der Web Service als Programmierschnittstelle (API) zur Verfügung gestellt wird, ist es den Zentralen überlassen, ob sie diese Funktion von ihren Softwareanbietern in die bestehende Software integrieren.

Die Taxifahrer erhalten kurz vor dem Zeitpunkt einer berechneten Ladeempfehlung eine Benachrichtigung mit der Möglichkeit, sich zum optimalen Ladepunkt navigieren zu lassen. Sie können daraufhin entscheiden, ob sie dieser Empfehlung nachgehen oder ob sie ihren Fahrbetrieb nicht unterbrechen möchten. Zusätzlich besteht für Fahrer von Hybridfahrzeugen die Option, sich über die App eine Empfehlung des Fahrmodus einzuholen, etwa auf Basis von aktuellen Luftmesswerten und Verkehrsdaten.

Diese Daten und Funktionen werden auf der SmaTa-Plattform einheitlich verbunden. Sie werden entweder als Open Data oder durch Kooperation von wichtigen Stakeholdern bezogen. Darüber hinaus wurden bereits während der Machbarkeitsstudie Mobilitätsdaten in Form von GPS-Positionen verschiedener Taxifahrzeuge erfasst und Fahrprofile ausgewertet. Hierfür wurde das Analysetool „Mapotology“ in Form einer Web-Anwendung entwickelt. Untersucht wurde, ob eine Elektrifizierung von Taxis möglich ist. Dies hängt von der Verteilung von Stand-

und Fahrzeiten, der Existenz wiederkehrender Warteorte und der Art der Geschäftsorganisation ab. Diese Daten stehen der Allgemeinheit auf der mCLOUD zur Verfügung.

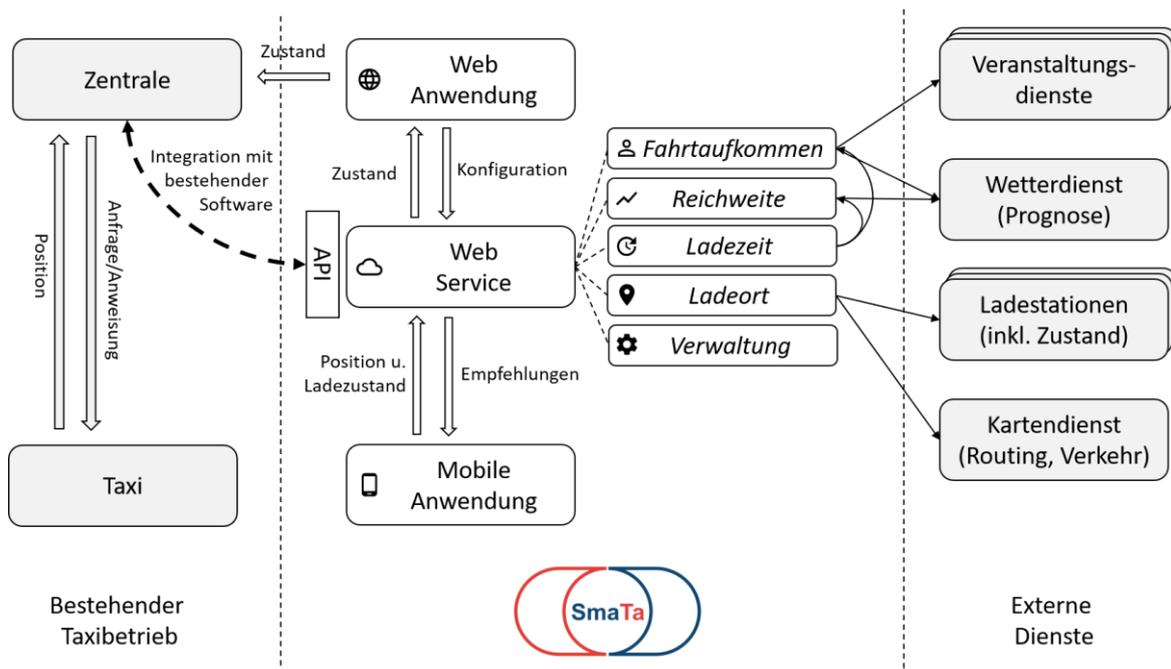
## **B. wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens**

Zur Umsetzung der Kernfunktionen wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie ein erster Architekturentwurf für die Plattform entwickelt. Um die Einführung des zu entwickelnden Informationssystems möglichst einfach zu gestalten, zielt der Entwurf auf eine lose Kopplung zwischen den bestehenden Systemen der Taxiunternehmen und den neuen Komponenten ab. Über eine Programmierschnittstelle, die als integraler Bestandteil des zu entwickelnden Systems vorgesehen ist, kann die Integration zu einem späteren Zeitpunkt bei Bedarf enger gestaltet werden, wodurch etwaige Dopplungen, z.B. im Bereich der Nutzerschnittstelle, reduziert werden können.

Wie in Abb. I veranschaulicht, besteht das zu entwickelnde Informationssystem aus den folgenden drei Komponenten:

- **mobile Anwendung:** Primäre Aufgabe der mobilen Anwendung ist die kontinuierliche Erfassung der Fahrzeugposition sowie des Ladezustands des Fahrzeugs. Die erfassten Daten werden von der Anwendung periodisch an einen Web Service übertragen, der die Daten analysiert und Empfehlungen gibt. Die Empfehlungen können von einem Fahrer über die mobile Anwendung angezeigt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Anwendung dem Fahrer bei Bedarf auch die manuelle Auswahl von Ladeorten in seiner näheren Umgebung.
- **Webanwendung:** Während die mobile Anwendung primär auf Taxifahrer ausgerichtet ist, zielt die Webanwendung vorwiegend auf die Nutzung durch die Zentrale ab. Bei Nutzung in einer Genossenschaft erlaubt die Anwendung die Anzeige der Positionen und Reichweite der einzelnen Fahrzeuge. Bei Nutzung in der Zentrale eines Unternehmens mit mehreren Fahrzeugen erlaubt die Anwendung darüber hinaus die Konfiguration flottenübergreifender Optimierungskriterien sowie die manuelle Generierung von Ladeanweisungen an die Fahrer auf Basis des Flottenzustands.
- **Web Service:** Als Kern der Architektur übernimmt der Web Service zunächst grundlegende Funktionen zur Verwaltung der Fahrzeuge und Nutzer. Darüber hinaus übernimmt der Web Service die Bildung der erforderlichen Profile für die zu erwartende Restreichweite und das zu erwartende Fahraufkommen. Ansatzpunkt hierfür ist die Analyse der Positions- und Ladeinformationen der Fahrzeuge mit Hilfe von Verfahren des maschinellen Lernens. Um externe Faktoren, wie z.B. die Wettervorhersage oder das aktuelle Veranstaltungsaufkommen, berücksichtigen zu können, interagiert der Dienst mit bestehenden externen Diensten,

die diese Informationen bereits in maschinenlesbarer Form anbieten. Auf Basis der Abschätzung der Reichweite und des Fahraufkommens berechnet der Dienst die optimale Ladezeit und wählt im Anschluss geeignete Ladestationen aus. Hierfür greift der Service auf externe Dienste der CPOs zurück. Um die optimale Ladestation zu bestimmen, werden mit Hilfe eines externen Kartendienstes mögliche Anfahrtstrecken berechnet und bewertet. Je nach Dienst werden hierbei ggfs. aktuelle Verkehrsinformationen (z.B. Unfälle, etc.) berücksichtigt.



**Abb. I: Aufbau der SmaTa-Plattform** (eigene Darstellung)

Wie bereits erwähnt, zielt diese Architektur auf eine lose Kopplung zwischen vorhandenen Systemen der Taxiunternehmer und dem zu entwickelnden Informationssystem ab. Dieses Vorgehen vereinfacht sowohl die Entwicklung als auch die Inbetriebnahme des Systems, da eine Kompatibilität mit den vorhandenen Systemen nicht zwangsläufig gewährleistet werden muss und ein Parallelbetrieb ohne Seiteneffekte möglich ist.

Nachteilig wirkt sich dabei jedoch aus, dass die Positionsinformationen der Fahrzeuge mehrfach übertragen werden müssen und dass die Anzeige der Zustandsinformationen nicht in die bestehende Software integriert ist. Um diese Nachteile abzumildern, soll der Web Service mit einer offenen Programmierschnittstelle ausgestattet werden, die es den Anbietern der bestehenden Software ermöglicht, die Positionsinformationen der Fahrzeuge einzuspeisen und die Informationen über die gebildeten Profile abzurufen. Dadurch werden die bestehenden Softwareanbieter in die Lage versetzt, ihre Produkte durch eine engere Integration kostengünstig zu erweitern.

Darüber hinaus erfordert die mobile Anwendung eine Schnittstelle zur Bereitstellung von Informationen über den Ladezustand des Fahrzeugs. Eine solche Schnittstelle kann bei LEVC-Fahrzeugen über eine Integration mit der OBD-Schnittstelle umgesetzt werden. Sollte eine solche Fahrzeugintegration bauartbedingt nicht möglich sein, kann der Ladezustand ggfs. auch beim Laden über die Schnittstellen des CPOs erfasst werden oder lediglich auf Basis der bereits gefahrenen Strecke abgeschätzt werden.

Schließlich erfordert die Umsetzung des Web Service den Zugriff auf unterschiedliche Daten, die derzeit bereits von Dritten in maschinenlesbarer Form angeboten werden. Dazu gehören neben Karten-, Verkehrs-, Wetter- und Veranstaltungsinformationen vor allem auch Informationen über den Standort, die Eigenschaften und den Zustand der Ladestationen. Die nähere Analyse dieser Schnittstellen ist im Lastenheft (Anhang III.G) zusammengetragen.

## **C. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Aus den Daten, die von den Taxis durch GPS-Tracking erfasst wurden, wurden Fahrprofile abgeleitet, die sich für weitere Untersuchungen in Vorbereitung auf das autonome Fahren verwenden lassen. Durch einen Abgleich der Ladepunktverteilung im Stadtgebiet lassen sich durch Auswertung des typischen Fahrgastaufkommen Potenziale für den weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur ableiten. Erkenntnisse über die Kompatibilität der unterschiedlichen Datentypen von verschiedenen Stakeholdern, die an den Schnittstellen zusammenkommen, können in den Forschungsbereich „SmartCity“ der Universität Duisburg-Essen einfließen, ebenso wie in das Projekt „InnaMo<sup>Ruhr</sup>“ (Konzept einer integrierten, nachhaltigen Mobilität für die Universitätsallianz Ruhr).

### **1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte**

Es wurden keine Schutzrechte angemeldet oder in Anspruch genommen. Die Untersuchungsergebnisse sind Grundlage geplanter Forschungsprojekte zur Ladeinfrastruktur und Elektromobilität.

### **2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende**

Am zielführendsten können die Projektergebnisse durch die angestrebte Umsetzung der Machbarkeitsstudie in einem Folgeprojekt verwertet werden. Grundlage dafür bildet das in der

Machbarkeitsstudie erarbeitete Lastenheft. Nach der Umsetzung des Projekts soll die Plattform langfristig wirtschaftlich weiter betrieben werden. Angesichts des durchweg positiven Feedbacks der Workshop-Teilnehmer und ihres großen Interesses, auch beim neuen Projektantrag zur Umsetzung mitzuwirken, scheint ein ungedeckter Bedarf zu existieren. Dies ist auch durch eine Vielzahl an Vorteilen der Plattform für alle Beteiligten begründet. Gerade für Taxiunternehmen ergeben sich Vorteile durch die Entscheidungsunterstützung bei der Fahrtenzuteilung durch die Fahrgastprognose, die die Auslastung der Fahrzeuge verbessern und so den Gewinn steigern kann. Außerdem ist ein einfacher Übergang auf Elektrofahrzeuge möglich, wodurch Fahrverbote vermieden werden. Die Informationen zur optimalen Lademöglichkeit, sowohl zeitlich als auch räumlich, senkt die Umstiegsbarrieren. Der CPO profitiert ebenfalls von der Zusammenarbeit im Rahmen der SmaTa-Plattform. Mit den elektrifizierten Taxis wird eine potenziell große neue Kundengruppe angesprochen, die bisher noch nicht angesprochen und erreicht wurde. Taxis laden aufgrund der hohen Kilometerleistung viel Strom und können durch die Plattform besser in die Laststeuerung zur Verbesserung der Netzstabilität einbezogen werden. Für die Stadt ergibt sich ein positiver Beitrag zur Luftreinhaltung. Die Elektrifizierung der Taxiflotte ist in Deutschland noch nicht vorangeschritten. Als Gründe wurden hierfür im ersten Workshop die geringe Auswahl an geeigneten Fahrzeugen, die geringe Batteriereichweite, aber auch die Unkenntnis über Ladesäulenstandorte und -verfügbarkeit genannt. Aus diesem Grund gibt es aktuell keine Konkurrenzlösungen, auch, weil die Digitalisierung in der heterogenen Taxibranche noch gering ist. Das wirtschaftliche Potenzial einer solchen Plattform ist daher in Deutschland gegeben. Auch für andere Mobilitätsdienstleistungen, in denen die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte angestrebt wird, bietet die Plattform eine optimale Lösung. Dazu zählen etwa On-Demand-Verkehrsangebote zur Ergänzung des ÖPNV. Die Schnittstellenintegration ist für jede Stadt und jeden Stakeholder unterschiedlich aufwändig, das Prognosemodell bleibt davon jedoch unberührt, weshalb ein Transfer auf andere Räume und Branchen denkbar ist.

### **3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende**

Der wissenschaftliche Verwertungsplan sieht nach der Machbarkeitsstudie (Förderrichtlinie 1) eine Anschlussforschung im Bereich der Mobilität vor. Die betriebswirtschaftliche Forschung am Lehrstuhl IAM der Universität Duisburg-Essen profitiert dabei von den Vorarbeiten der Studie bei kommenden Untersuchungen zu innovativen Geschäftsmodellen im innerstädtischen Personenverkehr, in denen auf die über die Datenlogger gewonnenen Erkenntnisse zu frequentierten Fahrtstrecken zurückgegriffen werden kann. In Ladeinfrastrukturprojekten in

Kooperation mit Kommunen kann die Rentabilitätsrechnung auf Modellen aus der Machbarkeitsstudie aufbauen. In der Erforschung von Innovationen zur Elektromobilität können aus den in der Studie identifizierten Barrieren im Bereich der Nutzung der städtischen Ladeinfrastruktur Möglichkeiten zur Überwindung abgeleitet werden.

Die informationstechnologische Forschung der Universität Duisburg-Essen kann mit der Machbarkeitsstudie die Eignung der bei NES bestehenden Ansätze zur Datenerfassung und -integration in dem spezifischen Anwendungsfall der E-Taxis untersuchen, um in weiterer Forschung zu Innovationen zur Elektromobilität darauf aufzubauen. Die Ergebnisse fließen in andere Projekte, wie etwa TALAKO (Taxiladekonzept für den öffentlichen Raum) oder auch InnaMo<sup>Ruhr</sup> ein, in denen sich weitere Einrichtungen und Unternehmen in unterschiedlichen Räumen u.a. mit elektrifizierten Mobilitätsangeboten beschäftigen. Insbesondere werden hierbei interoperable Ansätze auf Basis der Techniken des Semantic Web und komponentenbasierte Ansätze zur effizienten Datenverarbeitung weiterentwickelt. Für eine Nutzung in weiteren Forschungsvorhaben können dabei bereits Erkenntnisse zur Heterogenität der Datenquellen gewonnen und temporale Aspekte, wie z.B. die Auswertung historischer Daten oder die Nutzung von Echtzeitinformationen zur Optimierung, untersucht werden. Die Universität Duisburg-Essen profitiert durch die Machbarkeitsstudie von einem Ansatz zur Erweiterung des modularen Portfolios an Algorithmen, die in weiteren Forschungsprojekten genutzt werden können.

Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie gesammelten Daten der Taxifahrzeuge wurden auf der mCLOUD veröffentlicht und interessierten potenziellen Nutzergruppen zur Verfügung gestellt. Die in der Machbarkeitsstudie erarbeiteten Datenverarbeitungsansätze und die Evaluation durch die entstandenen Daten kann NES in Folgeprojekten vertiefen.

#### **4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse**

Der wissenschaftliche Verwertungsplan sieht nach der Machbarkeitsstudie eine weitere Anschlussforschung im Bereich der Mobilität vor. Insbesondere Taxiunternehmen klagen über ausbleibende Profite durch die Elektromobilität. In einem möglichen Folgeprojekt können mit der Plattform die Geschäftsmodelle von Taxiunternehmen und CPOs im Ecosystem wesentlich verbessert werden. Dabei sollen die gemeinsame Wertschaffung und die Geschäftsmodelle in Ecosystems untersucht werden. Zusätzlich kann durch die Möglichkeit einer Integration der Plattform in das Smart Grid eine Glättung des Stromlast-Profiles in der Innenstadt erreicht werden. Die Integration von erneuerbaren Energien in das Stromnetz kann beschleunigt werden. Für Netzbetreiber ergibt sich ebenfalls ein ökonomischer Nutzen durch den Anschluss an die

Plattform. CPOs wird durch die Plattform dabei geholfen, eine bessere Auslastung Ihrer Lademöglichkeiten zu erreichen. Der wirtschaftliche Schaden, der durch die Belastung der Innenstädte aufgrund von Stickstoffemissionen entsteht, wird somit verringert. Dabei gibt es keine Beschränkung auf nur eine Stadt, da durch die angestrebte allgemeingültige Lösung die Übertragbarkeit der Studienergebnisse auch auf andere Städte gilt. Eine stadtspezifische Anpassung kann in der generalistisch angestrebten Lösung durch Justierung der Parameter auf die jeweilige Stadt vorgenommen werden.

Die Ergebnisse der Vorstudie helfen bei der Beurteilung, ob eine Machbarkeit hinsichtlich der Datenverfügbarkeit, der Schnittstellenintegration und des elektrischen Taxibetriebs gegeben ist. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass dies der Fall ist. Der nächste Schritt ist die tatsächliche Integration der als notwendig und verfügbar identifizierten Datensätze in eine Plattform. Ebenso müssen die Hauptbestandteile der Prognose umgesetzt werden und als nächste Schritte die Auswertung und ständige Optimierung durch Machine Learning stattfinden. Die Erprobung soll im Realbetrieb und für verschiedene Räume mit unterschiedlichen Datensätzen vollzogen werden, um die allgemeine Funktionsfähigkeit der Plattform sicherzustellen. In Ladefrastrukturprojekten in Kooperation mit Kommunen kann die Rentabilitätsrechnung auf Modellen aus der Machbarkeitsstudie aufbauen. Wegen des bereits von mehreren Stakeholdern bekundeten Interesses an einer Umsetzung können sich die beteiligten Lehrstühle der Universität Duisburg-Essen vorstellen, bei erfolgreicher Machbarkeitsstudie die Plattform in einem universitätsnahen Spin-Off zu realisieren und wirtschaftlich hochzuskalieren.

#### **D. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Die zu Beginn breit ausgelegte Untersuchung der Use Cases führte im weiteren Verlauf dazu, dass durch den Fokus auf von der Taxiseite akzeptierte Anwendungsfälle jene mit weniger Priorität für die weitere Untersuchung außer Acht gelassen wurden. Hierzu ist der Fall der Taxiwartung zu nennen, da im Bordsystem der meisten Taxifahrzeuge bereits die Nachricht über zeitlich notwendige Inspektionen angezeigt wird. Ebenso wurde der anfangs diskutierte Use Case zum Ladevorgang im Laufe der Machbarkeitsstudie aufgrund des geringen Mehrwerts außenvor gelassen.

Zudem wurde in Erfahrung gebracht, dass die optimierte Fahrtenzuteilung unter Berücksichtigung des Batterieladestatus als Wettbewerbseingriff, vor allem bei genossenschaftlich organisierten Taxiunternehmen, gewertet wird. Bei dieser Organisationsform erfolgt die Auftragsannahme nach dem Prinzip „First Come, First Serve“. Da bei einer Optimierung nach Reichweite bestimmte Fahrer bevorzugt werden, die in Konkurrenz zu den anderen

Unternehmern der Genossenschaft stehen, wird ein solcher Eingriff als unfair empfunden, wie im ersten Workshop berichtet wurde. Aus diesem Grund wurde der Use Case Fahrtenzuteilung ebenso für den Taxianwendungsfall im weiteren Verlauf, zumindest für Genossenschaften, nicht berücksichtigt.

Entsprechend wurde der Funktionsumfang verringert, um den Fokus auf wertschaffende, neuartige Leistungen zu legen und nicht bereits Bestehendes zu ersetzen. Ebenso bedeutet dies eine Fokussierung auf essenzielle Stakeholder, die für die Umsetzung unverzichtbar sind. So wurde etwa der Energieversorger als ursprünglich aktiver Partner im weiteren Verlauf nur als indirekter Projektpartner identifiziert, der hauptsächlich in zweiter Ebene mit dem CPO agiert. Ebenso nimmt der Taxifahrzeughersteller außer der Leistung seiner Unterstützung bei der OBD-Schnittstellenöffnung keine aktive Rolle ein und wurde daher im weiteren Verlauf nicht weiter integriert. Auch die Softwarehersteller der Taxizentralen werden im ersten Schritt nicht integriert. So wird vermieden, dass für die Plattform zu spezifische Anpassungen an einzelne Hersteller und deren Software gemacht werden und folglich die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Produkte anderer Softwaredienstleister nicht mehr gegeben ist. Als Lösung dafür wird eine Programmierschnittstelle geschaffen, die Taxizentralen von ihren Softwareherstellern in die bestehende Software implementieren lassen können, etwa zur Anzeige der prognostizierten Reichweite für die Fahrtenzuteilung.

## **E. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie gewonnenen Erkenntnisse sollten auf dem Wissenschaftsforum Mobilität im Juni 2020 präsentiert werden. Die Fachkonferenz für Mobilitätsforscher thematisiert betriebswirtschaftliche und technische Aspekte und wird jährlich vom Lehrstuhl IAM für die Fakultät für Ingenieurwissenschaften an der Universität Duisburg-Essen ausgerichtet und sollte im Jahr 2020 bereits zum 12. Mal stattfinden. Durch den Austausch und die Diskussion mit Experten aus Industrie und Wissenschaft hätten beim Wissenschaftsforum Mobilität Schritte zur Weiterentwicklung von SmaTa angestoßen werden können. Aufgrund der COVID-19-Pandemie musste die Veranstaltung 2020 leider abgesagt werden. Der Beitrag zur Auswertung von Mobilitätsdaten wird aber dennoch im Konferenzband 2020 mit dem Thema „Making connected mobility work“ im Springer-Verlag veröffentlicht (siehe Anhang III.H.). Der Wissenstransfer auf angrenzende Anwendungsfelder in der Mobilitätsbranche ist dabei ebenfalls denkbar.

Um die im Taxigewerbe wirtschaftenden Interessensgruppen zu erreichen, war ein Besuch der Europäischen Taximesse 2020 angedacht, bei der Taxizentralen, Fahrzeughersteller,

Softwarebetreiber und weitere Lieferanten anwesend gewesen wären. Aufgrund der Pandemie musste die Messe ebenfalls verschoben werden.

Die mit den Datenloggern erfassten Fahrprofildaten der kooperierenden Taxiunternehmen wurden am Projektende in anonymisierter Form über die mCloud frei zugänglich veröffentlicht. Die für die Veröffentlichung erforderlichen datenschutzrechtlichen Freigaben wurden im Rahmen des ersten Workshops eingeholt. Aus diesen Daten können Nutzer der mCloud weitere Erkenntnisse für ihre Forschungen ableiten, z.B. die typische Fahrdauer und -länge sowie die Verteilung der Fahrten über verschiedene Zeiträume.

## F. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

### 1. Kostenplanung

Die prognostizierten Kosten für die Machbarkeitsstudie SmaTa wurden deutlich unterschritten (vgl. die Kostenplanung ist in Tab. I). Das für die Auftragsvergabe einkalkulierte Geld wurde nicht verwendet. Ein wesentlicher Grund ist, dass die Untersuchung der Schnittstellenkompatibilität selbst durchgeführt werden konnte und nicht wie geplant fremd vergeben werden musste. Dieses Geld wurde zur kostenneutralen Verlängerung und den in Kap II.A.2 bis II.A.5 beschriebenen Untersuchungen verwendet. In Tab. 12 werden die laut Zuwendungsbescheid bewilligten und die tatsächlichen Ausgaben je Ausgabeart gegenübergestellt dargestellt.

**Tab. 12: Gegenüberstellung der genehmigten und der tatsächlichen Ausgaben im Projekt nach Ausgabeart** (eigene Darstellung)

	<b>Ausgabeart</b>	<b>Gesamtfinanzierungsplan lt. Zuwendungsbescheid</b>	<b>Projektausgaben</b>	<b>Differenz</b>
0812	Beschäftigte E12-E15	65.843,00 €	87.034,05 €	- 21.191,05 €
0820	Lohnempfänger(innen) MTArb	10.906,00 €	10.758,67 €	147,33 €
0831	Gegenstände bis 800/410/400€	1.000,00 €	864,89 €	135,11 €
0834	Mieten und Rechnerkosten	500,00 €	- €	500,00 €
0835	Vergabe von Aufträgen	15.000,00 €	1.000,00 €	14.000,00 €
0843	sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	3.500,00 €	368,82 €	3.131,18 €
0846	Dienstreisen	3.045,00 €	496,10 €	2.548,90 €
	<b>Summe</b>	<b>99.794,00 €</b>	<b>100.522,53 €</b>	<b>- 728,53 €</b>

Wie bereits in Kap. II.B. erwähnt, wurden aufgrund der kostenneutralen Verlängerung mehr Mittel als ursprünglich geplant für Personalausgaben verwendet. Dieser ist jedoch der einzige Kostenfaktor, bei dem im Projekt eine negative Differenz auftrat. Für alle anderen Ausgabearten wurden die verfügbaren Mittel nicht vollständig ausgeschöpft.

### 2. Zeitplanung

Der erste Workshop fand am 20.11.2019 statt, also wie geplant in der Mitte des zweiten Projektmonats. Dort wurde der Funktionsumfang der Plattform durch die Diskussion der möglichen Anwendungsfälle (Use Cases) und die dabei notwendigen Stakeholder festgelegt. Der erste Meilenstein wurde damit wie im Zeitplan geplant erreicht. Der zweite Workshop wurde

am 5.3.2020 durchgeführt, also zu Beginn des sechsten Projektmonats und damit noch vor dem geplanten Termin. Dort wurde das Lastenheft validiert, womit auch der zweite Meilenstein fristgemäß erreicht wurde. Die dazugehörigen Arbeitspakete wurden ebenfalls fristgerecht abgeschlossen.

Abweichungen haben sich zeitlich bei den Aufgaben der Arbeitspakete 2 und 4 ergeben. Im vierten Arbeitspaket sollte parallel zum zweiten Arbeitspaket von NES die Zugänglichkeit der Schnittstellen zwischen Komponenten des Automobils und der Ladeinfrastruktur durch einen Dienstleister untersucht werden, der Erfahrung in der Auswertung von Ladeprotokollen hat. Dem externen Dienstleister sollte dazu ein Zeitraum von 2,5 Monaten zur Verfügung stehen. Dadurch, dass für die Datenauswertung der Datenlogger weniger Zeit als prognostiziert gebraucht wurde, konnte die entstandene freie Kapazität für die Erfüllung des AP vier durch den Lehrstuhl für NES genutzt werden. Durch das Insourcing wurden Projektkosten gespart. Die Erkenntnisse aus dem vierten Arbeitspaket wurden von IAM und NES gemeinsam im Lastenheft verarbeitet.



Smarte Plattform für die  
datengetriebene  
Vernetzung von Taxi- und  
Ladebetrieb

LASTENHEFT

# Inhalt

1. Einleitung .....	XVI
a) Zweck.....	XVI
b) Struktur.....	XVII
2. Ist-Zustand .....	XVIII
3. Soll-Zustand .....	XX
a) Funktionen .....	XX
b) Architektur .....	XXI
c) Integrationen .....	XXIII
4. Schnittstellen .....	XXV
a) Wetter.....	XXV
b) Veranstaltungen .....	XXVI
c) Ladestationen.....	XXVIII
d) Karten.....	XXIX
e) Luftqualität.....	XXX
5. Betriebskosten .....	XXXII
6. Datenschutz und Datensicherheit.....	XXXIII
7. Zusammenfassung .....	XXXV

## 1. Einleitung

Als ein wesentliches Ergebnis der Machbarkeitsstudie „Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb“ skizziert dieses Dokument ein erstes Lastenheft für ein Informationssystem zur Unterstützung der Elektrifizierung des Taxibetriebs im städtischen Bereich. Ziel des Informationssystems ist die datengetriebene Vernetzung aller Beteiligten zur Umsetzung der Anwendungsfälle, die im Rahmen von Arbeitstreffen gemeinsam mit diesen erarbeitet wurden. Aufgrund verschiedener Einschränkungen die sich aus der bestehenden Umsetzung des Taxibetriebs im städtischen Bereich sowie der Kapazität und Struktur der bestehenden Ladeinfrastruktur ergeben, zielen die Anwendungsfälle nach Abstimmung mit den Beteiligten vorwiegend auf die Optimierung der Ladevorgänge ab.

Primäres Optimierungsziel ist dabei die Vermeidung von Umsatzverlusten der Taxiunternehmer durch den Einsatz von hybriden oder vollelektrischen Fahrzeugen mit begrenzter Reichweite, die regelmäßig für eine vergleichsweise lange Zeitspanne elektrisch geladen werden müssen. Da die Fahrzeuge während der Ladezeit nicht zur Beförderung von Fahrgästen genutzt werden können, sollten Ladevorgänge idealerweise außerhalb der regulären Betriebszeiten der Fahrzeuge stattfinden. Da dies jedoch aufgrund der geringen Batteriekapazität einiger Fahrzeugtypen nicht immer möglich ist, sollte sowohl der Zeitpunkt als auch der Ort des Ladevorgangs an das zu erwartende Aufkommen an Fahrgästen angepasst sein.

Für Taxiunternehmer mit mehreren Fahrzeugen ist darüber hinaus eine fuhrparkübergreifende Betrachtung sinnvoll, so dass z.B. die erwünschte räumliche und zeitliche Abdeckung des Stadtgebiets durch die Ladevorgänge der einzelnen Fahrzeuge nicht beeinträchtigt werden. Für die Zuteilung der Fahrgäste zu Fahrzeugen ist in diesem Fall darüber hinaus eine Bereitstellung von Informationen über die verbleibende Reichweite aller Fahrzeuge von zentraler Bedeutung.

### a) Zweck

Der Zweck dieses Dokuments ist die schriftliche Dokumentation einer initialen Strukturierung der Funktionen des Informationssystems. Ziel ist hierbei die Dokumentation der für die Umsetzung erforderlichen Integrationen mit existierenden Systemen sowie die Identifikation und Dokumentation neuer Softwarekomponenten. Die Beschreibung der neuen Softwarekomponenten erfolgt dabei in Form von Anforderungen, die diese erfüllen müssen. Aufgrund der Zielsetzung und des begrenzten Umfangs der Machbarkeitsstudie „Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb“ erfolgt die Diskussion der Anforderungen auf

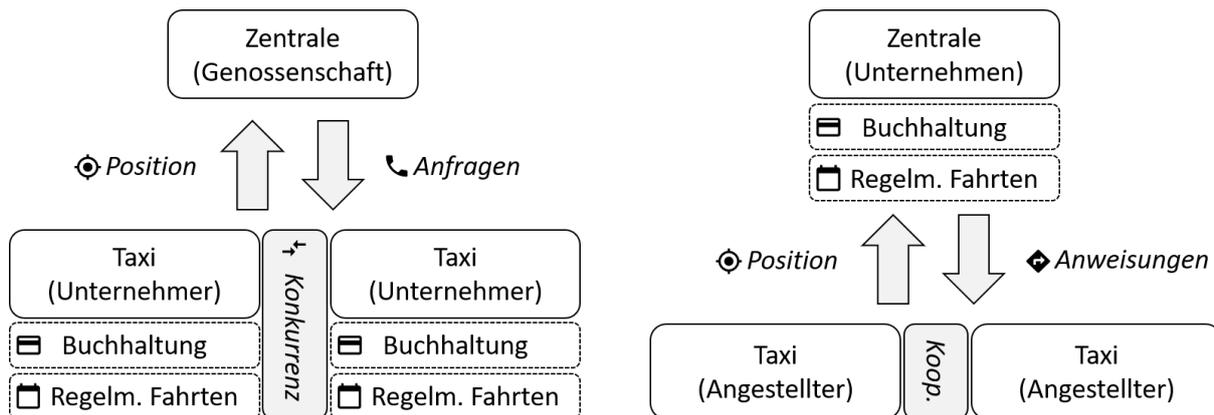
einem vergleichsweise hohen Abstraktionsniveau, das während der geplanten Umsetzung im Rahmen eines Folgeprojekts weiter verfeinert werden sollte.

## b) Struktur

Der verbleibende Teil dieses Dokuments ist folgendermaßen strukturiert. Im folgenden Kapitel wird der Ist-Zustand des Taxibetriebs im städtischen Bereich skizziert. Dabei werden wichtige Probleme und Einschränkungen, die im Rahmen von Arbeitstreffen mit den Beteiligten erarbeitet wurden, kurz erläutert. In Kapitel 3 wird der Soll-Zustand eines elektrifizierten Taxibetriebs diskutiert und Anforderungen an die Ausgestaltung des geplanten Informationssystems definiert. Auf Basis der Anforderungen werden Schnittstellen zu existierenden Systemen identifiziert und ein grober Entwurf für eine mögliche Umsetzung eingeführt. In Kapitel 4 werden die Schnittstellen, die in Kapitel 3 identifiziert wurden, näher beschrieben. Für jede Schnittstelle werden die erforderlichen Informationen definiert und zur Abschätzung des zu erwartenden Integrationsaufwands wird exemplarisch die existierende Schnittstelle von mindestens einem möglichen Anbieter analysiert. In Kapitel 5 werden die zu erwartenden Kosten für den laufenden Betrieb des Informationssystems erörtert. Kapitel 7 diskutiert Fragen zum Datenschutz und zur Datensicherheit und Kapitel 6 schließt mit einer Zusammenfassung.

## 2. Ist-Zustand

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden im städtischen Taxibetrieb vorwiegend Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor eingesetzt. Hinsichtlich der Organisation des Taxibetriebs kann grundsätzlich zwischen zwei Betriebsmodellen unterschieden werden, die in Abbildung 1 dargestellt sind.



**Abbildung 1 – Gegenwärtige Organisation des Taxibetriebs**

Zum einen gibt es eine große Zahl selbständiger Einzelunternehmer, die in der Regel nur ein Fahrzeug betreiben. Die Einzelunternehmer sind in Genossenschaften organisiert, um sich die Kosten für zentrale Verwaltungsaufgaben, wie z.B. den Betrieb einer Telefonzentrale, zu teilen. Grundsätzlich stehen die Einzelunternehmer jedoch in einer Konkurrenzbeziehung zueinander. Entsprechend verfügt jeder Fahrer prinzipiell über einen eigenen Kundenstamm, den er selbständig bedient. Aufgrund des Wettbewerbs zwischen den Einzelunternehmern ist die Gewährleistung einer fairen Verteilung der Aufträge durch die Telefonzentrale ein essenzielles Ziel. Um dieses Ziel zu erreichen, übertragen alle Fahrzeuge ihre Position an die Zentrale. Eingehende Anfragen werden dann von der Telefonzentrale an den Fahrer weitergeleitet, dessen Position den geringsten Abstand zum Abholort des Kunden aufweist und der gerade keine anderen Fahrgäste befördert. Eine Anpassung dieser Vergabestrategie wird von den Einzelunternehmern nicht gewünscht. Dies gilt selbst dann, wenn die angepasste Strategie die bestehende Form der Fairness grundsätzlich gewährleisten könnte.

Neben den genossenschaftlich organisierten Einzelunternehmern gibt es darüber hinaus auch Unternehmen, die mehrere Fahrzeuge besitzen. Diese Fahrzeuge werden von angestellten Fahrern betrieben, deren Lohn nicht direkt vom Umsatz abhängig ist. Für die Annahme von telefonischen Anfragen betreiben diese Unternehmen in der Regel eine eigene Telefonzentrale, die eingehende Anfragen auf die eigenen Fahrzeuge verteilt. Da der Umsatz der einzelnen Fahrzeuge letztlich im selben Unternehmen bleibt, spielt die Fairness bei der Verteilung

der Anfragen nur eine untergeordnete Rolle. Stattdessen ist eine möglichst effiziente Bearbeitung der Aufträge wünschenswert. Darüber hinaus müssen weitere Kriterien, wie z.B. die Einhaltung von Pausenzeiten der angestellten Fahrer bei der Planung berücksichtigt werden.

Unabhängig von der konkreten Organisation des Taxibetriebs, lässt sich für beide Fälle der folgende Aufbau beobachten:

- **Positionierung und Positionsübermittlung (Fahrzeug):** Im Betrieb erfassen die Taxifahrzeuge kontinuierlich ihre Position mit Hilfe eines GPS-Empfängers. Die erfasste Position wird dann über das Mobilfunknetz an die Zentrale übertragen.
- **Software zur Vergabe der Anfragen (Zentrale):** In der Zentrale werden die erfassten Positionen gespeichert und auf einer Karte eingeblendet. Eine Anwendung ermöglicht die Ermittlung des nächsten Fahrzeugs und erlaubt dem Personal die Daten von eingehenden Anfragen zu erfassen. Übliche Funktionen moderner Kartenanwendungen (Google Maps, Apple Maps, Bing Maps) wie z.B. die Suche nach Adressen oder die Berechnung von Fahrtstrecken werden dabei angeboten.

Darüber hinaus werden weitere Systeme verwendet, um für den Betrieb erforderliche Aufgaben zu unterstützen. Dazu gehören beispielsweise Kalenderprogramme zur Erfassung von regelmäßigen Fahrten oder Programme zur Umsetzung der Buchhaltung. Diese Programme sollen jedoch durch die „Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb“ nicht verändert werden. Entsprechend werden sie im Folgenden nicht weiter detailliert.

### 3. Soll-Zustand

Neben den (derzeit noch) hohen Anschaffungskosten von elektrischen Fahrzeugen haben sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie vor allem die begrenzte Reichweite und die vergleichsweise hohe Ladedauer als Hürden für die Elektrifizierung des Taxibetriebs herauskristallisiert. Aus diesem Grund liegt der primäre Fokus bei der datengetriebenen Vernetzung auf der automatisierten Bestimmung von optimalen Ladezeitpunkten und Ladeorten. Im Falle von selbständigen Einzelunternehmern bedeutet das die Bestimmung eines Ladezeitpunkts und Orts, der zu möglichst geringen (idealerweise keinen) Umsatzeinbußen führt. Im Falle von Unternehmen mit mehreren Fahrzeugen könnte darüber hinaus auch noch die Erreichung bestimmter Abdeckungsziele wünschenswert sein.

#### a) Funktionen

Um dieses Ziel zu erreichen sollen die Daten bestehender Anbieter mit den Daten der einzelnen Taxis bzw. des Taxiunternehmens verknüpft werden. Darüber hinaus sollen die rohen Positionsdaten der Taxis weiterverarbeitet werden, um daraus verschiedene Profile abzuleiten. Mit Hilfe dieser Profile und Verknüpfungen sollen die folgenden Systemfunktionen abgedeckt werden:

1. **Bestimmung der zu erwartenden (Rest-) Reichweite:** Als Basis für die weitere Automatisierung ist eine möglichst genaue Abschätzung der erzielbaren (Rest-) Reichweite für jedes elektrische Fahrzeug erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass die Reichweite nicht nur vom Ladezustand (SoC), sondern auch maßgeblich von anderen Faktoren, wie z.B. der Außentemperatur, der Geschwindigkeit oder der Fahrweise, abhängt. Entsprechend müssen hierfür die erforderlichen Vorhersagemodelle entwickelt werden.
2. **Bestimmung des zu erwartenden Fahraufkommens:** Neben den zu erwartenden Verbrauchsdaten spielt auch das zu erwartende Fahraufkommen eine wichtige Rolle für die Optimierung. Ähnlich wie bei der Bestimmung der Reichweite ist auch das Fahraufkommen von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Nach Rücksprache mit mehreren Taxifahrern gehören dazu zum Beispiel, der Wochentag, das Wetter (z.B. mehr Fahrten, wenn es regnet), die Jahreszeit (z.B. weniger Fahrten im Frühling) oder auch die Durchführung von Großveranstaltungen (z.B. Karneval, Fußballspiele, etc.) im städtischen Gebiet.

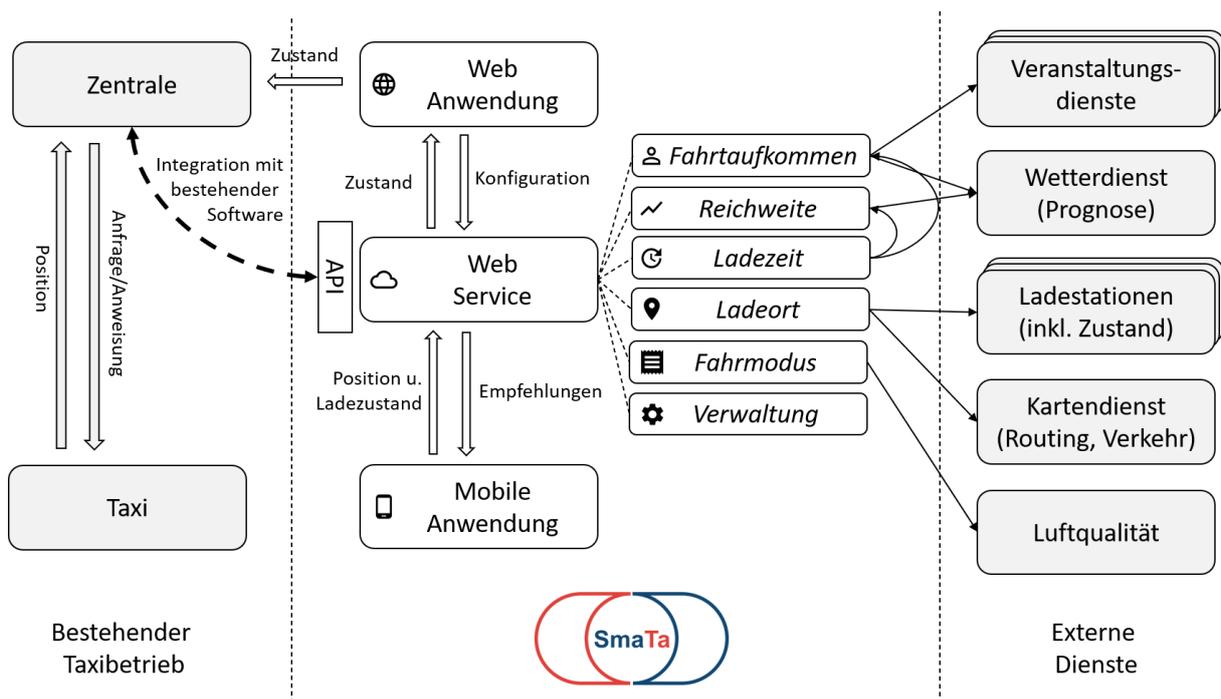
3. **Bestimmung des optimalen Ladezeitpunkts:** Auf Basis der Restreichweite und dem zu erwartenden Fahrtaufkommens sollen automatisch optimale Zeitpunkte für das Wiederaufladen des Fahrzeugs bestimmt werden. Für Einzelunternehmer sind das z.B. die Zeitpunkte, bei denen die Restreichweite nicht für die verbleibende Arbeitszeit ausreicht und das zu erwartende Fahrtaufkommen während des Ladevorgangs gering ist. Für Unternehmen mit mehreren Fahrzeugen könnten darüber hinaus noch weitere Optimierungskriterien, wie z.B. die Gewährleistung bestimmter Abdeckungskriterien, hinzukommen. Für hybride Fahrzeuge und Fahrzeuge mit sog. Range-Extendern sollte darüber hinaus die Möglichkeit des Umschaltens auf einen Verbrennungsmotor berücksichtigt werden.
4. **Bestimmung des optimalen Ladeortes:** In Anschluss an die Bestimmung des Ladezeitpunktes soll ein geeigneter Ladeort bestimmt werden. Hierbei müssen neben den Präferenzen des Unternehmers (z.B. lieber am Firmenstandort aufladen) auch die Ladestandards, Ladestärken und Ladekosten der jeweiligen Ladepunkte berücksichtigt werden. Darüber hinaus müssen auch dynamische Kriterien, wie z.B. die Verfügbarkeit oder ggfs. Reservierungsmöglichkeiten bei der Planung berücksichtigt werden.
5. **Bestimmung des optimalen Fahrmodus:** Für hybride Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit manuell steuerbarer, kraftstoffbetriebener Reichweitenerweiterung sollen darüber hinaus Empfehlungen für die Wahl des Betriebsmodus, d.h. Batterie- oder Kraftstoffbetrieb, ausgegeben werden. Hierfür sollen neben der gegenwärtigen Position und dem Batteriezustand des Fahrzeugs auch die gegenwärtige Luftverschmutzungssituation berücksichtigt werden.

## b) Architektur

Zur Umsetzung der Kernfunktionen wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie ein erster Architekturentwurf für die Plattform entwickelt. Um die Einführung des zu entwickelnden Informationssystems möglichst einfach zu gestalten, zielt der Entwurf auf eine lose Kopplung zwischen den bestehenden Systemen der Taxiunternehmen und den neuen Komponenten ab. Über eine Programmierschnittstelle (engl. Application Programming Interface, API) die als integraler Bestandteil des zu entwickelnden Systems vorgesehen ist, kann die Integration zu einem späteren Zeitpunkt bei Bedarf enger gestaltet werden, wodurch etwaige Dopplungen, z.B. im Bereich der Nutzerschnittstelle, reduziert werden können.

Wie in Abbildung 2 veranschaulicht, besteht das zu entwickelnde Informationssystem aus den folgenden drei Komponenten:

- **Mobile Anwendung:** Primäre Aufgabe der mobilen Anwendung ist die kontinuierliche Erfassung der Fahrzeugposition sowie des Ladezustands des Fahrzeugs. Die erfassten Daten werden von der Anwendung periodisch an einen Web Service übertragen, der die Daten analysiert und auf Basis der Analyse Empfehlungen erzeugt. Die Empfehlungen können von einem Fahrer über die mobile Anwendung angezeigt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Anwendung dem Fahrer bei Bedarf auch die manuelle Auswahl von Ladeorten in seiner näheren Umgebung.
- **Webanwendung:** Während die mobile Anwendung primär auf Taxifahrer ausgerichtet ist, zielt die Webanwendung vorwiegend auf die Nutzung durch die Zentrale ab. Bei Nutzung in einer Genossenschaft erlaubt die Anwendung die Anzeige der Positionen und Reichweite der einzelnen Fahrzeuge. Bei Nutzung in der Zentrale eines Unternehmens mit mehreren Fahrzeugen erlaubt die Anwendung darüber hinaus die Konfiguration der flottenübergreifender Optimierungskriterien sowie die manuelle Generierung von Ladeanweisungen an einzelne Fahrer auf Basis des Flottenzustands.



**Abbildung 2 – Initiale Plattform Architektur**

- **Web Service:** Als Kern der Architektur übernimmt der Web Service zunächst grundlegende Funktionen zur Verwaltung der Fahrzeuge und Nutzer. Darüber hinaus übernimmt der Web Service die Bildung der erforderlichen Profile für die zu erwartende Restreichweite und das zu erwartende Fahrtaufkommen. Ansatzpunkt hierfür ist die Analyse der Positions- und Ladeinformationen der Fahrzeuge mit Hilfe von Verfahren des maschinellen Lernens. Um externe Faktoren, wie z.B. die Wettervorhersage oder

das aktuelle Veranstaltungsaufkommen, berücksichtigen zu können, interagiert der Dienst mit bestehenden externen Diensten, die diese Informationen bereits in maschinenlesbarer Form anbieten. Auf Basis der Abschätzung der Reichweite und des Fahraufkommens berechnet der Dienst die optimale Ladezeit und wählt im Anschluss geeignete Ladestationen aus. Hierfür greift der Dienst auf bestehende externe Dienste der Ladestationsbetreiber (engl. Charge Point Operator, CPO) zurück. Um die optimale Ladestation zu bestimmen, werden mit Hilfe eines externen Kartendienstes mögliche Anfahrtstrecken berechnet und bewertet. Je nach Dienst könne hierbei ggfs. aktuelle Verkehrsinformationen (z.B. Unfälle, etc.) berücksichtigt werden. Für die Berechnung von Fahrempfehlungen werden zusätzlich noch die Informationen über die Luftqualität mit der Position verknüpft.

### c) Integrationen

Wie bereits erwähnt zielt diese Architektur grundsätzlich auf eine lose Kopplung zwischen den bestehenden Systemen der Taxiunternehmer und dem zu entwickelnden Informationssystem ab. Dieses Vorgehen vereinfacht sowohl die Entwicklung als auch die Inbetriebnahme des Systems, da eine Kompatibilität mit den bestehenden Systemen nicht zwangsläufig gewährleistet werden muss und ein Parallelbetrieb ohne Seiteneffekte möglich ist.

Nachteilig wirkt sich dabei jedoch aus, dass die Positionsinformationen der Fahrzeuge mehrfach übertragen werden müssen und dass die Anzeige der Zustandsinformationen nicht in die bestehende Software integriert ist. Um diese Nachteile abzumildern, soll der Web Service mit einer offenen Programmierschnittstelle (API) ausgestattet werden, die es den Anbietern der bestehenden Software ermöglicht, die Positionsinformationen der Fahrzeuge einzuspeisen und die Informationen über die gebildeten Profile abzurufen. Dadurch werden die bestehenden Softwareanbieter in die Lage versetzt, ihre Produkte durch eine engere Integration kostengünstig zu erweitern.

Darüber hinaus erfordert die mobile Anwendung eine Schnittstelle zur Bereitstellung von Informationen über den Ladezustand des Fahrzeugs. Eine solche Schnittstelle kann voraussichtlich über eine Integration mit der On Board Diagnostics (OBD) Schnittstelle umgesetzt werden. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde hierzu bereits der Fahrzeughersteller LEVC kontaktiert. Laut LEVC sind sowohl die absolute (15-95%) als auch die für Fahrten nutzbare Restkapazität der Batterie (0-100%) über die OBD Schnittstelle jederzeit abrufbar. Die Übertragung erfolgt dabei in standardisierter Form gemäß dem CAN-Protokoll ISO14229 UDS. Laut LEVC wird diese Schnittstelle von einigen Taxibetrieben bereits als Bestandteil ihrer bestehenden

Telematiksysteme genutzt. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass eine ähnliche Schnittstelle auch bei anderen Fahrzeugherstellern verfügbar sein dürfte.

Für den (unwahrscheinlichen) Fall, dass eine solche Fahrzeugintegration bei anderen Fahrzeugherstellern bauartbedingt nicht möglich sein sollte, kann der Ladezustand ggfs. auch beim Laden über die Schnittstellen des Betreibers der Ladestationen erfasst werden oder lediglich auf Basis der bereits gefahrenen Strecke abgeschätzt werden. In diesem Fall müsste jedoch mit einer geringeren Datenqualität gerechnet werden.

Schließlich erfordert die Umsetzung des Web Service den Zugriff auf unterschiedliche Daten, die derzeit bereits von Dritten in maschinenlesbarer Form angeboten werden. Dazu gehören neben Karten-, Verkehrs-, Wetter- und Veranstaltungsinformationen vor allem auch Informationen über den Standort, die Eigenschaften und den Zustand der Ladestationen sowie aktuelle Messungen der Luftqualität. Im Folgenden werden diese Schnittstellen näher analysiert.

## 4. Schnittstellen

Um letztlich konkrete Empfehlung für die Ladezeitpunkte und Ladeorte abgeben zu können, muss zunächst das Fahrtaufkommen abgeschätzt werden können. Da die Menge der zu erwartenden Fahrten stark wetterabhängig ist, ist die Integration eines externen Dienstes zum Abruf von Wettervorhersagen notwendig. Darüber hinaus kann die Durchführung von Großveranstaltungen die Zahl der zu erwartenden Fahrten stark beeinflussen. Im Gegensatz zu Wetterinformationen gibt es jedoch keinen einzelnen Anbieter, der solche Informationen flächendeckend bereitstellen kann. Entsprechend müssen für diese Information ggfs. mehrere Anbieter (z.B. einen Anbieter pro Stadt) integriert werden. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für die Informationen über Ladestationen. Zwar gibt es in der Zwischenzeit einige Informationsquellen, wie z.B. OpenChargeMap, die versuchen Informationen über alle verfügbaren Ladestationen zu bündeln, jedoch sind diese zumeist nicht in der Lage dynamische Informationen über die Belegung oder den Zustand zu erfassen. Entsprechend muss auch hier davon ausgegangen werden, dass für die Nutzung in einer Stadt in der Regel die Daten mehrerer Anbieter integriert werden müssen. Hinsichtlich der Karten- und Verkehrsinformationen tritt dieses Problem jedoch nicht auf, da es hier sogar mehrere Anbieter gibt, die diese Informationen flächendeckend bereitstellen können.

### a) Wetter

Ziel der Wetterschnittstelle ist der Abruf von Wettervorhersagen zur Berechnung des zu erwartenden Fahrtaufkommens in Abhängigkeit der vorhergesagten Wetterbedingungen. Der zu integrierende Wetterdienst sollte dabei zumindest Daten über die Temperatur und den Niederschlag bereitstellen, die mindestens einmal pro Tag aktualisiert werden. Da die Vorhersagen problemlos vom Web Service der Vernetzungsplattform zwischengespeichert werden können, ist mit einer geringen Anzahl von Abrufen zu rechnen (~ 1 Abruf pro Tag und Stadt). Darüber hinaus sind übliche Leistungskriterien, wie z.B. die Verfügbarkeit oder die Zugriffsgeschwindigkeit, von geringer Relevanz.

Für die Umsetzung dieser Schnittstelle wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie drei Dienste näher untersucht. Tabelle 1 listet die untersuchten Dienste auf, zusammen mit ihren Eigenschaften, Kosten und dem erwartbaren Aufwand für die Integration. Wie in Tabelle 1 dargestellt, bieten alle drei Dienste die erforderlichen Daten über Temperatur und Niederschlag an. Darüber hinaus ermöglichen alle Dienste Schnittstellen zum Abruf der Informationen über das Internet. Hinsichtlich der Protokolle und Datenformate gibt es mit AccuWeather

und WetterOnline zwei Dienste, deren Daten über das http-Protokoll in Form von JSON bzw. XML-Dokumenten abgerufen werden können. Da diese Kombination an Protokollen und Formaten dem derzeitigen Stand der Technik entspricht und beide Anbieter eine gute Dokumentation über ihre Webseite zugänglich machen, kann von einem geringen Integrationsaufwand ausgegangen werden. Der Deutsche Wetterdienst bietet hingegen eine FTP Schnittstelle zum Abruf von Dateien im KML Format. Dieses Format ist zwar unüblich, aber da die Schnittstelle ebenfalls gut dokumentiert ist, kann auch hier von einem vergleichsweise geringen Integrationsaufwand ausgegangen werden.

**Tabelle 1 – Wetterdienste** (eigene Darstellung)

Anbieter	Temperatur	Niederschlag	Schnittstelle	Kosten	Aufwand
AccuWeather	Ja	Ja	HTTP + JSON	50 Anfragen/Tag	Gering
WetterOnline	Ja	Ja	HTTP + JSON/XML	Auf Anfrage	Gering
DWD (MOSMIX)	Ja	Ja	FTP + KML	Kostenlos	Mäßig

Ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Dienste ergibt sich beim Blick auf die Nutzungskosten. Hier zeigt sich, dass die kommerziellen Anbieter AccuWeather und WetterOnline den Zugriff auf ihre Programmierschnittstellen entweder strikt begrenzen (z.B. Free-Tier bei AccuWeather) oder nur gegen Bezahlung anbieten (WetterOnline). Die Daten des Deutschen Wetterdienst sind jedoch für jede Art der Nutzung (bei entsprechender Quellangabe) kostenlos erhältlich. Dies wird sich aufgrund bestehender gesetzlicher Bestimmungen (DWD Gesetz von 2017) auch in absehbarer Zeit nicht ändern. Entsprechend scheint sich der etwas höhere Integrationsaufwand, der sich durch die etwaige Nutzung der Daten des DWDs ergeben würde, zumindest längerfristig zu amortisieren.

## b) Veranstaltungen

Ziel der Veranstaltungsschnittstelle ist die Bereitstellung von Informationen über Großveranstaltungen zur Verbesserung der Berechnung des zu erwartenden Fahraufkommens. Idealerweise sollte ein Veranstaltungsdienst hierbei Daten zum Veranstaltungsname, zum Zeitpunkt und zum Veranstaltungsort sowie der erwarteten Zahl der Teilnehmer ausweisen. Leider zeigt die Analyse der bestehenden Anbieter, dass insbesondere die Zahl der Teilnehmer in der Regel nicht verfügbar ist. Darüber hinaus ist die Qualität der bereitgestellten Ortsinformationen höchst unterschiedlich.

Wie in Tabelle 2 aufgeführt führt der Veranstaltungsdienst der Stadt Köln für jede Veranstaltung eine konkrete Straßenadresse sowie eine WGS84 Koordinate auf. Die Stadt Bonn führt in ihrem Veranstaltungsdienst hingegen lediglich eine Ortsbezeichnung (z.B. „Kunstmaschinenhalle“ oder „Haus der Natur“) auf. Entsprechend müssen diese Daten zunächst mit Hilfe eines Kartendienstes in Adressen bzw. Koordinaten übersetzt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Stadt Düsseldorf nur Informationen über Märkte in einer für die maschinelle Verarbeitung vorgesehenen Form anbietet. Informationen über sonstige Veranstaltungen (Konzerte, etc.) sind nur über eine Webseite im HTML Format abrufbar. Dies gilt in gleicher Weise für die Stadt Essen, die lediglich eine Webseite zum Abruf der Informationen anbietet.

**Tabelle 2 – Veranstaltungsdienste** (eigene Darstellung)

Anbieter	Ort	Zeit	Name	Teilnehmer	Schnittstelle	Kosten	Aufwand
Köln	Ja	Ja	Ja	Nein	HTTP + JSON	Kostenlos	Gering
Bonn	Bezeichnung	Ja	Ja	Nein	HTTP + JSON	Kostenlos	Mäßig
Düsseldorf (Märkte)	Ja	Ja	Ja	Nein	HTTP + GEOJSON	Kostenlos	Gering
Düsseldorf (Sonstige)	Bezeichnung	Ja	Ja	Nein	HTML	Kostenlos	Hoch
Essen	Bezeichnung	Ja	Ja	Nein	HTML	Kostenlos	Hoch

Aufgrund dieser Heterogenität ist auch der zu erwartende Integrationsaufwand höchst unterschiedlich. Während die Daten der Stadt Köln direkt abgerufen und verarbeitet werden können, erfordert die Integration der Daten der Stadt Bonn zumindest den zusätzlichen Schritt der Adressauflösung. Die Integration der Daten aus Essen oder Düsseldorf erfordert darüber hinaus die Entwicklung eines Extraktionswerkzeugs, das die für die Ansicht im Webbrowser konzipierten Daten in eine einfachere Form umwandelt. Da dieses Werkzeug an etwaige Änderungen der Darstellung angepasst werden müsste, ist hier mit einem vergleichsweise hohen und möglicherweise sogar widerkehrenden Aufwand zu rechnen.

Unabhängig vom Integrationsaufwand ist das Fehlen von Größenabschätzungen ein weiteres Problem aller bestehenden Dienste. Ein möglicher Lösungsansatz hierfür wäre ggfs. die manuelle Klassifikation der Veranstaltungsorte hinsichtlich ihrer Größe. Nach erfolgter Klassifikation der Orte könnte dann die Größe auf die jeweilige Veranstaltung übertragen werden. Da hierbei vor allem die Orte mit hohen Besucherzahlen (z.B. Lanxess Arena in Köln, Rheinaue in Bonn, Grugahalle in Essen, etc.) von Bedeutung sind, würde sich der hierfür erforderliche Aufwand sicherlich im Bereich des Machbaren halten.

### c) Ladestationen

Ziel der Schnittstelle zu Anbietern von Ladestationen ist die Berechnung des optimalen Orts für die Ladung des Fahrzeugs. Hierfür werden zumindest Daten über den Ort der Ladestation, die Anzahl der Ladepunkte an der Station sowie die unterstützten Verbindungsarten benötigt. Um zu vermeiden, dass Fahrern bereits belegte oder defekte Stationen vorgeschlagen werden, wären zusätzlich noch aktuelle Informationen über die Verfügbarkeit der jeweiligen Ladepunkte sinnvoll.

Die in Tabelle 3 aufgelisteten Datenanbieter lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien klassifizieren. Anbieter wie OpenChargeMap oder auch die Bundesnetzagentur bieten flächendeckende Verzeichnisse der Ladestationen an. Infrastrukturanbieter wie ChargeCloud oder Stationsbetreiber können Daten über die Stationen ihrer Kunden bzw. über ihre eigenen Stationen liefern. Alle Anbieter liefern dabei grundsätzlich zumindest Informationen über den Ort sowie die Anzahl der Ladepunkte und die unterstützten Verbindungstypen. Informationen über die Verfügbarkeit der Ladepunkte sind jedoch in verlässlicher Weise nur über die Dienste der Infrastrukturbetreiber erhältlich.

**Tabelle 3 – Ladestationsdienste** (eigene Darstellung)

Anbieter	Ort	Anzahl	Verbindung	Verfügbarkeit	Schnittstelle	Kosten	Aufwand
Bundesnetzagentur	Ja	Ja	Ja	Nein	XLSX	Kostenlos	Gering
OpenChargeMap	Ja	Ja	Ja	Begrenzt	HTTP + JSON	Fair Use	Gering
ChargeCloud	Ja	Ja	Ja	Ja	HTTP + JSON	Unbekannt	Gering
Innogy	Nv.	Nv.	Nv.	Nv.	Nv.	Nv.	Nv.

Zwar bietet die OpenChargeMap grundsätzlich die Möglichkeit den Zustand der Ladestationen zu verwalten, allerdings ist hierfür die Mitwirkung der Nutzer erforderlich. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Informationen möglicherweise fehlerbehaftet sind und dass sie in der Regel nicht flächendeckend verfügbar sein werden. Aus diesem Grund wäre eine direkte Integration mit den jeweiligen Betreibern sicherlich wünschenswert, um eine hohe Dienstgüte gewährleisten zu können.

Hierbei ergibt sich jedoch erschwerend das Problem, dass einzelne Betreiber, wie z.B. Innogy, die Informationen über den Zustand der Ladestationen exklusiv vermarkten. Nach Rücksprache mit Innogy betreibt der Anbieter hierfür in Kooperation mit Hubeject eigene Anwendungen

zur Nutzung der Ladestationen und Abrechnung der Ladevorgänge. Eine Nutzung der Daten durch Dritte ist nicht vorgesehen.

Wie bereits erwähnt betrifft dieses Problem jedoch nur einzelne Anbieter. So bietet beispielsweise die ChargeCloud entsprechende Programmierschnittstellen für den Abruf der Positionen und des Zustands der Ladestationen an. Neben den Positionsinformationen enthält die Schnittstelle auch Informationen über die Belegung der Ladepunkte und den Zustand des etwaigen Ladevorgangs.

Hinsichtlich der Integrationskosten ist bei allen Anbietern mit vergleichsweise geringen Kosten zu rechnen, da die Schnittstellen den üblichen Standards entsprechen und in der Regel dokumentiert sind. Da der Zugriff auf die Daten der Bundesnetzagentur über einen manuellen Download einer Exceldatei erfolgt, wäre hier noch zu klären, in wie weit sich der regelmäßige Download automatisieren lässt. Zu beachten ist jedoch, dass eine flächendeckende Bereitstellung eines Verzeichnisses aller Ladestationen inklusive der jeweiligen Zustandsinformationen in der Regel mehrere Anbieter integriert werden müssen. Da die Schnittstellen jedoch anbieterspezifisch sind, ist davon auszugehen, dass sich der hieraus entstehende Aufwand vervielfacht. Darüber hinaus sollte für ein Anschlussprojekt sichergestellt werden, dass die größeren Anbieter in den jeweiligen Städten ihre Informationen auch bereitstellen und nicht, wie im Falle von Innogy, exklusiv vermarkten.

#### d) Karten

Ziel der Schnittstelle zu einem Kartendienst ist die Bereitstellung von räumlichen Informationen zu Berechnung des optimalen Ladeorts und zur Visualisierung von Ladesäulen in der Umgebung. Dementsprechend sollte ein Kartendienst Schnittstellen für die Berechnung von Fahrstrecken (Routing) sowie für die Auslieferung von Kartenbildern bereitstellen. Bei der Berechnung von Fahrstrecken sollte der Kartendienst idealerweise in der Lage sein, die gegenwärtige Verkehrslage zu berücksichtigen. Um die Kosten für die Bereitstellung zu reduzieren, könnte hierauf jedoch ggfs. auch verzichtet werden. Zusätzlich ist für die Integration der Veranstaltungsinformationen noch die Auflösung von Adressen und Ortsnamen erforderlich.

Während größere Anbieter, wie z.B. Google Maps, die Nutzung ihrer Programmierschnittstellen zum Zwecke der Flottenverwaltung explizit ausschließen, gibt es am Markt dennoch eine größere Zahl an Anbietern, die alle erforderlichen Daten bereitstellen können (siehe Tabelle 4). Datengrundlage der Anbieter sind dabei entweder eigens erfasste Daten (Here) oder offene Daten des OpenStreetMap Projekts (Mapbox, LocosLab). Auf Basis der jeweiligen Datenquellen bieten alle Anbieter Schnittstellen zur Adressauflösung (Geocoding), zur

Fahrtstreckenberechnung (Routing) und zur Erstellung von Kartenvisualisierung an. Bei der Berechnung von Fahrtstrecken können größere Anbieter (Here, Mabox) auch die gegenwärtige Verkehrssituation berücksichtigen. Laut Aussage von Mapbox ist die Genauigkeit der Verkehrsinformationen in Deutschland nur mäßig. LocosLab bietet hingegen keine Informationen über das Verkehrsaufkommen an.

**Tabelle 4 – Kartendienste** (eigene Darstellung)

Anbieter	Karten	Geocoding	Routing	Verkehr	Schnittstelle	Kosten	Aufwand
Here	Ja	Ja	Ja	Ja	HTTP + JSON	>5000 Nutzer auf Anfrage	Gering
Mapbox	Ja	Ja	Ja	Begrenzt	HTTP + JSON	>25000 Nutzer 4€/Nutzer	Gering
LocosLab	Ja	Ja	Ja	Nein	HTTP + JSON	Ggfs. kostenlos	Gering

Hinsichtlich der Integrationskosten ist bei allen Anbietern mit einem geringen Aufwand zu rechnen, da alle Anbieter gut dokumentierte http-Schnittstellen mit Rückgaben im JSON Format anbieten. Die Nutzungskosten der einzelnen Anbieter sind jedoch sehr unterschiedlich. Sowohl Here als auch Mapbox ermöglichen eine kostenlose Nutzung ihrer Dienste solange die Zahl der Nutzer und Anfragen unter einer gewissen Schwelle liegt. Für mobile Anwendungen liegt diese Schwelle bei 5000 (Here) bzw. 25000 (Mapbox) Nutzern. Darüber hinaus gibt es noch weitere Beschränkungen in Bezug auf die maximale Zahl an Anfragen pro Monat oder die maximale Anzahl der verwalteten Assets. Entsprechend kann ohne genaues Lastmodell keine genaue Aussage über die zu erwartenden Kosten getroffen werden. Aufgrund der engen bestehenden Kooperation der LocosLab GmbH mit der Universität Duisburg-Essen kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzung der LocosLab Dienste wahrscheinlich kostengünstiger realisierbar ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn die erforderlichen Dienste als Teil der zu entwickelnden Vernetzungsplattform betrieben werden. In diesem Falle wäre eine Nutzung ohne monatliche Betriebskosten denkbar.

#### e) Luftqualität

Ziel der Schnittstelle für die Luftqualität ist die Generierung von Fahrempfehlungen für Fahrzeuge, die sowohl batterieelektrisch als auch mit Kraftstoff betrieben werden können. Zu diesem Zweck sollen in stark belasteten Gegenden die Fahrzeugposition mit aktuellen Messwerten über die Luftqualität abgeglichen werden. Als Anbieter für aktuelle Informationen über die

Luftqualität kommt für den Raum Nordrhein-Westfalen vorwiegend das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) in Frage.

Über seine Webseite veröffentlicht das Landesamt stündliche Messungen von derzeit rund 60 Messtationen im städtischen Bereich. Die Messwerte an den Messstellen werden dabei im CSV-Format angeboten. Zu beachten ist jedoch, dass nicht an jeder Messstelle alle Informationen erfasst werden.

**Tabelle 5 – Luftqualität** (eigene Darstellung)

Anbieter	Ozon	Schwefeldioxid	Stickoxid	Feinstaub	Schnittstelle	Kosten	Aufwand
LANUV	Teilweise	Teilweise	Teilweise	Teilweise	HTML + CSV	Kostenlos	Hoch

Hinsichtlich der Integrationskosten ist der zu erwartende Aufwand als eher hoch anzusehen. Zwar stellt das Landesamt die Messdaten selbst in einem einfach zu verarbeitenden CSV Format bereit, die Metadaten zur Position der Messtationen werden jedoch nur in Form von HTML Dateien angeboten. Entsprechend muss für eine Integration zunächst ein geeigneter Parser entwickelt werden. Alternativ wäre aufgrund der geringen Anzahl von Stationen auch die manuelle Eingabe der Positionen aller Stationen denkbar. In diesem Fall müssten jedoch über den Projektverlauf etwaige Änderungen regelmäßig manuell nachgeführt werden. Dies wäre vor allem mit Blick auf die spätere Vermarktung der Plattform ein zusätzlicher Kostenfaktor. Entsprechend wäre eine automatisierte Integration sicherlich wünschenswert.

## 5. Betriebskosten

Für den Betrieb des Informationssystems müssen alle technischen Komponenten, d.h. die mobile Anwendung, die Webanwendung und der Web Service, über die entsprechenden Kanäle bereitgestellt werden. Darüber hinaus müssen die Nutzungskosten für die externen Dienste berücksichtigt werden.

Für die mobile Anwendung bedeutet das die Bereitstellung in der Verkaufsplattform der jeweiligen Systemplattform. Für die Umsetzung einer App auf Basis der Android Plattform muss hier mit einmaligen Kosten von 25€ gerechnet werden. Soll zusätzlich noch eine Anwendung für die iOS Plattform entwickelt werden, fallen jährliche Kosten von ca. 100€ an.

Für die Bereitstellung der Webanwendung und die Bereitstellung des Web Service ist eine ausreichend dimensionierte Serverinfrastruktur erforderlich. Die Dimensionierung hängt dabei im Wesentlichen von der Zahl der zu verwaltenden Fahrzeuge ab. Aufgrund des anhaltenden Fortschritts der Rechnertechnik kann davon ausgegangen werden, dass ein aktueller Server bei einer Aktualisierungsrate von ca. 1 Position pro Fahrzeug und Minute ca. 500 Fahrzeuge problemlos verwalten kann. Um Ausfälle vermeiden zu können, sollte jedoch eine gewisse Redundanz im Betrieb vorgesehen sein. Für den Betrieb sollte deshalb eher ein kleines Rechencluster bestehend aus 4 aktuellen Servern für eine Umsetzung des Informationssystems in 3-4 Städten genutzt. Bei einem Betrieb an der Universität Duisburg-Essen kann mit Anschaffungskosten von ca. 5000€ pro Rechner gerechnet werden. Bei einem Betrieb in einer gemieteten Infrastruktur muss mit Kosten von ca. 150-200€ pro Rechner gerechnet werden (z.B. HostEurope Dedicated Server L oder XL). Entsprechend würden die Mietkosten ab ca. 2-3 Jahren die Anschaffungskosten für das Rechencluster übersteigen.

Aufgrund der Tatsache, dass viele der extern benötigten Dienste kostenfrei angeboten werden, muss bei der Kalkulation der Betriebskosten vor allem der Dienst zur Bereitstellung der Karteninformationen berücksichtigt werden. Insbesondere bei der Nutzung der Anbieter, die auch Verkehrsinformationen bereitstellen können, können bei einer Überschreitung der Freigrenzen schnell Kosten von mehr als 400€ pro Monat entstehen. Entsprechend sollte vor einer Auswahl des Anbieters das zu erwartende Lastmodell mit den Freigrenzen abgeglichen werden. Alternativ könnten diese Kosten auch durch einmalige Lizenzierung und anschließendem Eigenbetrieb des Kartendienstes von einem Anbieter wie der LocosLab GmbH vollständig vermieden werden.

## 6. Datenschutz und Datensicherheit

Ein wichtiger Fokus der Machbarkeitsstudie „Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb“ ist neben der technischen Realisierbarkeit auch die Analyse der rechtlichen Grundlagen hinsichtlich des Datenschutzes und die damit einhergehenden Fragestellungen der Datensicherheit. In Deutschland und im europäischen Raum müssen hierfür vor allem die rechtlichen Rahmenbedingungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) betrachtet werden.

Hierbei ist festzuhalten, dass insbesondere die Positionsinformationen der Fahrzeuge und die Zugangsinformationen der Unternehmer laut DSGVO Artikel 4.1. als grundsätzlich personenbezogen einzustufen sind. Entsprechend erfordert eine rechtmäßige Verarbeitung der Daten die Berücksichtigung der in Artikel 6.1. definierten Gründe. Für die durch das zu entwickelnde Informationssystem durchgeführte Verarbeitung kommt hierbei jedoch lediglich die explizite Einwilligung der betroffenen Personen (6a) in Frage.

Bei und nach der Umsetzung des Informationssystems kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Taxifahrer und -unternehmer der vorgesehenen Datenverarbeitung personenbezogener Daten ohne weiteres zustimmen können und werden. Gründe hierfür sind zum einen, dass die erfassten Daten nur den jeweiligen Unternehmern selbst zugänglich gemacht werden und ein Austausch personenbezogener Daten über Unternehmensgrenzen hinweg weder erforderlich noch vorgesehen ist. Zum anderen wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie festgestellt, dass alle Taxiunternehmer die Standortdaten ihrer Fahrzeuge bereits flächendeckend erfassen und für die Zuteilung mit geringer Verzögerung an die Vermittlungszentrale übertragen. D.h. eine Verarbeitung der betreffenden Daten findet bereits zum jetzigen Zeitpunkt statt.

Neben der Einwilligung durch die Betroffenen erfordert die DSGVO-konforme Umsetzung des Informationssystems auch die Berücksichtigung der Informationspflichten des Betreibers (Artikel 13-15). Zu diesem Zweck ist im Rahmen der Entwicklung des Systems auch eine entsprechende Datenschutzerklärung zu entwickeln, die die Verarbeitungsschritte, die Speicherdauer und die Rechte der Betroffenen definiert und detailliert beschreibt.

Darüber hinaus sind während des Betriebs die Dokumentationspflichten (z.B. das in Artikel 30 beschriebene Verzeichnis von Verarbeitungstätigkeiten) durch den Betreiber zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck müssen vor der Inbetriebnahme die entsprechenden technischen und organisatorischen Datenschutzmaßnahmen in geeigneter Weise dokumentiert werden. Zusätzlich ist ein Ansprechpartner zu definieren, der Anfragen von Betroffenen (z.B. Einsprüche, Beschwerden, etc.) zeitnah bearbeitet. Sollte der Betrieb der für das System erforderlichen

Infrastruktur an einen externen Anbieter ausgelagert werden, sind die in Artikel 28 definierten Vorschriften zur Auftragsverarbeitung zu beachten und durch einen geeigneten Vertrag mit dem Auftragsverarbeiter abzusichern.

Hinsichtlich der technischen Schutzmaßnahmen verlangt die DSGVO in Artikel 32 die Sicherheit der Verarbeitung „unter Berücksichtigung des Stands der Technik, der Implementierungskosten und der Art, des Umfangs, der Umstände und Zwecke der Verarbeitung“. Entsprechend müssen bei der Implementierung des Informationssystems Mechanismen für den Schutz der Daten entwickelt und integriert werden. Neben einer geeigneten Authentifizierung und Autorisierung, z.B. auf Basis eines Nutzerkonzepts, sollte dazu auch von üblichen Verschlüsselungsmöglichkeiten (z.B. Transportverschlüsselung und verschlüsselte Datenspeicherung) Gebrauch gemacht werden. Darüber hinaus sollte die Speicherdauer der Standortdaten limitiert werden, so dass der Schaden bei einer etwaigen Offenlegung (z.B. durch Softwarefehler) begrenzt wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die geplante Verarbeitung personenbezogener Daten die Berücksichtigung der in der Datenschutzgrundverordnung beschriebenen Regelungen erfordert. Bei richtiger Umsetzung der Regelungen und mit der zu erwartenden Zustimmung der Taxifahrer und -unternehmer steht der Erreichung der Ziele grundsätzlich jedoch nichts im Wege.

## 7. Zusammenfassung

Als ein wesentliches Ergebnis der Machbarkeitsstudie „Smarte Plattform für die datengetriebene Vernetzung von Taxi- und Ladebetrieb“ skizziert dieses Dokument ein erstes Lastenheft für ein Informationssystem zur Unterstützung der Elektrifizierung des Taxibetriebs im städtischen Bereich. Ziel des Informationssystems ist die Vernetzung aller Beteiligten zur Umsetzung der Anwendungsfälle, die im Rahmen von Arbeitstreffen erarbeitet wurden. Aufgrund der spezifischen Anforderungen der Beteiligten zielen die Anwendungsfälle vorwiegend auf die Optimierung der Ladevorgänge ab.

Um diese Optimierung zu ermöglichen beschreibt dieses Dokument zunächst die erforderlichen Grundfunktionen des zu entwickelnden Informationssystems und führt anschließend einen ersten Architekturentwurf ein. Zu den wesentlichen Grundfunktionen gehört zum einen die Erstellung von Modellen zur Abschätzung des Fahraufkommen und der Restreichweite und zum anderen die gezielte Nutzung der Modelle zur Berechnung des optimalen Ladezeitpunkts und Ladeorts. Neben einem Web Service zur Datenspeicherung und -verarbeitung umfasst die Architektur noch eine mobile Anwendung zur Datenerfassung sowie eine Webanwendung zum Datenabruf. Beide Komponenten werden verwendet, um eine lose Kopplung zwischen den bestehenden Informationssystemen der Taxiunternehmen und dem zu entwickelnden System zu realisieren. Mit Hilfe einer im Konzept vorgesehenen Programmierschnittstelle lässt sich zu einem späteren Zeitpunkt die Integration vertiefen.

Um die benötigten Funktionen liefern zu können, greift der Web Service auf eine Reihe von externen Diensten zu, die verschiedenen Daten bereitstellen müssen. Zu den erforderlichen Daten gehören Wettervorhersagen, Veranstaltungs- und Karteninformationen sowie Informationen über die Position und den Zustand der verfügbaren Ladestationen. Die Ergebnisse der Schnittstellenanalyse der Machbarkeitsstudie zeigen, dass grundsätzlich alle erforderlichen Daten verfügbar sind. In einzelnen Bereichen, wie z.B. der Verfügbarkeit von aktuellen Zustandsinformationen, hängt die Datenqualität jedoch maßgeblich davon ab, ob die Betreiberunternehmen willens sind, ihre Daten für die Realisierung der Plattform freizugeben. Aus technischer Sicht scheint die Plattform problemlos umsetzbar zu sein und die zu erwartenden Betriebskosten können als sehr gering eingestuft werden.

**H. Artikel für den Tagungsband zum 12. Wissenschaftsforum Mobilität**

**Capturing and Analyzing Mobility Patterns using the Maptology Plattform**

*Marcus Handte, Lisa Kraus, Lukas Zeymer, Pedro José Marrón (Universität Duisburg-Essen)*

**Contents**

1. Introduction .....	XXXVII
2. Platform Architecture.....	XXXVII
a) Webservice.....	XXXVII
b) Mobile Application.....	XXXVIII
c) Web Application.....	XXXIX
3. Use Cases .....	XL
4. Conclusion .....	XLIII
5. References .....	XLIII

## 1. Introduction

The first step towards improving complex systems is to observe them in order to gain a thorough understanding of the potential effects of changes. In the context of urban mobility this usually entails the study of representative mobility patterns (Pan et al. 2013, Lin et al. 2014, Zhang et al. 2017). However, in many cases, the necessary data is not readily available. Instead, it must be collected by means of manual processes such as counting vehicles, estimating passenger numbers or interviewing travelers. Besides from being inherently laborious and error-prone, due to monetary and time constraints, this approach to the study of urban mobility patterns lacks the necessary scale and precision to capture a comprehensive picture.

Over the last years, we have developed the Maptology platform with the goal of simplifying both, the basic data acquisition and the subsequent data analysis. Given the ubiquitous availability of mobile phones that are equipped with multiple positioning systems and are able to connect to the Internet, the Maptology platform enables the cost-efficient acquisition of location data at a large scale by means of a mobile application that continuously monitors a phone's location. When connected to the Internet, the collected position data is automatically transferred to webservice that stores the data and makes it available for analyses.

In this paper, we first describe the different components of the platform in more detail. Thereafter, we discuss its application in the SMATA feasibility study and TALAKO research and development project where the Maptology platform is currently used to capture the mobility patterns of taxis in order to develop systems and services that support their electrification. Finally, we close the paper with a short summary and an outlook on the extensions that we are currently working on.

## 2. Platform Architecture

As hinted in the introduction, the Maptology platform is a distributed system that can be decomposed into three main architectural components depicted in Figure 1.

### a) Webservice

At the core of the Maptology architecture lies a webservice that is responsible for data storage, (pre-) processing and retrieval. In order to be scalable, the service is implemented using the Java 2 Enterprise Platform and it is deployed on a cluster of application servers that jointly execute it. The actual data storage is realized by a distributed relational database system that has been configured with the necessary index structures to efficiently retrieve the data segments required during different analyses. To facilitate the implementation of applications in different programming languages, the service offers a REST interface with JSON and XML serialization. The functions offered by the interface are documented using the OpenAPI Specification. With this interface definition language (IDL), it is possible to automatically

# Capturing and Analyzing Mobility Patterns using the Maptology Platform

generate the data models and proxies required to interact with the webservice and the mobile as well as the web application are using this generative approach to minimize the maintenance effort.

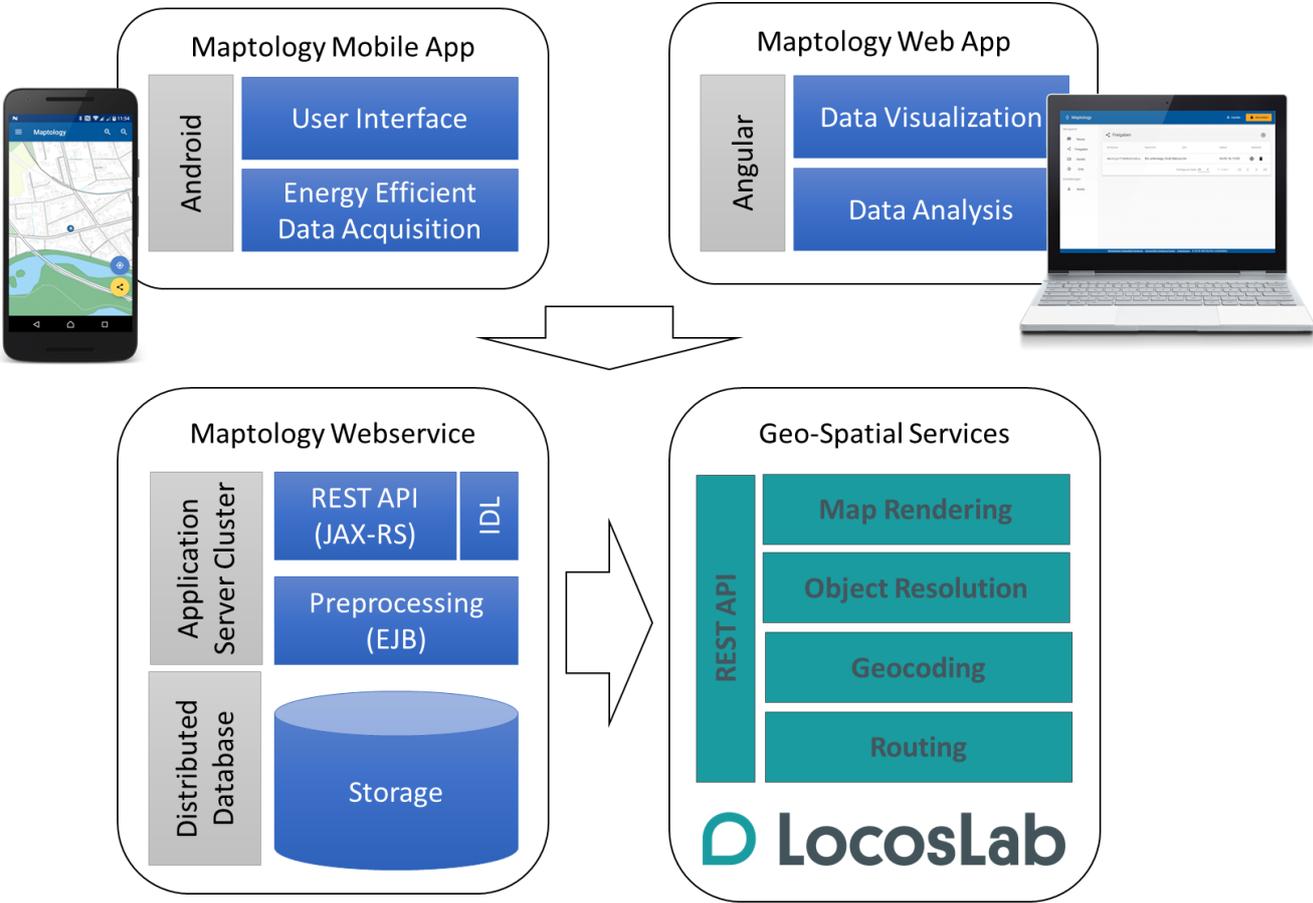


Fig. 1: High-level Architecture of the Maptology Platform (Blue) and Integration with Geo-Spatial Services Operated by LocosLab GmbH

## b) Mobile Application

To enable the acquisition of mobility data at a large scale, the Maptology platform provides a mobile application that has been developed for devices running the Android operating system. Besides from user interfaces that enable users to configure the application, the primary function realized by the application is the periodic acquisition of location data without requiring manual user intervention. To support a continuous and highly precise acquisition, specific care has been taken to minimize the energy usage. For example, in order to avoid unnecessary activations of the GPS receiver, the data acquisition system keeps track of previous user locations that can be detected efficiently, e.g. by means of memorizing and discovering the association between GPS positions and WIFI networks. In addition, the application intelligently controls the selection of positioning mechanisms used in different environments and it tightly integrates with the power-management functions of the operating system to detect and exploit the power

# Capturing and Analyzing Mobility Patterns using the Maptology Plattform

states of modern versions of Android such as idle and dooze mode. Finally, to reliably transmit the acquired data to the webservice, the mobile application can temporarily buffer the data, in cases where the phone's Internet connectivity is restricted.

## c) Web Application

To enable the analysis of the collected location data, the Maptology architecture introduces a web application as the third and final component. Jointly with the processing functions implemented by the webservice, the web application enables the inspection of individual location histories generated by a single device as well as the statistical analysis of data generated by multiple devices. As basis for the detection of mobility patterns, the webservice takes care of segmenting the data into trips and visits. In addition, it can estimate the movement modality (e.g. walking, driving, etc.) based on the movement speed and path.

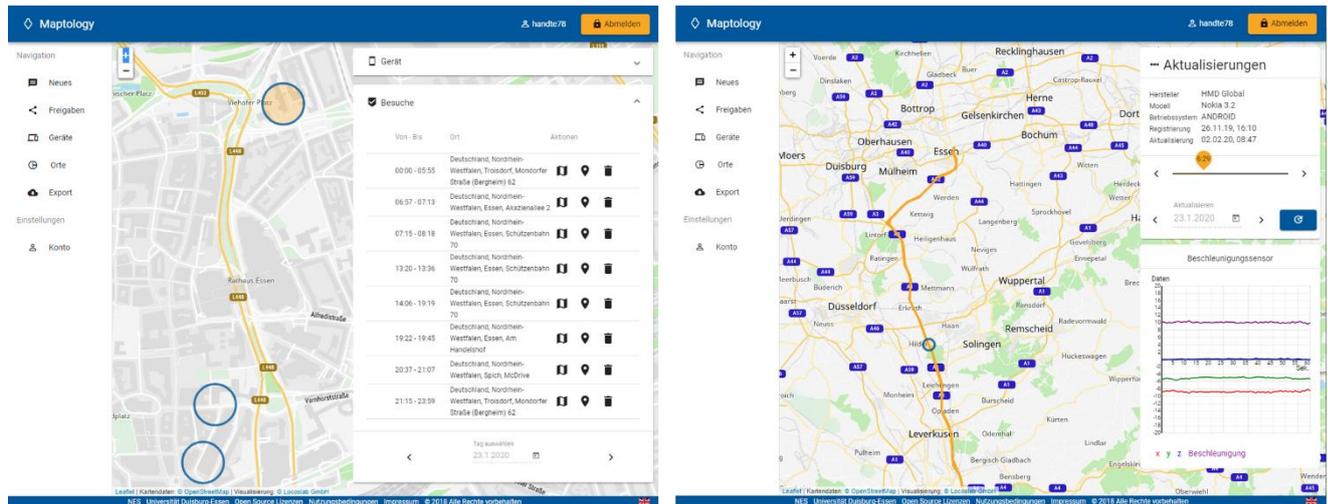


Fig. 2: Basic Visualization Examples: Visits (Left) and Trips (Right) of a Device over a Day

For the latter, the webservice integrates with several fundamental geo-spatial services that have been developed by LocosLab GmbH and are made available to us free of charge. These services leverage Open Data maintained by the OpenStreetMap project and provide Maptology with basic functions such as the rendering of map visualizations which include the geometry of different objects such as streets, buildings, rivers, etc. In addition, the services enable the translation of WGS84 coordinates used by GPS into street addresses (geocoding) as well as the resolution of different objects (e.g. train stations, airports, etc.) in the vicinity of a given coordinate. Finally, they also enable the computation of (multi-modal) routes which can be used, for example, to differentiate trips undertaken by car from trips undertaken by train.

## Capturing and Analyzing Mobility Patterns using the Maptology Plattform

On top of the segmentation created by the webservice and the functions offered by LocosLab's geo-spatial services, the web application provides different visualizations and analysis functions that have been implemented using the Angular framework. Therefore, they are platform agnostic and can be viewed on any device that is equipped with a modern web browser. Two basic visualizations are the depicted in Figure 2. The screenshot on the left shows the locations of visits of a single device on a single day. By selecting a location, the user can view a timeline of the visits at this location. The screenshot on the right shows the trips of a device. Using a slider, the user can inspect the exact device location at any point in time. More application-specific examples are presented in the following.

### **3. Use Cases**

To make the Maptology platform not only useful for research purposes but also for end users, we have extended the mobile and the web application with additional user interfaces that enable them to understand and analyze their own data as well. In addition, we have implemented functions that enable users to share their locations with each other for a configurable time period. The result is freely available for download through the Google Play store. For more details visit <https://www.maptology.com>.

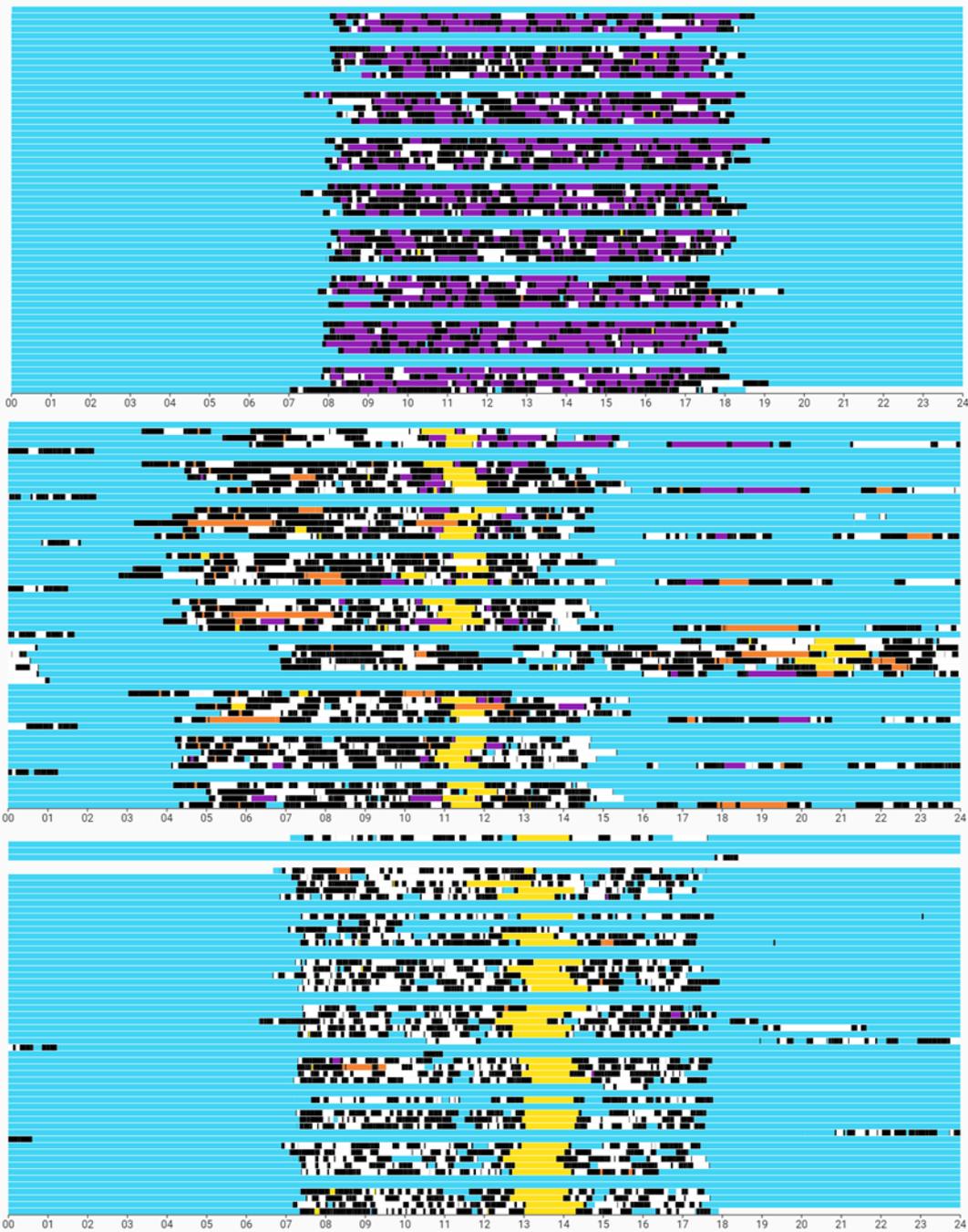


Fig. 3: Mobility Patterns of 2 Regular (top) and 1 Electric Taxi (bottom): Driving (Black) and Out of Service (Blue), at the Airport (Orange), at the Train Station (purple), at the Lunch Break Location (yellow) or Elsewhere (White)

In addition, we have started to use the Maptology platform to study the mobility patterns of taxis as part of the SMATA feasibility study and the TALAKO research and development project. Both projects aim at supporting the electrification of taxis operated in urban spaces. The TALAKO project is developing a novel concept to enable the wireless charging of electric taxis at a taxi stop. Complementary to this, the SMATA project is identifying missing services in the existing digital infrastructure of taxi operators that hamper the adoption of electric vehicles.

## Capturing and Analyzing Mobility Patterns using the Maptology Platform

A prerequisite for both projects is a thorough understanding of the established taxi operations to ensure that the resulting solutions meet the needs of all stakeholders. During the proposal stages of the projects, we primarily relied on manual data collection such as interviews with taxi drivers or small-scale measurements undertaken by student employees. However, such experiments are often time-consuming and imprecise. Thus, to improve the studies, we have prepared several mobile phones with the Maptology app and we have asked taxi drivers to install them in their vehicles.

Thereafter, we used the Maptology web application to periodically check the data collected by the mobile phones in order to identify program and usage errors that could compromise the data quality. However, since the mobile application has been tested extensively and since the taxi drivers did not have to interact with the mobile device at all, we did not experience any issues.

At the same time, we started to develop special-purpose analyses and visualizations to identify the mobility patterns of the taxis. Besides from basic statistical analyses such as the average waiting times or the distribution of driving distances which has been studied in previously, we also developed a visualization to study the predictability of the mobility patterns over time.

Figure 3 shows this visualization for 3 taxis over a period of approx. two months. The x-axis shows the time of day from midnight to midnight. The horizontal lines along y-axis shows the taxi's activity on different days. To compute this activity, we use the segmentation performed by the Maptology web-service to identify driving and waiting periods. Then we analyze the time periods spent at the same location to identify the semantically important places such as the "out-of-service location" of the vehicle or the "lunch break location". In addition, we use the data of LocosLab's geo-spatial services to identify points-of-interest in the vicinity of a stop such as "at the airport" or "at the train station." Then, we assign different colors to these locations and plot them.

When looking at the first vehicle shown at the top which is gathered from an independent taxi driver, it becomes quite apparent that in contrary to reports of previous studies (Veloso et al. 2011), (at least some) taxis can exhibit a highly regular mobility pattern. When the taxi is not out-of-service (blue), the taxi driver is either driving (black) or waiting at the train station (purple). The time that the taxi is stopped elsewhere (white) is minimal.

When looking at the second and third taxi operated by a taxi company, the regularity is less apparent. However, in contrast to the first vehicle, both taxis are regularly taking a break (yellow) at a specific location. In addition, when looking at the second vehicle, it become apparent that when coming into service, the taxi typically drives to the airport (brown). Towards the end of the workday, however, the taxi is more likely to wait at the train station.

Although the third taxi exhibits even less regularity, from the perspective of TALAKO and SMATA, this vehicle is specifically of interest since it is an electric vehicle. In terms of general mobility pattern, the vehicle is comparable to the first taxi. However, we guess that due to the limited battery capacity, the vehicle typically takes a 2 hour stop after around 5 hours of operation. This seems to indicate that using an electric vehicle without further support will require taxi operators to adapt their behavior. However, when looking at the first vehicle it is also quite apparent that the introduction of capacitive charging facilities at specific spots (such as the train station) could help to overcome such problems.

## 4. Conclusion

An important prerequisite for systematic changes to complex systems is a thorough understanding of the interaction of the components constituting them. The Maptology platform aims at improving the understanding of urban mobility by reducing the cost and complexity of data acquisition and analysis at a large scale. As demonstrated by the use cases described previously, the automation achieved by the Maptology platform enables detailed analyses that are hard – if not impossible – to implement using manual processes. Given our positive experiences with the Maptology platform, we are currently extending its capabilities to support simulations on top of the collected data, e.g. to study the impact of different battery capacities and charging speeds on the taxi operations. In addition, we are working on a number of features to make the system more attractive to individual users that are interested in understanding and exploiting their own location data.

## 5. References

- G. Pan, G. Qi, W. Zhang, S. Li, Z. Wu and L. T. Yang, Trace analysis and mining for smart cities: issues, methods, and applications, *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 120-126, June 2013.
- Lin M., Hsu W-J. Mining GPS data for mobility patterns: A survey, *Pervasive and Mobile Computing*, 12 (2014), pp. 1-16,
- Talako Consoritum, Talako Project Website, Available online at <https://talako.uni-due.de>, Last Visited Feb. 2020
- Veloso, Marco & Phithakkitnukoon, Santi & Bento, Carlos. Urban Mobility Study using Taxi Traces, International Workshop on Trajectory Data Mining and Analysis (TDM) in conjunction with the 13th International Conference on Ubiquitous Computing, 2011.
- Zhang S., Tang, J., Wang H., Wang Y., An S., Revealing intra-urban travel patterns and service ranges from taxi trajectories, *Journal of Transport Geography*, Vol. 61 (2017), pp. 72-86