

# Arbeitspaket 2 Feldtest

## Nutzungsdatenerfassung

1.	Hintergrund und Ausgangslage .....	2
1.1.	Hintergrund des Vorhabens .....	2
1.2.	Einordnung in das Gesamtprojekt und Rolle der Feldtests .....	2
1.3.	Projektstruktur .....	3
2.	Ziele der Feldtests .....	4
2.1.	Technologievergleich .....	4
2.2.	Anbietervergleich .....	5
2.3.	Repräsentativität und Übertragbarkeit der Ergebnisse .....	5
2.4.	Datenverarbeitung und Organisation .....	5
2.5.	Kundenakzeptanz .....	6
2.6.	Datenschutz und Datensicherheit.....	6
2.7.	Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit.....	7
3.	Feldtestregionen .....	8
3.1.	Haupttestregionen.....	9
3.2.	Ergänzende Regionalbereiche .....	14
4.	Ablauf der Feldtests .....	21
4.1.	Schrittweise Erweiterung .....	22
4.2.	Voraussichtliche Zeitplanung.....	23
4.3.	Beschreibung der Phasen (Entwicklungsstufen) .....	24
4.4.	Validierung der generierten Daten durch GPS-only oder GPS mit Beacon-Technologie.....	28
4.5.	Profitester – Methodik und Einsatz im Feldtest.....	29
5.	Leistungsbeschreibung .....	30
5.1.	Einordnung und Zielsetzung von AP 2 .....	30
5.2.	Leistungsgegenstand AP2.....	32
5.3.	LOS 1: Erhebungs-App – GPS-basierte Erhebungsmethode (Primärverfahren)...	36
5.4.	LOS 2: Erhebungs-App – Beacon-basierte Aktivierungsmethode (Sekundärverfahren).....	47
5.5.	LOS 3: Beacon-Hardware und Beacon-Management-System.....	59

# 1. Hintergrund und Ausgangslage

## 1.1. Hintergrund des Vorhabens

Mit der Einführung des Deutschlandtickets wurde im Jahr 2023 erstmals ein bundesweit gültiges und tarifübergreifendes Ticket für den öffentlichen Personennahverkehr geschaffen. Die bundesweite Gültigkeit des Tickets führt zu neuen Anforderungen an die Verteilung der daraus resultierenden Fahrgeldeinnahmen zwischen Verkehrsunternehmen, Verkehrsverbünden und Tariforganisationen.

Zur Lösung dieser Herausforderung wurde durch Bund und Länder ein mehrstufiges Verfahren zur Einnahmeverteilung beschlossen. In der ersten Stufe wurde eine pragmatische Übergangslösung umgesetzt, bei der die Einnahmen im Wesentlichen bei den verkaufenden Organisationen verblieben. In der zweiten Stufe erfolgt die Verteilung der Einnahmen im Wesentlichen nach dem Wohnort der Nutzerinnen und Nutzer auf Grundlage der Postleitzahl. Dieses Verfahren wird schrittweise umgesetzt und soll eine stärkere Orientierung an der tatsächlichen Nachfrage ermöglichen.

Anschließend ist eine dritte Stufe vorgesehen, in der die Einnahmen auf Grundlage der tatsächlichen Nutzung des öffentlichen Verkehrs verteilt werden sollen. Ziel dieser nutzungsbasierten Einnahmeverteilung ist es, die Erlöse möglichst genau dort zuzuordnen, wo die Verkehrsleistungen tatsächlich in Anspruch genommen werden.

Die Umsetzung einer solchen nutzungsbasierten Einnahmeverteilung erfordert neue technische, organisatorische und rechtliche Voraussetzungen. Insbesondere müssen geeignete Verfahren zur Erhebung und Verarbeitung von Nutzungsdaten entwickelt und validiert werden. Vor diesem Hintergrund wurde beschlossen, Feldtests durchzuführen, um mögliche Technologien und Verfahren unter realen Bedingungen zu erproben.

Diese Feldtests dienen dazu, belastbare Erkenntnisse über geeignete Methoden der Nutzungsdatenerfassung sowie über organisatorische und datenschutzrechtliche Rahmenbedingungen zu gewinnen. Zielsetzung ist es, das effizienteste Datenerhebungsverfahren zu identifizieren und dessen Kosten für einen bundesweiten Rollout zu benennen.

## 1.2. Einordnung in das Gesamtprojekt und Rolle der Feldtests

Die Feldtests sind Teil eines übergeordneten Projekts zur Weiterentwicklung der Einnahmeverteilung im Deutschlandticket-System. Das Gesamtprojekt ist in mehrere Arbeitspakete gegliedert:

### **Arbeitspaket 1 – Projektmanagement und Begleitforschung (hier vorliegend)**

Übergreifende Koordination, wissenschaftliche Begleitung, Steuerung der Kommunikation und Auswertung der Feldtests.

### **Arbeitspaket 2 – Technische Erhebungsinfrastruktur**

Bereitstellung und Betrieb der technischen Systeme zur Datenerhebung (z. B. mobile Anwendungen, GPS-Tracking, Beacon-Technologie, Beacon Management).

### **Arbeitspaket 3 – Datenverarbeitung und Systemarchitektur**

Aufbau der organisatorischen und technischen Voraussetzungen zur Verarbeitung der erhobenen Nutzungsdaten.

#### **Arbeitspaket 4 – Rechtliche Begleitung**

Begleitung der Feldtests im Hinblick auf datenschutz- und gesellschaftsrechtliche Fragestellungen.

Gegenstand dieser Ausschreibung ist ausschließlich **Arbeitspaket 2**.

#### **1.3. Projektstruktur**

Die bundesweite "UUAG Nutzungsdatenerfassung", besetzt mit Vertretenden der Länder, Verkehrsverbünde, Verkehrsunternehmen sowie Branchenverbänden, ist für die strategische Ausrichtung dieses Projekts verantwortlich. Sie tagt in der Regel monatlich sowie bedarfsgerecht und fungiert gleichzeitig als Lenkungskreis für wesentliche Entscheidungen. Operativ wird sie von einem im zweiwöchigen Rhythmus tagenden Arbeitskreis "AK Feldtestregionen", bestehend aus Vertretenden der teilnehmenden Feldtestregionen, dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNV), D-Tix GmbH sowie dem Kompetenzzentrum Marketing NRW (KCM), mit der Aufgabe der Projektumsetzung begleitet. Im Rahmen der Projektorganisation übernimmt das KCM die Rolle der strategischen Umsetzung und fungiert im Rahmen der Ausschreibung als Auftraggeber.

## 2. Ziele der Feldtests

Die Feldtests dienen der Validierung einer technisch, organisatorisch und datenschutzrechtlich tragfähigen Methodik zur Erhebung und Auswertung von Nutzungsdaten im öffentlichen Personennahverkehr inklusive einer zentralen Ticketdatenbank zur Unterstützung der prozessualen Abwicklung der Ansprache von Deutschlandticketnutzenden.

Dabei sollen unterschiedliche Ansätze zur Datenerhebung sowie deren Auswirkungen auf Datenqualität, Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit untersucht werden.

Die in diesem Kapitel beschriebenen Ziele gelten verbindlich für alle Testregionen. Die regionalen Kapitel (Kap. 4) formulieren zusätzlich erwartete Ergebnisse, die sich aus den spezifischen Verkehrsstrukturen, technischen Rahmenbedingungen und Testdesigns der jeweiligen Region ergeben. Diese regionalen Ergänzungen ersetzen die übergeordneten Ziele nicht, sondern präzisieren deren Anwendung im jeweiligen regionalen Kontext.

### 2.1. Technologievergleich

Im technischen Bereich verfolgen die Feldtests insbesondere folgende Ziele.

#### **Bewertung der Technologien GPS-Tracking ohne (GPS-only) und mit Beacon-Technologie**

Ziel der Feldtests ist die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Technologien innerhalb der jeweiligen Feldtestregionen. Hierbei wird die Stabilität und Qualität der technischen Prozesse geprüft, insbesondere im Hinblick auf Datenerfassung, Datenübertragung, Datenverarbeitung und Datenauswertung. Darüber hinaus erfolgt eine Bewertung der Datenqualität innerhalb der jeweiligen regionalen Systemumgebungen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung der Interoperabilität der Verfahren über mehrere Regionen hinweg sowie auf der Prüfung der Zusammenarbeit und technischen Integration zwischen mehreren beteiligten Organisationen. Insgesamt wird ein organisationsübergreifend funktionsfähiges System zur Nutzungsdatenerfassung erprobt, um eine konsistente Datenerhebung und Datenverarbeitung unabhängig von regionalen Systemgrenzen sicherzustellen.

Im Rahmen des Anbietervergleichs werden Profitester als neutrale und kontrollierte Vergleichsgruppe eingesetzt. Da die Stichprobennutzenden je Region nur *ein* Erhebungssystem nutzen, übernehmen die Profitester den vollständigen Vergleich der weiteren Anbieter. Sie fahren identische Teststrecken mit unterschiedlichen Applikationen und technischen Setups. Dadurch können Leistungsunterschiede klar identifiziert und bewertet werden. Die durch die Profitester erzeugten Vergleichsdatensätze bilden die objektive Grundlage für die Bewertung der Anbieterleistungen.

#### **Bewertung der Ergebnisgüte von GPS-Tracking ohne und mit Beacon-Technologie**

Ein weiterer Schwerpunkt der Feldtests ist die Bewertung der Qualität der erhobenen Nutzungsdaten. Dabei werden insbesondere die Genauigkeit der Fahrterkennung, die Zuverlässigkeit der Verkehrsmittelzuordnung, die Auswirkungen von Netzabdeckung und Endgerätevariationen sowie die Robustheit gegenüber Manipulationsversuchen untersucht. Ergänzend erfolgt eine Plausibilisierung der Ergebnisse anhand externer Datenquellen. Hierbei kann je nach Verfügbarkeit auf Fahrgastzählraten und bestehende Erhebungen und

Hochrechnungen zurückgegriffen werden. Eine nähere Spezifizierung und Aktualisierung wird nach Auftragsvergabe und Projektstart vorgelegt.

Zudem wird ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Datenerhebungsansätzen durchgeführt. Hierzu zählen insbesondere GPS-basierte Verfahren ohne zusätzliche Infrastruktur sowie GPS-basierte Verfahren in Kombination mit Beacon-Technologie.

## 2.2. Anbietervergleich

Im Rahmen der Feldtests erfolgt der Test von mindestens zwei Anbietern zur Nutzungsdatenerfassung. Dabei werden die unterschiedlichen technischen Ansätze und Systemlösungen im praktischen Betrieb miteinander verglichen. Die Bewertung der Ergebnisqualität erfolgt anhand definierter Qualitätskriterien, zum Beispiel hinsichtlich Genauigkeit, Stabilität und Datenqualität. Auf dieser Basis werden Unterschiede sowie Stärken und Schwächen der Anbieter analysiert und Erkenntnisse zur Eignung der jeweiligen Lösungen für einen möglichen Regelbetrieb abgeleitet.

Zur Durchführung des Anbietervergleichs werden Profitester als kontrollierte Vergleichsgruppe eingesetzt. Sie testen systematisch alle Anbieter, die in der jeweiligen Region nicht Teil der Stichprobe sind. Dabei befahren sie identische Testfälle unter gleichen Rahmenbedingungen mit unterschiedlichen Anwendungen. Auf diese Weise erzeugen sie belastbare Vergleichsdaten zur Bewertung der technischen Stabilität, der Datenqualität und der Fahrterkennung verschiedener Anbieter. Dies ermöglicht einen objektiven und reproduzierbaren Leistungsvergleich zwischen allen beteiligten Erhebungssystemen.

## 2.3. Repräsentativität und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Ein wesentliches Ziel dieses Projekts ist die Identifizierung und Validierung der Auswirkungen der Merkmale, die für eine repräsentative Hochrechnung im Rahmen der Einnahmenaufteilung erforderlich sind. Am Ende des Feldtests soll eine Stichprobe der Teilnehmenden vorliegen, die für alle Deutschlandticketnutzenden repräsentativ ist, wobei die Erreichung der Repräsentativität iterativ über den Testverlauf erfolgt.

Die Profitester leisten keinen Beitrag zur statistischen Repräsentativität, sondern dienen ausschließlich als qualitatives Validierungsinstrument. Sie erzeugen Vergleichsdatensätze zur Einordnung der Stichproben-, PLZ- und ID-Ergebnisse, testen jene Technologien, die durch die Stichprobe regional nicht genutzt werden können und unterstützen die Ableitung sowie Klassifikation von Fehlerklassen. Darüber hinaus ermöglichen sie die Übertragbarkeit und interpretative Bewertung der erhobenen Nutzungsdaten.

## 2.4. Datenverarbeitung und Organisation

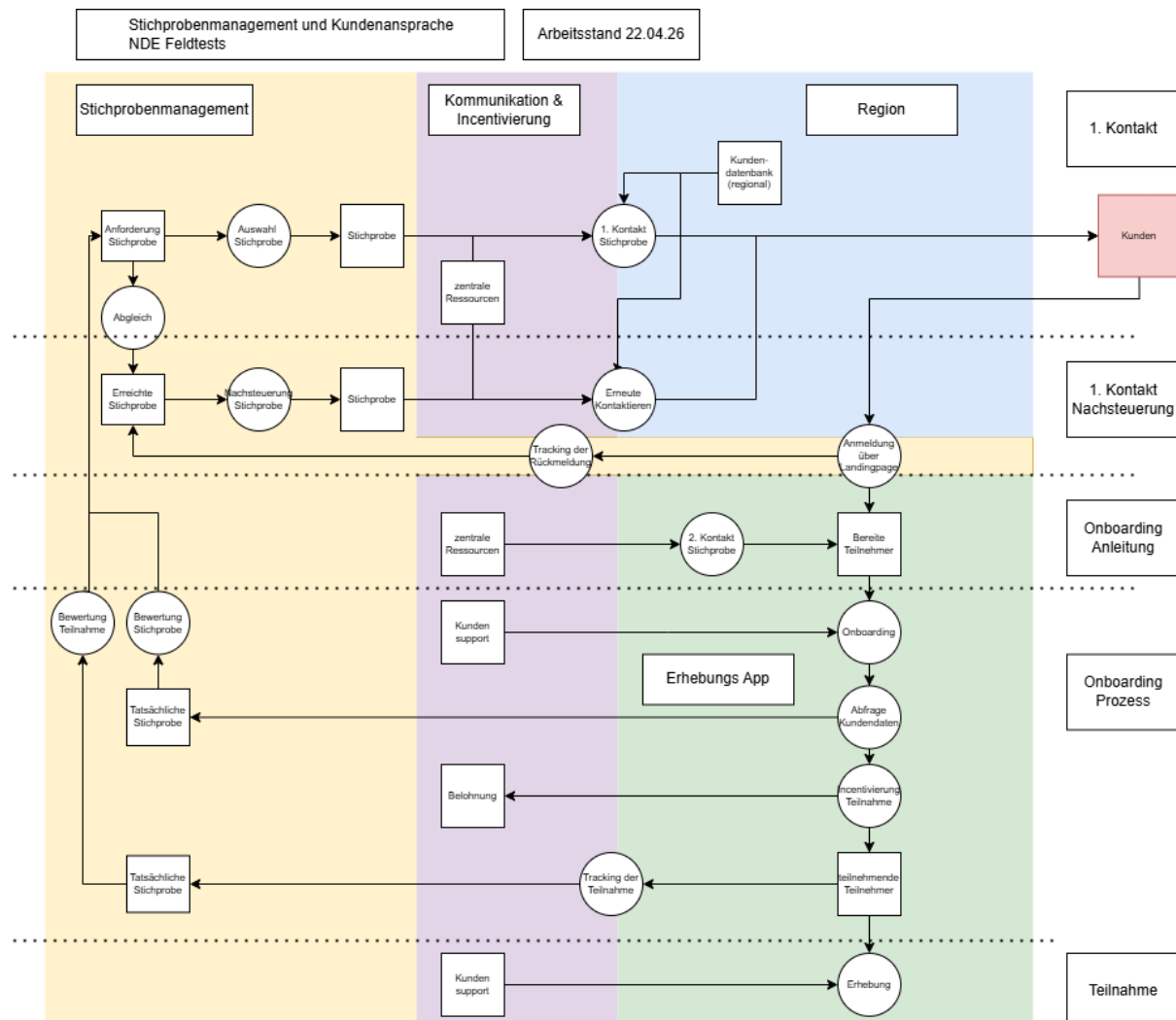
Im Rahmen der Feldtests werden organisatorische und prozessuale Anforderungen an die Datenverarbeitung untersucht. Hierzu gehören die Definition von Rollenmodellen und Zuständigkeiten sowie die Entwicklung eines Berechtigungskonzepts für den Zugriff auf Nutzungsdaten. Darüber hinaus werden Betriebsprozesse zur Datenerhebung standardisiert und Verantwortlichkeiten für die Sicherstellung der Datenqualität festgelegt. Ein weiterer Bestandteil ist der Aufbau durchgängiger Prozessketten für das Fehlerhandling und den Umgang mit Systemstörungen.

Die gewonnenen Ergebnisse sollen als Grundlage für ein zukünftiges, bundesweites Betriebsmodell dienen.

## 2.5. Kundenakzeptanz

Im Rahmen der Feldtests wird die Kundenakzeptanz der Nutzungsdatenerfassung untersucht. Dabei werden Reibungsverluste entlang der Datenfreigabe (fehlende Kundendaten u.a. aufgrund falscher AGBs oder mangelnder Kooperationsbereitschaft beteiligter Partner) identifiziert, die Teilnahmequoten erfasst und die Rückmeldungen auf unterschiedliche Formen der Kundenansprache gemessen.

Darüber hinaus erfolgt eine Kosten-Nutzen-Abschätzung von Incentivierungsmaßnahmen, beispielsweise im Rahmen einer breiten Kundenansprache oder durch Gewinnspiele.



## 2.6. Datenschutz und Datensicherheit

Ein zentraler Bestandteil der Feldtests ist die Bewertung datenschutzrechtlicher Fragestellungen. Dabei werden die Umsetzung der Grundsätze der Datensparsamkeit, die einschlägigen Rechtsgrundlagen nach der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) sowie der Nachweis von „Privacy by Design“ und „Privacy by Default“ geprüft. Zudem werden belastbare Pseudonymisierungs- und Anonymisierungskonzepte entwickelt.

Ergänzend werden Maßnahmen zur Gewährleistung der Datensicherheit betrachtet. Dies umfasst insbesondere die Verschlüsselung der Daten während der Übertragung und

Speicherung, die Harmonisierung von Zugriffskontrollen und Rollenmodellen, die Nachvollziehbarkeit von Sicherheitsvorfällen sowie die Sicherstellung der Datenintegrität über Systemgrenzen hinweg.

## 2.7. Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit

Neben der technischen Machbarkeit wird die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Ansätze bewertet. Dabei werden die Kosten der technischen Infrastruktur, der Aufwand für Installation und Betrieb, sowie die Skalierbarkeit der Systeme auf bundesweiter Ebene betrachtet. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Verhältnis von Kosten zur erreichbaren Datenqualität sowie auf dem Verhältnis von Kosten zur erreichten Aufteilungsebene.

Auf Basis dieser Ergebnisse soll eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die geplante bundesweite Einführung eines nutzungsbasierten Einnahmearaufteilungssystems geschaffen werden.

### 3. Feldtestregionen

Wir unterscheiden die Haupttestregionen

- Hamburger Verkehrsverbund (HVV) in Kombination mit dem Niedersachsentarif (NITAG)
- Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MDV)

sowie die ergänzenden Regionalbereiche, in denen Spezialfälle getestet werden:

- Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)
- Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR)
- Verkehrsverbund Warnow (VWW), stellvertretend und zusammen mit den Verkehrsunternehmen im verbundfreien Raum von Mecklenburg-Vorpommern.

Aufgrund der Testszenarien und regionalen Gegebenheiten unterscheiden sich die Regionen in ihrem Ausstattungsgrad mit Beacon-Technologie.

In der Hauptregion MDV erfolgt eine Volllausstattung mit Beacon-Technologie.

Neben den übergreifenden und für alle Regionen geltenden Zielen wird in der Hauptregion HVV grundsätzlich die GPS-Tracking Methode ohne Beacons („GPS-only“) eingesetzt. Zusätzlich erfolgt im HVV, RMV, VRR und VWW die gezielte und iterative Hinzunahme von Beacon-Technologie zur Untersuchung von Spezialfällen und Verbesserung der Ergebnisgüte.

In allen Regionen werden folglich untenstehender Abbildung sowohl GPS-only-basierte als auch Beacon-basierte Verfahren getestet, jedoch mit unterschiedlicher Zuordnung der Testgruppen: Während im MDV die Profitester die GPS-Erhebung übernehmen und die Stichprobentester die Beacon-Erhebung durchführen, ist es in der HVV-Region sowie den ergänzenden Verbünden genau umgekehrt. Damit ist sichergestellt, dass beide Technologien überall erprobt werden und sowohl intensive Profitests als auch breit gestreute Stichprobentests für jede Erhebungsart vorliegen.

Hauptregion	MDV	HVV	
Ergänzende Regionen		RMV, VWW, VVR	
Los 1 – GPS-basierte Erhebungs-App	Anbietervergleich und Fokustests durch Profitester	Grunderhebung durch Feldtestteilnehmende	Auf GPS-Technologie beruhende Erhebungsanwendung mit punktueller Anbindung von Beacons zur Erhöhung der Genauigkeit
Los 2 – Beacon-gestützte Erhebungs-App	Grunderhebung durch Feldtestteilnehmende	Anbietervergleich und Fokustests durch Profitester	Auf Beacon beruhende Erhebungsanwendung
Los 3 – Beacon-Hardware	Beacon Volllausstattung aus Rahmenvertrag	Beacon Teillausstattung aus Rahmenvertrag	Alle Regionen werden zentral mit den entsprechenden Anzahl Beacons versorgt.
Los 4 – Beacon-Management System	Zentrales Beacon Management	Zentrales Beacon Management	Beacon Management wird zentral, regionsübergreifend organisiert.



### 3.1. Haupttestregionen

Die zentralen Feldtests sollen in folgenden Regionen stattfinden:

- Hamburger Verkehrsverbund (HVV) in Kombination mit dem Niedersachsentarif (NITAG), nachfolgend gemeinsam als „HVV“ bezeichnet.
- Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MDV)

Diese Regionen wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Verkehrsstrukturen sowie ihrer organisatorischen Voraussetzungen für die Durchführung der Feldtests ausgewählt.

#### 3.1.1. Beschreibung Hamburger Verkehrsverbund (HVV) in Kombination mit dem Niedersachsentarif (NITAG)

Der Hamburger Verkehrsverbund (HVV) gehört zu den größten Verkehrsverbünden Deutschlands und umfasst große Teile der Metropolregion Hamburg. Das Netz zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt an Verkehrsmitteln aus:

- U-Bahn
- S-Bahn
- Regionalverkehr
- Busverkehr
- Fähren im Hafenbereich

Der HVV arbeitet im Rahmen des Feldtests mit der Niedersachsentarif GmbH (NITAG) zusammen, wodurch auch verbund- und bundeslandübergreifende Verkehrsverbindungen im SPNV in den Feldtest einbezogen werden.

Im HVV soll die GPS-only Technologie verbundweit in allen Verkehrsmitteln verprobt werden. Im ein- und ausbrechenden Verkehr von/nach Niedersachsen soll das GPS-only Tracking flächendeckend stattfinden und ein besonderer Fokus auf die SPNV-Linien gelegt werden:

- RE 5 (Hamburg Hbf – Cuxhaven)
- RB 33 (Buxtehude – Bremerhaven Hbf - Cuxhaven)
- RE 4/RB 41 (Hamburg Hbf – Bremen Hbf)
- RB 38 (Hamburg Harburg/Buchholz i.d.N. – Hannover Hbf)
- RE 3/RB 31 (Hamburg Hbf – Hannover Hbf)
- RB 32 (Lüneburg – Dannenberg Ost)

Die SPNV-Linien wurden aufgrund der Lage sowohl im hvv als auch im Niedersachsentarif und auch vor dem Hintergrund, dass für diese Strecken zur Validierung der gewonnenen Ergebnisse aus dem GPS-Tracking nahezu vollständig manuell oder automatisch erfasste Zählzeiten vorliegen, gewählt. Zu den Zielen des GPS-Tracking zählen insb. Erkenntnisse über die Ergebnisgenauigkeit, Genauigkeit bei Wegekettens mit Umstieg, Überprüfung des Aufwands und der Qualität des Fahrplandaten-Matchings im Hintergrundsystem, Auswirkungen fehlender Netzabdeckung auf die Güte der Daten.

Zusätzlich befahren im HVV Profitester definierte Schlüsselstrecken, insbesondere Tunnelbereiche, komplexe Knotenpunkte, Parallelverkehre und GPS-kritische Abschnitte. Sie

testen gezielt jene Technologien, die der Stichprobe in dieser Region nicht zur Verfügung stehen, um einen vollständigen Vergleich von GPS-only und beaconunterstützter Erhebung zu ermöglichen.

Diese Schlüsselstrecken werden im Projekt gemeinsam definiert.

### **Testziel der Region**

Das Ziel des HVV-Piloten ist die systematische Erprobung des Gesamtsystems der smartphonebasierten GPS-only Methode zur Abbildung wesentlicher Verkehrs-, Betriebs- und Organisationsstrukturen sowie Gewinnung übertragbarer Erkenntnisse zu Datenqualität, Aufwand, Skalierbarkeit und Nutzerakzeptanz sowie aufgrund der Konstellation mit NITAG, wie sich die Datenqualität bei verbund- und bundeslandübergreifenden Fahrten mit unterschiedlichen Fahrplandaten und deren jeweiligen Hintergrundsystemen verhält.

Zusätzlich erfolgt die Erprobung von Beacon-Technologie durch Profitester in komplexen Betriebsumgebungen, in denen klassische GPS-Ortung möglicherweise an ihre Grenzen stößt.

Die Untersuchung konzentriert sich auf:

- Verbesserung der Positionsbestimmung in GPS-schwachen Umgebungen
- Einsatz auf verbund- und bundeslandübergreifenden Linien
- Vergleich von GPS-only vs. GPS + Beacon
- Überprüfung der Auswirkungen von verbund- und länderübergreifenden Verkehren

### **Technische Ausstattung der Region**

Im HVV werden ausgewählte Linien und damit verbundene Fahrzeuge mit Beacon-Technologie ausgestattet.

Die Auswahl erfolgt anhand folgender Kriterien:

- Streckenabschnitte mit bekannter GPS-Ungenauigkeit
- komplexe Verkehrsknoten bzw. Parallelverkehre
- verbundübergreifende Linien
- länderübergreifende Verbindungen

Dieses Szenario ermöglicht die Untersuchung der Effizienz eines teilweisen Infrastrukturaufbaus.

Der Fuhrpark im HVV und bei der NITAG umfasst die nachfolgend aufgeführten Fahrzeuge. Im Rahmen des Feldtests wird jedoch lediglich ein Teil ausgewählter Linien mit Beacon-Technologie ausgestattet.

<b>Region</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Anzahl Fz</b>
<b>HVV</b>	Bus	2.830

<b>HVV</b>	Fähre	26
<b>HVV</b>	U-Bahn	289
<b>HVV</b>	Zug	999
<b>NITAG</b>	Zug	240

### Testbereich

Besondere Aufmerksamkeit gilt Bereichen, in denen GPS-basierte Verfahren typischerweise ungenau sind.

<b>Testbereich</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>GPS-Vergleich</b>	Vergleich GPS-only vs. Beacon-Unterstützung
<b>Tunnelbetrieb</b>	Ortung ohne GPS, Ortung mit gestörtem GPS
<b>Knotenpunkte</b>	Positionsstabilität an großen Haltestellen
<b>Verbund- und Landesgrenzen</b>	Kontinuität der Positionsdaten
<b>Nutzererfahrung</b>	Genauigkeit von Fahrgastinformationen

### Erwartete Erkenntnisse

Der Feldtest im HVV soll insbesondere Erkenntnisse zu folgenden Fragen liefern:

- Welche Ergebnishüte, welchen operativen Aufwand und welche laufenden Kosten verursacht ein reines GPS-only System?
- Wie groß ist der Mehrwert von Beacon-Technologie gegenüber reinem GPS-Tracking?
- Welche Mindestdichte an Beacons ist erforderlich?
- In welchen Situationen ist der Einsatz von Beacons besonders sinnvoll?
- Wie wirken sich Teil-Ausstattungen auf die Datenqualität aus?
- Welche Auswirkungen haben länder- bzw. verbundübergreifende Verkehre auf die Datenqualität?

Darüber hinaus können Erkenntnisse über die Nutzung von Verkehrsmitteln über Verbundgrenzen hinweg gewonnen werden.

Die verschiedenen im HVV vorhandenen Vertriebskanäle und Möglichkeiten das Deutschlandticket zu erwerben, stellen Erkenntnisse in Aussicht über die verschiedenen Möglichkeiten und Restriktionen der Kundenansprache.

#### 3.1.2. Beschreibung Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MDV)

Der Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MDV) umfasst große Teile der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Das Verbundgebiet ist geprägt durch eine Kombination aus:

- dichtem urbanem Verkehr (insbesondere im Raum Leipzig und Halle),

- regionalen Verkehrsverbindungen,
- S-Bahn-Verkehren,
- regionalen Busnetzen im ländlichen Raum.

Die Region eignet sich daher besonders für einen Feldtest, der eine breite Vielfalt von Verkehrsträgern und Verkehrsstrukturen abbildet.

Im MDV testen die Profitester die Funktionsfähigkeit und Qualität des GPS-basierten Tracking mit vollständiger Beacon-Infrastruktur. Zusätzlich vergleichen sie GPS-only-Verfahren, die von der regionalen Stichprobe nicht genutzt werden, um den Mehrwert der Vollausrüstung belastbar beurteilen zu können.

### **Testziel der Region**

Das Ziel des MDV-Piloten ist die systematische Erprobung des Gesamtsystems zur Abbildung wesentlicher Verkehrs-, Betriebs- und Organisationsstrukturen sowie Gewinnung übertragbarer Erkenntnisse zu Datenqualität, Aufwand, Skalierbarkeit und Nutzerakzeptanz.

Ziel des Feldtests im MDV ist die Simulation des GPS-basierten Trackings unter Zuhilfenahme einer vollständigen, technischen Ausstattung eines gesamten Verkehrsverbundes mit Beacon-Technologie.

Der Test soll insbesondere Erkenntnisse darüber liefern,

- wie sich die vollständige Ausstattung eines gesamten Verkehrsnetzes technisch und organisatorisch umsetzen lässt,
- welche betrieblichen Prozesse beim großflächigen Rollout entstehen,
- welche Effekte eine vollständige Infrastrukturabdeckung auf die Qualität der Nutzungsdatenerfassung hat.

### **Technische Ausstattung der Region**

Im MDV erfolgt eine Vollausrüstung mit Beacon-Technologie.

Besonders zu beachten ist:

- Es sind bereits ca. 250 Busse und 270 Bahnen mit rund 1.000 Beacons ausgestattet. Diese bestehende Infrastruktur ist in den Feldtest zu integrieren.

Dies umfasst:

- Ausstattung sämtlicher Fahrzeuge im Testgebiet mit Beacons
- Ausstattung aller Linien im Verbundgebiet
- Integration der Infrastruktur in das technische Gesamtsystem des Feldtests

Damit stellt der MDV das Szenario einer maximalen Infrastrukturabdeckung dar.

Die Region bildet damit den Referenzfall für die Bewertung der Datenqualität bei vollständiger technischer Ausstattung.

Kategorie	Anzahl Fahrzeuge
-----------	------------------

<b>Bus</b>	1.126
<b>Züge</b>	1.037
<b>Tram</b>	423

### Prozessuale Fragestellungen

Neben technischen Fragestellungen werden im MDV insbesondere prozessuale Aspekte eines großflächigen Rollouts untersucht.

Hierzu gehören unter anderem:

- Planung und Organisation der Fahrzeugausrüstung
- Logistische Prozesse bei Installation und Wartung der Beacons
- Integration der Technologie in bestehende Betriebsabläufe
- Schulung von Fahrpersonal, Werkstattpersonal und Betriebsleitstellen
- Monitoring und Betrieb der Infrastruktur
- Anforderungen und Erfüllungsgrad dieser an ein Beacon Management System
- Fehlerbehandlung und Wartungsprozesse

Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, welche organisatorischen Anforderungen mit einer flächendeckenden Einführung verbunden wären.

### Testbereich

<b>Testbereich</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Rollout-Prozesse</b>	Installation der Hardware in großer Stückzahl
<b>Logistik</b>	Lagerung, Verteilung und Installation der Beacons
<b>Schulung</b>	Schulung von Werkstattpersonal und Betriebspersonal
<b>Betrieb</b>	Stabilität im täglichen Linienbetrieb
<b>Datenqualität</b>	Verbesserung der Positionsbestimmung gegenüber reinem GPS
<b>Skalierung</b>	Erkenntnisse für nationale oder verbundweite Rollouts

### Erwartete Ergebnisse

Durch die Vollausrüstung im MDV sollen insbesondere folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Erreichbare Datenqualität bei vollständiger Infrastrukturabdeckung
- Genauigkeit der Verkehrsmittelzuordnung
- Zuverlässigkeit der Fahrterkennung
- Aufwand für Installation und Betrieb

- Skalierbarkeit eines solchen Ansatzes

Darüber hinaus kann die Region als Referenz für Vergleiche mit anderen Testdesigns dienen, insbesondere mit Szenarien, in denen nur Teilbereiche eines Verkehrsnetzes ausgestattet werden.

Über den stichprobenbasierten Test mit der Beacon-basierten Technologie hinaus werden Profitester einen Vergleichstest mit GPS-basierter Technologie durchführen und insbesondere neuralgische Strecken und Knoten bewerten.

### 3.2. Ergänzende Regionalbereiche

Neben den beiden Haupttestregionen ist vorgesehen, zusätzliche Verkehrsverbünde in begrenztem Umfang in die Feldtests einzubeziehen. Ziel dieser ergänzenden Regionalbereiche ist es, spezifische, strukturelle oder technische Fragestellungen zu untersuchen, die in den Hauptregionen nicht oder nur eingeschränkt abgebildet werden können.

Die ergänzenden Regionen dienen daher insbesondere dazu, einzelne Aspekte der Nutzungsdatenerfassung unter abweichenden Rahmenbedingungen zu betrachten: Folgende Regionen nehmen am Feldtest als ergänzende Regionen teil:

- Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)
- Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR)
- Verkehrsverbund Warnow (VWV)

Diese Regionen ermöglichen die Betrachtung zusätzlicher Spezialfälle, beispielsweise hinsichtlich Verkehrsstruktur, Verbundorganisation oder technischer Infrastruktur. Die GPS-gestützte Erhebung wird in der gesamten Region verfügbar sein. An neuralgischen Punkten wird mittels Beacons nachgesteuert.

#### 3.2.1. Beschreibung Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)

Der Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) zählt zu den größten Verkehrsverbünden Deutschlands. Sein Gebiet erstreckt sich über große Teile Hessens mit einem Schwerpunkt in Südhessen und umfasst dabei sowohl urban geprägte Räume als auch suburbane und ländliche Regionen.

#### **Testziel der Region**

Im RMV wird ein partielles Ausstattungsmodell umgesetzt, bei dem ausgewählte Linien und Fahrzeuge mit Beacon-Technologie ausgestattet werden.

Ziel ist es insbesondere:

- die Nutzungsdatenerfassung entlang von Linien zu untersuchen, die urbane, suburbane und ländliche Räume verbinden,
- Fragestellungen zur Zuordnung von Fahrten bei wechselnden Fahrzeugeinsätzen auf unterschiedlichen Linien zu analysieren,

- sowie organisatorische, prozessuale und strukturelle Aspekte einer ID-basierten Datenarchitektur zu bewerten.

Die Profitester befahren Strecken mit möglichst komplexen Fahrzeug- und Linienwechseln und testen dabei sowohl Beacon--gestützte als auch GPS-only-Verfahren (keine SDK). Damit ergänzen sie die regionale Stichprobe und ermöglichen einen vollständigen technologieübergreifenden Vergleich.

### **Ausstattung des Feldtests**

Im RMV werden einzelne Linien (SPNV, BPNV) ausgewählt, deren Streckenverlauf unterschiedliche Siedlungsstrukturen abbildet, beispielsweise vom innerstädtischen Raum in suburban geprägte Bereiche bis in ländliche Regionen.

Kategorie	Ausstattung
<b>Linien</b>	ausgewählte Linien mit urban–ländlichem Streckenverlauf
<b>Fahrzeuge</b>	Teilflotte (Teilausstattung der Fahrzeuge)
<b>Infrastruktur</b>	Beacon-Technologie in ausgewählten Fahrzeugen
<b>Fokus</b>	Ballungsraumdynamik und Linienwechsel im Betrieb

### **Besonderer Fokus: Linienzuordnung von Fahrzeugen**

Im RMV werden Fahrzeuge im regulären Betrieb auf unterschiedlichen Linien eingesetzt oder Verkehrsunternehmen fahren für mehrere lokale Regionalverkehrsorganisationen.

Für eine nutzungsdatenbasierte Einnahmenaufteilung ist jedoch eine eindeutige Zuordnung von Fahrten zu Linien, Verkehrsleistungen und Unternehmen erforderlich. Der Feldtest untersucht daher, wie Trackingdaten mit Fahrplan- und Umlaufdaten kombiniert werden können, um diese Zuordnung zuverlässig sicherzustellen. Der RMV kann ggf. weitere Datentypen zur Verfügung stellen.

### **Konzeptioneller Test der ID-Datenbank**

Der RMV verfügt neben einigen externen Partner mit eigenen Kundendaten bereits über eine zentrale Kundendatenbank für seine Vertriebsprozesse. Die Region eignet sich daher als Testumgebung für organisatorische, strukturelle und konzeptionelle Aspekte einer ID-basierten Datenarchitektur.

Im Feldtest werden insbesondere strukturelle, prozessuale und vertragliche Fragestellungen betrachtet, etwa:

- Integration bestehender Kundendatenstrukturen,
- Abstimmung zwischen Verbund, Verkehrsunternehmen und Vertriebssystemen.

### **Erwartete Erkenntnisse**

Der Feldtest im RMV soll insbesondere Erkenntnisse liefern zu:

- Datenqualität entlang unterschiedlicher Siedlungsstrukturen,

- Zuordnung von Fahrten beim Einsatz von Fahrzeugen auf unterschiedlichen Linien,
- organisatorischen und strukturelle Voraussetzungen für eine ID-basierte Datenerhebung im Verbundkontext.

### 3.2.2. Beschreibung Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR)

Der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) gehört zu den größten und verkehrsreichsten Ballungsräumen Europas. Mit einer Vielzahl an Verkehrsmitteln, komplexen Linienverflechtungen und dicht frequentierten Betriebsräumen bildet der VRR ein besonders anspruchsvolles Testumfeld für die Nutzungsdatenerfassung. Im Rahmen des Feldtests übernimmt die BOGESTRA eine zentrale Rolle als regionaler Partner, wodurch sämtliche von ihr betriebenen Verkehrsmittel in die Untersuchung einbezogen werden. Aufgrund der Struktur des VRR eignet sich die Region besonders, um die Leistungsfähigkeit GPS-basierter Verfahren unter realen Hochlastbedingungen zu analysieren und punktuelle Optimierungen durch Stationsbeacons zu testen.

Die Profitester befahren ergänzend Strecken mit komplexen Fahrzeug- und Linienwechseln und testen dabei sowohl Beacon--gestützte als auch GPS-only-Verfahren. Damit ergänzen sie die regionale Stichprobe und ermöglichen einen vollständigen technologieübergreifenden Vergleich.

#### **Testziel der Region**

Die nachfolgenden Ziele gelten als Ergänzung zu den übergreifenden Zielen aus Kapitel 2.

Der VRR ist primär als GPS-only-Region konzipiert und dient der Bewertung der Funktionsfähigkeit in einem hochverdichteten urbanen Netz. Zusätzliche, regional erwartete Ergebnisse beziehen sich auf die Analyse komplexer Linienverflechtungen, dichter Taktfolgen sowie stationärer Beacon-Punkte in ausgewählten Knoten.

Profitester ergänzen die Stichprobe, indem sie technologie- und anbieterseitig vollständige Vergleichsfahrten durchführen. Sie testen insbesondere punktuell aktivierte Stationsbeacons sowie Anbieter-Setups, die der Stichprobe nicht zur Verfügung stehen.

Der Feldtest im VRR verfolgt drei miteinander verzahnte Ziele:

- Bewertung der Funktionsfähigkeit und Grenzen reiner GPS-Trackingverfahren im Umfeld eines großstädtisch verdichteten Verkehrsnetzes.
- Analyse der Effekte punktuell eingesetzter Stationsbeacons, insbesondere in stark frequentierten Knotenpunkten und komplexen Umsteigesituationen.
- Untersuchung der Datenqualität über alle von der BOGESTRA betriebenen Verkehrsmittel hinweg dient der Bewertung der Robustheit im Linien- und Parallelverkehr (Bus, Straßenbahn, Stadtbahn).

#### **Technische Ausstattung der Region**

Der VRR wird primär als GPS-only-Region betrieben. Eine vollflächige Beacon-Infrastruktur ist nicht geplant. Zur gezielten Untersuchung von Optimierungsoptionen ist jedoch eine sehr begrenzte, punktuelle Ausstattung mit bestehenden Stationsbeacons oder alternativ neu zu beschaffenden Beacons möglich, beispielsweise an:



- großen Knotenpunkten,
- Umsteigebahnhöfen,
- komplexen Stadtbahnstationen,
- Bereichen mit eingeschränkter GPS-Verfügbarkeit (unterirdische Abschnitte).

Die Region dient damit als Referenz für Minimal-Infrastruktur-Ansätze.

### Testbereiche

Im VRR stehen besonders jene Situationen im Fokus, in denen GPS-basierte Systeme typischerweise an ihre Grenzen stoßen: hohe Verkehrsdichte, überlagerte Linien, Tunnelabschnitte sowie parallele Fahrzeugeinsätze auf gleichen oder benachbarten Strecken. Ergänzend erfolgt die gezielte Prüfung von Stationsbeacons, um die Verbesserungspotenziale minimaler Infrastrukturmaßnahmen zu evaluieren.

Testbereich	Beschreibung
<b>Hochverdichtetes Netz</b>	Prüfung der GPS-Genauigkeit in dicht befahrenen Stadträumen und parallelen Linienführungen
<b>Komplexe Knotenpunkte</b>	Analyse der Positionsstabilität an großen Haltestellen und Umsteigepunkten
<b>Stationsbeacons</b>	Test punktueller Beacons zur Verbesserung der Fahrterkennung und Verkehrsmittelzuordnung
<b>Fahrzeugvielfalt</b>	Untersuchung der GPS-Datenqualität über Bus, Straßenbahn und Stadtbahn hinweg
<b>GPS-Schwachstellen</b>	Bewertung der Stabilität in Bereichen mit eingeschränkter Netzabdeckung (z. B. Tunnel)

### Erwartete Erkenntnisse

Der VRR soll insbesondere Erkenntnisse darüber liefern,

- wie zuverlässig GPS-only-Verfahren im hochverdichteten urbanen Raum funktionieren,
- welchen Mehrwert einzelne Stationsbeacons gegenüber reinem GPS bieten,
- in welchen betrieblichen Situationen Minimalinfrastruktur ausreicht oder an Grenzen stößt,
- welche Herausforderungen durch parallel verlaufende Linien, Umlaufwechsel und dichte Taktfolgen entstehen,
- wie sich die Verkehrsmittelvielfalt eines Großstadtverbundes auf die Qualität der Datenerhebung auswirkt.

### 3.2.3. Beschreibung Verkehrsverbund Warnow (VFW) mit Kooperationsunternehmen

Der Verkehrsverbund Warnow (VFW) koordiniert – als einziger Verkehrsverbund in Mecklenburg-Vorpommern (M-V) – den ÖPNV in der Hanse- und Universitätsstadt Rostock sowie im umliegenden Landkreis Rostock. Mit der Einführung des Deutschlandtickets (D-Ticket) findet die Nutzung jedoch zunehmend über die Verbund- und Bundeslandgrenzen hinaus statt. In den weiteren Landkreisen bzw. kreisfreien Stadt des Bundeslandes um den VFW herum sind überregionale Eisenbahnverkehrsunternehmen sowie regionale Verkehrsunternehmen im verbundfreien Raum tätig.

Das VFW-Gebiet und die umliegenden Regionen kombinieren städtische und ländliche Teilräume, beziehen touristische und überregionale Verkehrsmuster ein und umfassen ein Netz aus verschiedenen Verkehrsträgern wie Stadt- und Regionalbusse, Regional- und S-Bahnen, Straßenbahnen, Fähren und historische Schmalspurbahnen. Diese besondere Struktur macht den VFW mit den überregionalen und lokalen Verkehrsunternehmen im Land M-V zu einem idealen Testfeld für Regionen, die unterschiedliche organisatorische und technische Infrastrukturen, heterogene Verkehrsangebote sowie saisonale Nutzungsschwankungen aufweisen.

Die Profitester befahren insbesondere touristische Achsen, ergänzend Fährverbindungen sowie ländlich-urbane Übergänge. Sie testen dabei die Technologien, die von den Stichprobennutzenden in der Teilregion vor Ort nicht genutzt werden können, wobei grundsätzlich eine Kombination aus GPS- und Beacon-Technologie angestrebt wird.

#### Testziel der Region

Der Feldtest des VFW mit den umliegenden Verkehrsunternehmen im verbundfreien Raum soll insbesondere:

- die **grundsätzliche Funktionsfähigkeit GPS- und Beacon-basierter Datenerhebung** unter einfachen infrastrukturellen Bedingungen prüfen,
- die **Auswirkungen touristischer Verkehre und saisonaler Nutzungsmuster** analysieren,
- die **Übertragbarkeit der Ergebnisse auf kleine bis mittlere Regionen** bewerten,
- mögliche Bedarfspunkte für **spezifisch eingesetzte Beacons** identifizieren – z. B. auf verbundübergreifenden und vor allem touristischen Verbindungen sowie in Hotspots oder auf Fährverbindungen.

#### Technische Ausstattung der Region

Das VFW- und verbundübergreifende Gebiet wird als Kombination spezifisch eingesetzter Beacon- und GPS-Technologie betrieben. Sofern möglich wird auf vorhandene Beacon-Technologien einzelner Verkehrsunternehmen vor Ort zurückgegriffen. Eine systematische Beacon-Ausstattung im gesamten Bundesland Mecklenburg-Vorpommern ist nicht vorhanden – und wird im Rahmen des Projektes nicht angestrebt. Die Testregion behält sich jedoch vor, gezielte Beacon-Einsatzfelder vor Ort zu testen, sofern dies zur Validierung spezifischer Situationen (z. B. stark nachgefragte touristische Verbindungen, saisonale Nachfrageentwicklungen, Fähr- und weitere touristische Verkehre) erforderlich ist.

Die in der Region betriebenen Verkehrsmittel werden voraussichtlich berücksichtigt:

- Stadt- und Regionalbusverkehre
- Regional- und S-Bahnabschnitte
- Straßenbahnen in Rostock und Schwerin
- Fähren und Wasserwege
- Historische Schmalspurbahnen

## Testbereiche

### Kurzbeschreibung der Testbereiche:

In der Testregion stehen besonders strukturell und saisonal bedingte Herausforderungen im Mittelpunkt. Die Region bietet die Möglichkeit, verkehrsträgerübergreifende Nutzungen in verbundübergreifenden und -freien Räumen, touristische und saisonale Nachfrageentwicklungen, ländlich-urbane Übergänge sowie Wasserwege im Rahmen eines kombinierten Beacon- und GPS-basierten-Ansatzes zu analysieren.

Testbereich	Beschreibung
Touristischer Verkehr	Analyse der Datenqualität bei saisonalen Entwicklungen und stark schwankender Nachfrage
Fähren & Wasserwege	Prüfung der Zuverlässigkeit Datenerhebungen auf touristischen Verbindungen wie Wasserstrecken und an Anlegern
Ländlich-urbane Übergänge	Bewertung der Fahrterkennung in dünn besiedelten Gebieten und kleinteiligen Haltestrukturen
Geringe technische Infrastruktur	Untersuchung der Funktionsfähigkeit bei geringer technischer Unterstützung
Verbundübergreifende und -freie Räume	Test der Datenerhebung in verbundübergreifenden Bereichen sowie in verbundfreien Räumen ohne einheitliche Verbundstrukturen
Saisonale Unterschiede Großveranstaltung	Ein Testbereich es die Unterschiede der Datenqualität bei saisonalen Spitzen zu untersuchen.

## Erwartete Erkenntnisse

Die Testregion soll insbesondere Erkenntnisse liefern über:

- die Leistungsfähigkeit von Beacon- und GPS-basierter Methoden in Regionen mit aktuell geringer technischer Infrastruktur,
- die Herausforderungen verkehrsträgerübergreifender und touristischer Verkehrsmuster sowie saisonaler Nutzungsspitzen,

- den Bedarf gezielter Infrastrukturmaßnahmen (z. B. Beacons auf touristischen Linien und in Hotspots sowie spezifischer Infrastruktur),
- die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf kleine, einfache oder verbundfreie Räume in Deutschland.

#### 4. Ablauf der Feldtests

	MDV	HVV	RMV	VRR	VVV
<b>Datenqualität / Ergebnisgüte</b>					
Beacon Vollausstattung	X				
Beacon Teilausstattung		X	X	X	X
<b>Technologievergleich</b>					
Beacon vs GPS-Technologie	X	X	X	X	X
<b>Wirtschaftlichkeit</b>					
<b>Skalierbarkeit / Rollout-Eignung</b>					
Ländliche Räume	X	X	X		X
Städtische Räume	X	X	X	X	X
<b>Robustheit / Stabilität</b>					
Tunnel, Knotenpunkte		X		X	
Hohe Verkehrsdichte		X		X	
Touristische Verkehre/Fremdenverkehr					X
<b>Prozessuale Machbarkeit / Betrieb</b>					
Fahrzeugwechsel			X		
Beacon Rollout Prozess	X				
Erhebung Anwendung Rollout	X	X	X	X	X
Einführung & Pflege Beacon Management	X				
<b>Governance / Organisation</b>	X	X	X	X	X

#### Übergreifende Feldtest-Thesen

- GPS-only und GPS + Beacon sind beide grundsätzlich für die Nutzungsdatenerfassung im ÖPNV einsetzbar und unter Realbedingungen vergleichbar. Der Feldtest soll die Funktionsfähigkeit, Stabilität, Datenverarbeitung und Datenqualität beider Verfahren prüfen.
- Beacon-Technologie liefert einen zusätzlichen Nutzen gegenüber reinem GPS-Tracking, insbesondere bei der Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung und in komplexen Verkehrssituationen.
- Die Ergebnisgüte der Nutzungsdatenerfassung hängt von den regionalen Rahmenbedingungen und vom Ausstattungsgrad mit Beacon-Technologie ab. Das Dokument vergleicht ausdrücklich Vollausstattung, Teilausstattung und GPS-only-Szenarien.
- Ein organisations- und regionsübergreifend funktionsfähiges System zur Nutzungsdatenerfassung ist grundsätzlich realisierbar. Der Feldtest soll die Interoperabilität über mehrere Regionen und beteiligte Organisationen hinweg nachweisen.
- Ein objektiver Anbieter- und Technologievergleich ist möglich, wenn Profitester identische Teststrecken mit unterschiedlichen Anwendungen und Setups befahren. Die Profitester sind explizit als neutrale Vergleichsgruppe vorgesehen.
- Eine repräsentative Stichprobe für die spätere Einnahmeaufteilung kann iterativ aufgebaut werden. Gleichzeitig sollen Merkmale identifiziert werden, die für eine Hochrechnung erforderlich sind.
- Die gewonnenen Ergebnisse sind grundsätzlich auf einen bundesweiten Regelbetrieb übertragbar, sofern Repräsentativität, Datenqualität, Organisation und technische Machbarkeit belastbar nachgewiesen werden.

- Für den späteren Regelbetrieb lassen sich belastbare organisatorische und prozessuale Anforderungen ableiten, etwa Rollenmodelle, Berechtigungskonzepte, Fehlerhandling und standardisierte Betriebsprozesse.
- Die Kundenakzeptanz ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor und messbar, insbesondere über Teilnahmequoten, Reibungsverluste bei der Datenfreigabe und Reaktionen auf verschiedene Ansprache- und Incentivierungsformen.
- Datenschutz und Datensicherheit sind praktisch umsetzbar, wenn Datensparsamkeit, DSGVO-Rechtsgrundlagen, Privacy by Design / Default, Pseudonymisierung, Zugriffskontrollen und Verschlüsselung sauber umgesetzt werden.
- Die Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit der Verfahren lassen sich belastbar bewerten, insbesondere im Verhältnis von Infrastrukturkosten, Betriebsaufwand, erreichter Datenqualität und möglicher bundesweiter Ausrollung.
- Die Validierung durch kontrollierte Vergleichsszenarien ist möglich, wenn Beacon-Signale gezielt aktiviert/deaktiviert und automatische Trackingdaten mit Fahrtenbüchern sowie Profitester-Daten abgeglichen werden.

## **Regionsspezifische Feldtest-Thesen**

### **HVV/NITAG:**

Ein reines GPS-only-System kann auch in einem großen, verbundübergreifenden Netz tragfähig getestet werden; gleichzeitig kann Beacon-Technologie in Tunneln, Knotenpunkten und grenzüberschreitenden Verkehren einen zusätzlichen Mehrwert liefern.

### **MDV:**

Eine Vollausrüstung mit Beacons dient als Referenzfall und erlaubt Aussagen darüber, welche Datenqualität, Zuverlässigkeit und organisatorischen Anforderungen bei maximaler Infrastrukturabdeckung erreichbar sind.

### **RMV**

Eine partielle Ausstattung mit Beacons reicht aus, um zentrale Fragestellungen zu Linienzuordnung, Fahrzeugwechseln und organisatorischen Anforderungen einer ID-basierten Datenarchitektur zu untersuchen.

### **VRR**

GPS-only kann auch in einem hochverdichteten, urbanen Netz unter Hochlastbedingungen getestet werden; punktuelle Stationsbeacons sollen dort gezielt Verbesserungspotenziale aufzeigen.

### **VVW**

Eine Kombination aus GPS und gezielt eingesetzten Beacons ist auch in Regionen mit geringer technischer Infrastruktur, touristischen Verkehren, saisonalen Schwankungen und verbundfreien Räumen sinnvoll prüfbar.

## **4.1. Schrittweise Erweiterung**

Der Ablauf der Feldtests erfolgt bewusst schrittweise und in definierten Ausbaustufen. Dieses Vorgehen trägt dem Umstand Rechnung, dass zentrale technische und organisatorische

Komponenten, insbesondere App-Bereitstellung, Beacon-Infrastruktur, Stichprobendesigns und Datenbanken, nicht vollständig zu Projektbeginn vorliegen können, sondern erst im Verlauf des Projekts aufgebaut, getestet und erweitert werden.

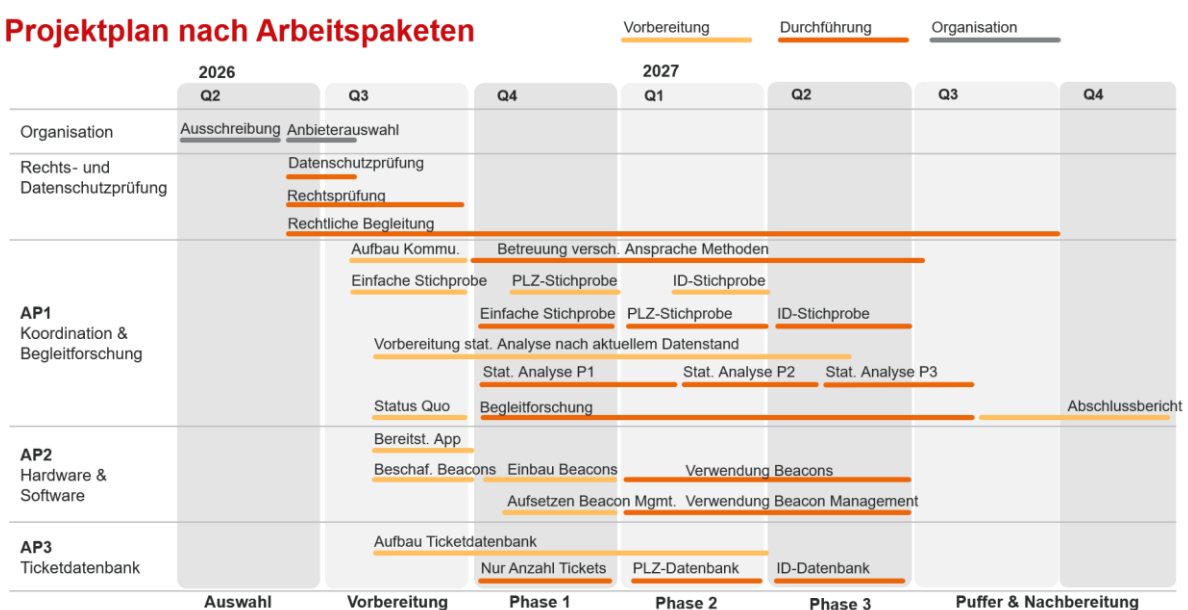
Die Standardlösung sieht vor, dass den Feldtestregionen eine zentrale App des Auftragnehmers aus AP2 zur Verfügung gestellt wird, die Testpersonen herunterladen und nutzen. Gleichzeitig kann auch ein Software Development Kit (SDK) bereitgestellt werden, um Regionen, die ihre regionale App bevorzugen, die Integration der erforderlichen Funktionalitäten zu ermöglichen. Dadurch würden sich die technischen Ausgangslagen je nach Region unterscheiden, was ein gestuftes Vorgehen zur Folge hätte. Die SDK-Lösung ist optional abgebildet, derzeit besteht jedoch in Anbetracht des Zeitplans und des erforderlichen Vorlaufs für eine SDK-Integration keine Möglichkeit bei den teilnehmenden Verkehrsunternehmen, ein solches vor dem geplanten Feldteststart zu integrieren. Da die Teilnahmebereitschaft und Nutzung der App, sei es zentral oder regional über SDK, im Projektverlauf erheblich variieren können, kommt den Themen Stichprobenmanagement und Kundenansprache eine besondere Bedeutung zu. Beide müssen flexibel auf die jeweilige technische Verfügbarkeit reagieren und sicherstellen, dass über alle Phasen hinweg ausreichende und valide Daten erhoben werden können.

Durch die Gliederung in Ausbaustufen werden Risiken reduziert, Erkenntnisse aus frühen Phasen gezielt genutzt und damit Prozesse und die Systemarchitektur schrittweise verbessert und stabilisiert.

Parallel zum Aufbau der technischen Infrastruktur werden Profitester frühzeitig in die Feldtests integriert. Sie befahren definierte Schlüsselrouten in allen Regionen und testen stets jene Technologien, die durch die Stichproben in der Region nicht genutzt werden. Dadurch können Funktionsfähigkeit, Datenqualität und technologischer Vergleich bereits in frühen Projektphasen validiert werden.

## 4.2. Voraussichtliche Zeitplanung

### Projektplan nach Arbeitspaketen



### 4.3. Beschreibung der Phasen (Entwicklungsstufen)

#### **Vorbereitung (Juni–September 2026)**

Die Vorbereitung bildet die Grundlage für alle folgenden Schritte und dient dem technischen, organisatorischen und datenschutzrechtlichen Aufbau des Testbetriebs.

#### **Stichproben**

In dieser Phase werden erste einfache Stichproben durchgeführt, um Ausgangsdaten zu ermitteln und die grundlegende Funktionalität der Datenerhebung zu prüfen. Diese frühen Stichproben dienen vor allem der Kalibrierung und liefern Referenzwerte für spätere, komplexere Erhebungen.

#### **Ticketdatenbank**

Die Ticketdatenbank wird technisch aufgebaut, jedoch zunächst nur in ihrer Basisform. In dieser Phase wird noch keine inhaltliche Tiefe erreicht; die Systeme werden vorbereitet, Datenmodelle abgestimmt und die ersten Strukturen geschaffen.

#### **Kundenansprache**

Da die Standardlösung eine zentrale App vorsieht, während gleichzeitig ein SDK für regionale Apps bereitgestellt werden muss, ist die Kundenansprache in dieser Phase besonders wichtig. Kommunikationswege werden aufgebaut, Methoden zur Teilnehmerrekrutierung vorbereitet und organisatorische Fragen zwischen Regionen abgestimmt.

#### **Tracking / Nutzungsdatenerfassung**

Des Weiteren werden technischen Grundlagen für die spätere Nutzungsdatenerfassung geschaffen. Hierzu gehört insbesondere die Bereitstellung der zentralen Test-App sowie ggf. des Software Development Kits (SDK) zur Integration in regionale Anwendungen. In dieser Phase steht die App zum Download in den App Stores bereit. In den Regionen, in denen GPS-only ebenfalls vorgesehen ist, kann das Tracking bereits durchgeführt werden.

Parallel dazu wird die Beacon-Infrastruktur vorbereitet und in den Testregionen ausgerollt. In dieser Phase erfolgt noch keine systematische Datenauswertung zur Bewertung der Beacon-Wirkung.

Darüber hinaus wird eine Gruppe von Testpersonen (Profitester) aufgebaut, die während der Feldtests gezielt Fahrten im Testgebiet durchführen. Diese Testpersonen führen ein strukturiertes Fahrtenbuch, in dem Fahrten, Umstiege, Verkehrsmittel und besondere Situationen dokumentiert werden. Dieses Fahrtenbuch dient als Referenzdatensatz zur späteren Validierung der automatisch erfassten Trackingdaten.

Die Profitester werden rekrutiert, geschult und mit Mehrgeräte-Testausstattung ausgestattet (siehe AP 1.3). Für jede Region werden verpflichtende Schlüsselrouten definiert, die zentrale technische und strukturelle Besonderheiten abbilden. Die Profitester testen grundsätzlich jene Technologien, die der Stichprobe in der jeweiligen Region nicht zur Verfügung stehen, um einen vollständigen Technologievergleich sicherzustellen. Zusätzliche Testfälle können vom Auftragnehmer vorgeschlagen und in Abstimmung mit dem Auftraggeber umgesetzt werden.

#### **Phase 1 – PLZ-Stichprobe & Inbetriebnahme (Oktober–Dezember 2026)**



In Phase 1 beginnt der eigentliche Feldtestbetrieb. Die technische Infrastruktur wird erstmals im größeren Umfang genutzt.

### **Stichproben**

Der Schwerpunkt liegt nun auf der PLZ-Stichprobe, mit der die Nutzung anhand des Wohnortes der Testpersonen untersucht wird. Parallel läuft die einfache Stichprobe weiter, um Vergleichsdaten zu generieren. Die Datenbasis wird dadurch deutlich breiter.

### **Ticketdatenbank**

Die zentrale Ticketdatenbank wird weiter aufgebaut und verarbeitet in dieser Phase primär Mengendaten ("Nur Anzahl Tickets"), um die technische Funktionsfähigkeit und Datenflüsse zu validieren. Die vollständige Ticketverknüpfung erfolgt erst später.

### **Kundenansprache**

Mit der zunehmenden technischen Einsatzfähigkeit beginnen erste aktive Rekrutierungs- und Kommunikationsmaßnahmen, abgestimmt auf regionale Besonderheiten und die Wahl zwischen zentraler App oder SDK-Integration.

### **Profitester**

In Phase 1 führen die Profitester erste Vergleichsfahrten zwischen GPS-only, Beacon-unterstützten und hybriden Verfahren durch. Sie befahren die zuvor definierten Routen in allen Regionen und erzeugen reproduzierbare Datensätze, die die Unterschiede zwischen den Technologien unter identischen Bedingungen sichtbar machen.

### **Tracking / Nutzungsdatenerfassung**

Die expliziten Testpersonen zur Validierung der Daten sowie sich beteiligende D-Ticket-Nutzer nutzen die App während ihrer regulären Fahrten im öffentlichen Verkehr, wodurch erstmals kontinuierliche GPS-basierte Bewegungsdaten erhoben werden.

Parallel dazu wird die Beacon-Infrastruktur erstmals aktiv geschaltet. Um den Mehrwert der Beacon-Technologie systematisch bewerten zu können, wird in dieser Phase ein kontrolliertes Vorgehen umgesetzt, bei dem Beacon-Signale in bestimmten Zeiträumen oder Teilbereichen gezielt aktiviert bzw. deaktiviert werden. Auf diese Weise können identische Verkehrssituationen mit und ohne Beacon-Unterstützung analysiert und miteinander verglichen werden.

Die in dieser Phase eingesetzten Tester führen weiterhin ein strukturiertes Fahrtenbuch. Diese manuell dokumentierten Fahrten dienen als verifizierende Referenz für die automatisiert erfassten Trackingdaten und ermöglichen eine Bewertung der Genauigkeit der Fahrterkennung sowie der Verkehrsmittelzuordnung

## **Phase 2 – ID-Stichprobe & Systemintegration (Januar–März 2027)**

Phase 2 vertieft den Feldtest und erweitert die technische Tiefe.

### **Stichproben**

Die ID-Stichprobe startet und ermöglicht eine genaue Erfassung der individuellen Nutzung auf Basis pseudonymisierter Identifikatoren. Die PLZ-Stichprobe läuft aus. Durch die ID-Stichprobe steigt die Genauigkeit der Auswertungen erheblich.

### **Ticketdatenbank**

Während die PLZ-Datenbank stabil betrieben wird, erfolgt erstmals die Inbetriebnahme der ID-Datenbank, die alle Voraussetzungen für eine nutzungsbasierte Einnahmeaufteilung in der späteren Stufe 3 schafft.

### **Kundenansprache**

Da für die ID-Stichprobe ein aktiveres Nutzerverhalten erforderlich ist (App-Nutzung, Einwilligungsmanagement, technische Interaktion), intensiviert sich die Kundenansprache in dieser Phase. Kommunikationsmaßnahmen müssen auf die jeweilige Systemverfügbarkeit (Zentral-App vs. regionales SDK) abgestimmt werden.

### **Profitester**

In Phase 2 unterstützen die Profitester die vertiefte Validierung der ID-basierten Datenerfassung. Sie testen insbesondere die Technologien, die den Stichprobennutzenden nicht zur Verfügung stehen, und liefern dadurch die für den Anbieter und Technologievergleich erforderlichen Referenzdatensätze.

### **Tracking / Nutzungsdatenerfassung**

Die Trackingdaten werden weiterhin über die zentrale App bzw. über regionale Anwendungen mit integriertem SDK erhoben. In dieser Phase erfolgt eine systematische Auswertung der Unterschiede zwischen GPS-basierter Erfassung und GPS-Erfassung in Kombination mit Beacon-Technologie. Hierzu wird das bereits etablierte Verfahren fortgeführt, bei dem Beacon-Systeme gezielt ein- und ausgeschaltet werden, um Vergleichsdaten unter möglichst identischen Rahmenbedingungen zu erzeugen. Die Testpersonen mit Fahrtenbuch dokumentieren weiterhin ausgewählte Fahrten.

### **Phase 3 – Konsolidierung und vertiefte Analysen (April-Juni 2027)**

In Phase 3 steht die Auswertung im Vordergrund.

### **Stichproben**

Es werden keine neuen Stichproben gestartet. Stattdessen erfolgt die statistische Konsolidierung aller erhobenen Daten, inklusive Qualitätsprüfungen, Plausibilisierungen und Vergleich verschiedener Erhebungsansätze (GPS-only vs. GPS + Beacon, PLZ vs. ID).

### **Ticketdatenbank**

Alle Daten aus PLZ und ID-Datenbank werden nun gemeinsam analysiert. Es geht um Datenvollständigkeit, Auswertbarkeit und technische Leistungsfähigkeit der gesamten Datenhaltung.

### **Kundenansprache**

Die aktive Kundenansprache nimmt ab. Der Fokus liegt nun auf der Bewertung der Wirksamkeit aller zuvor eingesetzten Rekrutierungs- und Kommunikationsmethoden.

## **Profitester**

In Phase 3 liefern die Profitester die Vergleichsdatensätze, die zur abschließenden Bewertung der Erhebungsansätze benötigt werden. Ihre mehrfach befahrenen Schlüsselrouten bilden den qualitativen Referenzpunkt der Analyse.

## **Tracking / Nutzungsdatenerfassung**

Ein besonderer Fokus liegt nun auf der vergleichenden Auswertung der verschiedenen Trackingansätze. Hierbei werden insbesondere folgende Datensätze gegenübergestellt:

- GPS-basierte Erfassung ohne zusätzliche Infrastruktur
- GPS-Erfassung in Kombination mit Beacon-Technologie
- Referenzdaten aus den von Testpersonen geführten Fahrtenbüchern

Durch diesen systematischen Vergleich soll belastbar bewertet werden, welchen Beitrag Beacon-Technologie zur Verbesserung der Datenqualität leisten kann. Dabei werden insbesondere die Genauigkeit der Fahrterkennung, die Zuverlässigkeit der Verkehrsmittelzuordnung sowie die Stabilität der Datenerfassung in komplexen Verkehrssituationen analysiert.

## **Nachbereitung und Abschluss (ab Juli 2027)**

Die Feldtests werden abgeschlossen und die Ergebnisse aufbereitet.

## **Umgang mit Verzögerungen und Zeitpuffern**

Der Projektzeitplan ist phasenbasiert angelegt und sieht bewusst einen schrittweisen Aufbau vor. Um die Stabilität des Gesamtplans zu sichern, gelten folgende Regelungen:

Zwischen den Hauptphasen ist jeweils ein Pufferzeitraum von zwei Wochen vorgesehen, der nicht verplant wird und ausschließlich zur Absorption von Verzögerungen dient. Dieser Puffer ist kein Bestandteil der regulären Projektarbeit und darf nicht für inhaltliche Leistungen genutzt werden.

Tritt eine Verzögerung auf, die den Pufferzeitraum überschreitet, ist innerhalb von fünf Werktagen eine Eskalation an den Lenkungskreis durch den Auftragnehmer durchzuführen. Die Eskalation umfasst eine Ursachenanalyse, eine Bewertung der Auswirkungen auf nachfolgende Phasen sowie einen konkreten Maßnahmenplan zur Wiederherstellung des Zeitplans.

Verzögerungen, die ihren Ursprung in den Arbeitspaketen AP 2, AP 3 oder AP 4 haben, sind vom Auftragnehmer zu dokumentieren und dem Auftraggeber unverzüglich anzuzeigen. In diesen Fällen entscheidet der Lenkungskreis über eine angepasste Phasenplanung, ohne dass dem Auftragnehmer daraus Nachteile entstehen.

Eine Gesamtverzögerung des Projekts von mehr als vier Wochen löst eine verpflichtende Überprüfung des Gesamtzeitplans durch Auftraggeber und Auftragnehmer aus. Ergebnis dieser Überprüfung ist entweder ein angepasster Projektplan oder eine begründete Entscheidung zur Priorisierung einzelner Phasen oder Regionen.

#### 4.4. Validierung der generierten Daten durch GPS-only oder GPS mit Beacon-Technologie

Die Validierung der erhobenen Daten stützt sich neben den Stichprobendaten maßgeblich auf die gezielt geplanten Fahrten der Profitester. Sie testen sämtliche Technologien, die von der Stichprobe nicht genutzt werden können, und erzeugen so vollständige Vergleichsdatensätze. Dies ermöglicht eine klare Identifikation von Fehlerklassen, eine Bewertung der technologischen Unterschiede sowie eine nachvollziehbare Einordnung der Stichprobenergebnisse.

##### **Vergleich der Erhebungsverfahren**

Die beiden technischen Ansätze, GPS-only sowie GPS-Erfassung in Kombination mit Beacon-Technologie, werden unter identischen betrieblichen Bedingungen gegenübergestellt, um Unterschiede in Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Stabilität messbar zu machen. Dies umfasst insbesondere Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung und die Bewertung von Datenqualität in komplexen Verkehrssituationen.

##### **Einsatz der Profitester als Referenzkomponente**

Die Profitester befahren vordefinierte Schlüsselrouten in allen Regionen und testen gezielt jene Technologien, die durch die regionale Stichprobe nicht genutzt werden können. Auf dieser Grundlage entstehen vollständige Vergleichsdatensätze, die eine unabhängige und reproduzierbare Validierung beider Verfahren ermöglichen. Sie bilden den qualitativen Referenzpunkt zur Einordnung der automatisch erfassten Daten.

##### **Nutzung manueller Referenzdaten**

Die durch Testpersonen geführten Fahrtenbücher dokumentieren Verkehrsmittel, Umstiege und besondere Situationen. Diese manuell erzeugten Referenzdaten dienen der Überprüfung der automatisch erfassten Trackingdaten und ermöglichen eine Bewertung der Erkennungsgenauigkeit beider Verfahren.

##### **Kontrollierte Aktivierung und Deaktivierung der Beacon-Infrastruktur**

Um den direkten Vergleich zwischen GPS-only und GPS+Beacon zu ermöglichen, werden Beacon-Signale in einzelnen Phasen oder Teilbereichen gezielt ein- bzw. ausgeschaltet. So können identische Verkehrssituationen mit und ohne Beacon-Unterstützung valide gegenübergestellt werden. Dies ermöglicht eine eindeutige Identifikation der Beacon-Wirkung.

##### **Regionen-spezifische Validierungsschwerpunkte**

Je nach Testregion werden unterschiedliche strukturelle Bedingungen und Herausforderungen betrachtet, beispielsweise GPS-schwache Umgebungen, touristische Spitzen, hohe Verkehrsdichte oder komplexe Linienwechsel. Die Validierungslogik wird entsprechend regionalen Besonderheiten angewendet, um den Mehrwert der jeweiligen Technologie differenziert bewerten zu können.

##### **Ableitung von Fehlerklassen und Qualitätsindikatoren**

Auf Basis der Profitester-Datensätze sowie der Vergleichsdaten aus den Stichproben werden Fehlerklassen, Abweichungen und Qualitätsmetriken systematisch bestimmt. Die Ergebnisse

fließen in die Bewertung der technologischen Unterschiede und in die Interpretation der Stichprobenwerte ein.

Durch die Kombination dieser Elemente entsteht eine belastbare Validierungsgrundlage, die die technologischen, organisatorischen und betrieblichen Unterschiede zwischen GPS-only- und GPS-mit-Beacon-Verfahren nachvollziehbar und reproduzierbar bewertet

#### 4.5. Profitester – Methodik und Einsatz im Feldtest

##### **Zielsetzung**

Die Profitester bilden eine eigenständige Testkomponente neben den repräsentativen Stichproben. Sie ermöglichen den vollständigen Technologie- und anbieterseitigen Vergleich, indem sie vordefinierte Schlüsselrouten in allen Regionen mehrfach befahren und gezielt jene Technologien testen, die den Stichprobennutzenden in der jeweiligen Region nicht zur Verfügung stehen. Dadurch entsteht ein vollständiges Bild der technologischen Leistungsfähigkeit.

##### **Verantwortlichkeiten**

Die Profitester werden durch den Auftragnehmer bereitgestellt, geschult und koordiniert. Sie sind nicht Teil der Stichprobe und verfolgen ein rein technisch-validierendes Ziel. Sie werden mit Mehrgeräte-racking ausgestattet, um Unterschiede zwischen Anbietern und Technologien reproduzierbar sichtbar zu machen.

##### **Einsatzlogik**

Für jede Region werden verpflichtende Schlüsselrouten definiert, die typische betriebliche Situationen abbilden. Die Profitester befahren diese Strecken mehrfach und testen dabei sämtliche Technologien und Anbieter, die in der jeweiligen Region nicht durch die Stichprobe abgedeckt werden. Der Auftragnehmer kann zusätzliche Testfälle vorschlagen, sofern diese zur Erreichung der Projektziele beitragen.

##### **Abgrenzung zur Stichprobe**

Die Profitester ergänzen die Erhebungen der Stichprobe, ohne zu deren Repräsentativität beizutragen. Ihre Ergebnisse dienen ausschließlich der Validierung, der Qualitätsmessung und dem Vergleich der technischen Ansätze. Eine Vermischung mit der Stichprobe findet nicht statt.

##### **Ergebnisauswertung**

Die durch die Profitester erhobenen Daten bilden den qualitativen Referenzpunkt für die Bewertung der Erkennungsgenauigkeit und Datenqualität. Sie ermöglichen eine präzise Fehlereinordnung, einen nachvollziehbaren Anbieter- und Technologievergleich sowie eine robuste Einordnung der Stichprobenergebnisse.

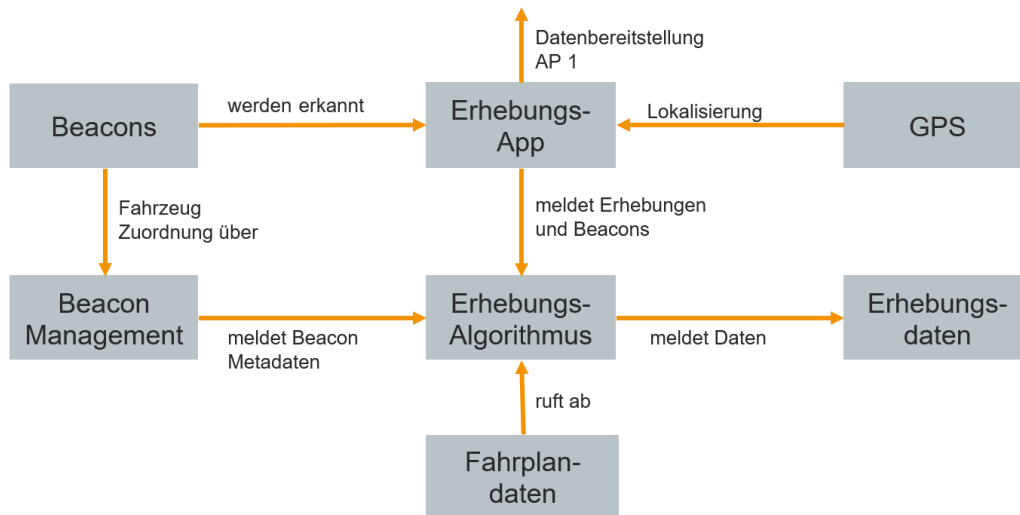
## 5. Leistungsbeschreibung

### 5.1. Einordnung und Zielsetzung von AP 2

Das Arbeitspaket 2 dient im Gesamtprojekt als zentrale Grundlage für die technische Durchführung der Feldtests, indem es die vollständige technische Erhebungsinfrastruktur für die Nutzungsdatenerfassung bereitstellt und betriebsfähig macht. Es ist damit das operative Bindeglied zwischen der in Arbeitspaket 1 beschriebenen methodischen Begleitung der Feldtests, der nachgelagerten Datenverarbeitung und Systemarchitektur in Arbeitspaket 3 sowie der rechtlichen Begleitung in Arbeitspaket 4. Inhaltlich umfasst Arbeitspaket 2 insbesondere die Beschaffung und Bereitstellung der für den Feldtest erforderlichen Soft- und Hardwarekomponenten:

- einer Erhebungs-App in zwei technologischen Ausprägungen:
  - einer GPS-basierten Version mit optionaler Beacon-Unterstützung
  - einer Erhebungs-App Variante, die zur verbesserten Erfassung gezielt auf Bluetooth-Low-Energy-(BLE-)Beacons aufsetzt,
- die Beschaffung und Bereitstellung der Beacon-Hardware über einen Rahmenvertrag
- die Einführung eines zentralen Beacon-Management-Systems als softwareseitige Steuerungskomponente.

Ziel ist es, diese Bausteine so aufeinander abzustimmen, dass die verschiedenen technischen Ansätze unter realen Bedingungen in einem technologieoffenen und anbieterübergreifenden Wettbewerb verprobt und vergleichbar gemacht werden können. Diese Einordnung ist deshalb wesentlich, weil die Feldtests ausdrücklich auf den Vergleich von GPS-only- und GPS-plus-Beacon-Verfahren ausgerichtet sind und unterschiedliche Ausstattungsgrade in den Testregionen vorsehen: Während im MDV eine Vollausstattung mit Beacon-Technologie als Referenzszenario erprobt wird, kommen im HVV, RMV, VRR und VVV bewusst Teilausstattungen beziehungsweise punktuelle Beacon-Setups zum Einsatz, um auch Minimal- und Mischszenarien bewerten zu können. Arbeitspaket 2 schafft damit die technische Voraussetzung, um Unterschiede in Datenqualität, Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung, Interoperabilität, Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit systematisch zu untersuchen und belastbare Erkenntnisse für einen möglichen späteren bundesweiten Rollout abzuleiten.



## 5.2. Leistungsgegenstand AP2

### Leistungsgegenstand und Losstruktur

Der Leistungsgegenstand von Arbeitspaket 2 umfasst die Bereitstellung, den Betrieb und die Weiterentwicklung der technischen Erhebungsinfrastruktur für die im Gesamtprojekt vorgesehenen Feldtests zur nutzungsbasierten Einnahmeaufteilung des Deutschlandtickets. Arbeitspaket 2 stellt damit die technische Grundlage für die Erprobung und den Vergleich unterschiedlicher Verfahren der Nutzungsdatenerfassung dar, insbesondere GPS-basierter sowie Beacon-gestützter Ansätze, und unterstützt den phasenweisen Feldtestbetrieb in unterschiedlichen Testregionen und Ausstattungsgraden.

Zur Sicherstellung einer modularen, technologieoffenen und interoperablen Beschaffung wird der Leistungsgegenstand in **drei fachlich getrennte Lose** aufgeteilt. Die Lose sind jeweils eigenständig zu erbringen, müssen jedoch funktional und technisch so ausgestaltet sein, dass ein reibungsloses Zusammenspiel aller beschafften Komponenten innerhalb des Feldtestbetriebs gewährleistet ist. Die technische Infrastruktur muss den Vergleich von GPS-only-, GPS-mit-Beacon- sowie Teil- und Vollausstattungszenarien ermöglichen.

#### Los 1 – GPS-basierte Erhebungs-App

Gegenstand dieses Loses ist die Bereitstellung, der Betrieb und die technische Weiterentwicklung einer GPS-basierten Erhebungs-App zur smartphonegestützten Nutzungsdatenerfassung im ÖPNV. Die Lösung muss für den Einsatz im phasenweisen Feldtestbetrieb geeignet sein und die für die Datenerhebung, Datenübertragung und technische Integration erforderlichen Funktionen bereitstellen. Soweit für den Feldtest erforderlich, sind Schnittstellen zu weiteren Komponenten der technischen Erhebungsinfrastruktur bereitzustellen. Die Feldtests sehen ausdrücklich den Einsatz GPS-basierter Verfahren als eigenständigen technologischen Ansatz vor.

#### Los 2 – Beacon-gestützte Erhebungs-App

Gegenstand dieses Loses ist die Bereitstellung, der Betrieb und die technische Weiterentwicklung einer Beacon-gestützten Erhebungs-App zur Nutzungsdatenerfassung. Die Lösung muss insbesondere für Testkonstellationen geeignet sein, in denen BLE-Beacons gezielt zur Verbesserung der Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung oder Datengüte eingesetzt werden. Die App muss technisch in die übrige Erhebungsinfrastruktur integrierbar sein und den Einsatz in Testregionen mit Teil- oder Vollausstattung ermöglichen. Das zugrunde liegende Feldtestdesign sieht ausdrücklich den Vergleich von GPS-only- und GPS-plus-Beacon-Verfahren vor.

#### **Los 3 – Beacon-Infrastruktur (Beacon-Hardware und Beacon-Management-System)**

Gegenstand dieses Loses ist die Bereitstellung einer integrierten Beacon-Infrastruktur bestehend aus:

- der Beschaffung, Lieferung und unterstützten Inbetriebnahme von Beacon-Hardware im Rahmen eines Rahmenvertrags sowie
- der Bereitstellung, dem Betrieb und der Weiterentwicklung eines herstellerunabhängigen Beacon-Management-Systems als zentrale Softwarelösung zur Verwaltung, Zuordnung, Konfiguration, Überwachung und technischen Einbindung der im Feldtest eingesetzten Beacons.



Das Los umfasst damit sowohl die physische Beacon-Infrastruktur als auch deren zentrale softwareseitige Steuerung. Ziel ist es, eine einheitliche, interoperable und übergreifend steuerbare Beacon-Landschaft bereitzustellen, die den Einsatz von Beacons unterschiedlicher Hersteller unterstützt und den phasenweisen Feldtestbetrieb in unterschiedlichen regionalen Ausstattungsgraden ermöglicht.

Die Zusammenfassung von Beacon-Hardware und Beacon-Management-System in einem gemeinsamen Los dient der Reduktion von Schnittstellenrisiken, der Sicherstellung einer konsistenten technischen Gesamtverantwortung sowie der effizienten Umsetzung der losübergreifenden Kompatibilitäts-, Betriebs- und Qualitätsanforderungen.

Übergreifende Anforderungen an alle Lose

Unabhängig von der Loszuordnung sind die jeweiligen Leistungen so zu erbringen, dass **Interoperabilität**, **Datenschutz**, **IT-Sicherheit**, **Skalierbarkeit** und **technische Anschlussfähigkeit** an die übrigen Komponenten des Gesamtvorhabens sichergestellt werden. Die Leistungen müssen den phasenweisen Feldtestbetrieb gemäß Projektzeitplan unterstützen und so ausgestaltet sein, dass unterschiedliche technische Ausbaugrade in den Testregionen abgebildet werden können.

Alle Auftragnehmer müssen sicherstellen, dass ihre jeweiligen Lösungen die folgenden losübergreifenden Kompatibilitätsanforderungen erfüllen:

Sämtliche Beacon-Hardware (Los 3) sowie die Beacon-Erkennung der Erhebungs-Apps (Los 1 und Los 2) müssen mindestens Bluetooth Low Energy (BLE) ab Version 4.2 unterstützen. BLE 5.0 oder höher ist bevorzugt.

Es müssen mindestens die offenen Beacon-Advertising-Standards iBeacon und/oder AltBeacon unterstützt werden.

Die Erhebungs-Apps (Los 1 und Los 2) müssen mindestens iOS ab Version 15 und Android ab API-Level 29 (Android 10) unterstützen. Die Apps müssen auf marktüblichen Endgeräten beider Plattformen funktionsfähig sein.

Sämtliche losübergreifenden Schnittstellen – insbesondere zwischen den Erhebungs-Apps (Los 1, Los 2), dem Beacon-Management-System (Los 3) und den Backend-Systemen – sind als dokumentierte REST-APIs mit JSON-Datenformat bereitzustellen. Die Authentifizierung erfolgt über OAuth 2.0 oder ein gleichwertiges, standardisiertes Verfahren.

Die eindeutige Identifikation von Beacons muss über eine einheitliche UUID/Major/Minor-Struktur (bei iBeacon) oder eine funktional gleichwertige Identifikationslogik erfolgen, die losübergreifend abgestimmt ist.

Für den Austausch von Erhebungsdaten, Beacon-Zuordnungsdaten und Fahrplandaten sind offene, dokumentierte Datenformate zu verwenden. Für Fahrplandaten sind insbesondere GTFS oder GTFS-RT vorzusehen, für Geodaten GeoJSON.

Vor Beginn des Feldtestbetriebs sind losübergreifende Integrations- und Kompatibilitätstests durchzuführen. Jeder Auftragnehmer ist verpflichtet, an diesen Tests aktiv mitzuwirken und die technische Zusammenarbeit mit den übrigen Losnehmern sicherzustellen.

Hinweis zur Vergabelogik

Die Losaufteilung dient der fachlichen Trennung der Leistungsbestandteile und der gezielten Beschaffung spezialisierter Marktleistungen. Dabei können die Lose grundsätzlich an **unterschiedliche Auftragnehmer** vergeben werden.

### **Quality Gates und phasenbezogene Qualitätssicherung**

Für jedes Los sind Quality Gates an den definierten Phasenübergängen des Feldtests verbindlich einzuhalten. Der Übergang in die jeweils nächste Feldtestphase setzt die erfolgreiche Abnahme des jeweiligen Quality Gates voraus. Die Quality Gates gelten losbezogen; bei losübergreifenden Abhängigkeiten sind die beteiligten Auftragnehmer zur abgestimmten Mitwirkung verpflichtet.

#### **Quality Gate 1 – Bereitschaftsprüfung (vor Beginn Phase 1)**

- Nachweis der technischen Betriebsbereitschaft der jeweiligen Lösung
- Erfolgreicher Abschluss der losübergreifenden Integrations- und Kompatibilitätstests
- Vorlage und Freigabe des Datenschutz- und IT-Sicherheitskonzepts

Zusätzlich je Los:

- **Los 1 / Los 2 (Erhebungs-Apps):**
  - Nachweis der Verfügbarkeit in den App Stores (iOS und Android) in der freigegebenen White-Label-Konfiguration
- **Los 3 (Beacon-Infrastruktur):**
  - Nachweis der Lieferfähigkeit der Beacon-Hardware
  - Bereitstellung einer Erstlieferung für mindestens eine Testregion
  - Nachweis der Betriebsbereitschaft des Beacon-Management-Systems einschließlich:
    - funktionsfähiger Nutzeroberfläche
    - verfügbarer und dokumentierter API-Schnittstelle

#### **Quality Gate 2 – Feldtesteignung (nach Abschluss Phase 1)**

- Nachweis der stabilen Datenerfassung unter Realbedingungen über mindestens vier Wochen
- Auswertung der definierten Datenqualitätskennzahlen (u. a. Vollständigkeit, Plausibilität, Fehlerrate)
- Dokumentation und Behebung aller kritischen Fehler aus Phase 1
- Vorlage eines aktualisierten Betriebs- und Qualitätsberichts

Zusätzlich für **Los 3**:

- Nachweis einer stabilen Beacon-Erkennung im Realbetrieb
- Nachweis einer konsistenten und fehlerfreien Beacon-Zuordnung im Beacon-Management-System

### **Quality Gate 3 – Skalierungsfreigabe (vor Beginn Phase 3 / Hochlauf)**

- Nachweis der Skalierbarkeit auf die geplante Nutzerzahl und das vollständige regionale Testdesign
- Vorlage eines Erfahrungsberichts aus Phase 2 mit Lessons Learned
- Bestätigung der Stabilität der losübergreifenden Schnittstellen
- Nachweis der Einhaltung der definierten SLAs über Phase 2

Zusätzlich für **Los 3**:

- Nachweis der Skalierbarkeit des Beacon-Management-Systems hinsichtlich Anzahl Beacons, Fahrzeuge und Regionen
- Nachweis der operativen Handhabbarkeit von Rollout-, Änderungs- und Wartungsprozessen

### **Quality Gate 4 – Abschlussprüfung (vor Projektabschluss)**

- Vollständige technische und fachliche Dokumentation
- Übergabe aller Lieferobjekte gemäß Leistungsbeschreibung
- Vorlage des Rückbau- bzw. Außerbetriebnahme-Konzepts
- Abschließender Qualitätsbericht über die gesamte Feldtestlaufzeit

Zusätzlich für **Los 3**:

- Nachweis der ordnungsgemäßen Rückbaubarkeit der Beacon-Hardware
- Übergabe der finalen Beacon-Stammdaten, Zuordnungen und Systemdokumentationen

### **Prüfberichte und Nachbesserung**

Der Auftragnehmer hat zu jedem Quality Gate einen schriftlichen Prüfbericht vorzulegen. Die Freigabe erfolgt durch den Auftraggeber. Bei Nichterfüllung eines Quality Gates ist der Auftragnehmer verpflichtet, innerhalb von 14 Kalendertagen einen Maßnahmenplan zur Nachbesserung vorzulegen.

### 5.3. LOS 1: Erhebungs-App – GPS-basierte Erhebungsmethode (Primärverfahren)

#### 5.3.1. Ziel der Leistung

Ziel der Leistung ist die Bereitstellung, der Betrieb und die Weiterentwicklung einer GPS-basierten Erhebungs-App zur smartphonegestützten Nutzungsdatenerfassung im öffentlichen Personennahverkehr im Rahmen der Feldtests zur nutzungsbasierten Einnahmeaufteilung des Deutschlandtickets. Die Lösung muss geeignet sein, Nutzungsdaten unter Realbedingungen zu erfassen, technisch belastbar aufzubereiten und in einer Form bereitzustellen, die eine valide Bewertung der Ergebnisgüte, der Fahrterkennung, der Verkehrsmittelzuordnung sowie der technologischen Vergleichbarkeit im Feldtest ermöglicht. Die Lösung muss dabei sowohl als eigenständiger GPS-only-Ansatz einsetzbar sein als auch im Zusammenspiel mit Beacon-gestützten Komponenten betrieben werden können. Die Feldtests sind ausdrücklich auf den Vergleich von GPS-only- und GPS-plus-Beacon-Verfahren sowie auf unterschiedliche regionale Testdesigns ausgerichtet.

Die Leistung ist so zu erbringen, dass sie den schrittweisen Feldtestbetrieb unterstützt, in unterschiedliche regionale Testdesigns integrierbar ist und die Schnittstellen zu weiteren Komponenten des Gesamtprojekts – insbesondere zur Kundenansprache, zu Fahrplandaten, zu Backend- und Auswertungssystemen sowie zu einem Beacon-Management-System – zuverlässig sicherstellt. Das beigefügte Dokument beschreibt ausdrücklich ein phasenweises Vorgehen sowie die technische Einbindung zentraler App-/SDK-Komponenten in die Feldtests.

Die Erhebungs-App ist als White-Label-Lösung bereitzustellen. Sie muss vollständig unter einer durch den Auftraggeber vorgegebenen neutralen Gestaltung betrieben werden können.

#### 5.3.2. Leistungsumfang/Anforderungen

Der Auftragnehmer muss mit seiner Lösung folgende Anforderungen erfüllen:

(GPS beschreibt im Folgenden alle gängigen Ortungssysteme / GNSS)

##### 1. Allgemeine System- und Lösungsanforderungen

- Bereitstellung einer mobilen Erhebungs-App für die Nutzungsdatenerfassung auf marktüblichen mobilen Endgeräten.
- Sicherstellung eines stabilen und skalierbaren Betriebs der App über die gesamte Feldtestlaufzeit.
- Bereitstellung der App als produktiv nutzbare Feldtestlösung einschließlich zugehöriger Backend-Komponenten.
- Bereitstellung der App im Haupt App Store Apple und Google, explizit keine Entwicklungsumgebungen.
- Auslegung der Lösung auf den Einsatz in mehreren Testregionen mit unterschiedlichen technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen.
- Unterstützung eines phasenweisen Hochlaufs der Feldtests einschließlich Vorbereitung, Inbetriebnahme, Betrieb, Anpassung und Konsolidierung. Ein solches stufenweises Vorgehen ist im beigefügten Dokument ausdrücklich vorgesehen.

- Möglichkeit zur schrittweisen funktionalen Weiterentwicklung während der Projektlaufzeit.
- Sicherstellung der technischen Anschlussfähigkeit an weitere Lose und Arbeitspakete des Gesamtprojekts.
- Sicherstellung, dass die Lösung sowohl in einem reinen GPS-Betrieb als auch in einem Gesamtsetup mit Beacon-gestützten Komponenten betrieben werden kann. Der Vergleich von GPS-only und GPS + Beacon ist ausdrücklicher Gegenstand der Feldtests.

## 2. Funktionale Anforderungen an das User Interface und die Nutzerführung

- Bereitstellung eines intuitiven, verständlichen und barrierearmen User Interface für Testnutzende.
- Klare Nutzerführung für Registrierung, Anmeldung, Einwilligung, Aktivierung der Datenerfassung und Nutzung im Feldtest.
- Transparente Darstellung des Erhebungsstatus, insbesondere ob die App betriebsbereit ist, ob Bewegungs- und Bluetooth-Berechtigungen vorliegen und ob aktuell eine Beacon-basierte Erhebung aktiv ist.
- Verständliche Hinweise zu Bluetooth-Freigaben, Bewegungs-/Aktivitätserkennung, Standortfreigabe, Hintergrundnutzung, Energiesparmodi, Datenübertragung und Datenschutzeinstellungen.
- Nutzergerechte Darstellung der im Rahmen des Feldtests freigegebenen und aufbereiteten ÖPNV-relevanten Informationen.
- Sicherstellung, dass dem Nutzer in der fachlichen Sicht nur solche Wege, Fahrten oder Strecken angezeigt werden, die als ÖPNV-relevant klassifiziert und zur Erhebungslogik freigegeben sind.
- Sicherstellung, dass nicht dem öffentlichen Verkehr zuzuordnende Wegeabschnitte dem Nutzer nicht als fachliches Erhebungsergebnis dargestellt, nicht für fachliche Auswertungen geteilt und nicht unkontrolliert exportiert werden.
- Möglichkeit zur Anzeige technischer Hinweise, Fehlermeldungen und Hilfetexte in verständlicher Form.
- Möglichkeit zur Korrektur von falsch erhobenen Wegen und Wegeketten.
- Möglichkeit zur Freigabe und Bestätigung der Erhebungen durch den Nutzenden, Funktion muss deaktivierbar sein, so dass Daten automatisch freigegeben werden
- Bereitstellung einer nutzerseitigen Funktion zur Information über Support, Datenschutzinformationen und Einwilligungsstatus.
- Berücksichtigung unterschiedlicher Feldtestphasen in der Nutzerführung (z. B. Aktivierung bestimmter Funktionen erst ab definierter Phase).
- Die App muss als White-Label-Anwendung ausgeführt sein. Das visuelle Erscheinungsbild (u. a. Name der App, App-Icon, Farbschema, Logos, Start- und Infoseiten) ist vollständig an ein zentrales, durch den Auftraggeber vorgegebenes Design anzupassen.

## 3. Funktionale Anforderungen an Registrierung, Anmeldung und Anbindung an die Kundenansprache

- Anschluss der App an den im vorgelagerten Arbeitspaket vorgesehenen Registrierungs-, Rekrutierungs- und Anmeldeprozess.

- Unterstützung einer eindeutigen technischen Übergabe aus den Prozessen der Kundenansprache in die App-Nutzung.
- Übernahme bzw. Weiterverarbeitung der im Rahmen der Teilnahme erforderlichen Registrierungs- und Identifikationsmerkmale gemäß Gesamtprozess.
- Unterstützung eines rechtskonformen Einwilligungsmanagements.
- Möglichkeit zur Abbildung unterschiedlicher Nutzergruppen, Testphasen oder regionaler Zuordnungen im Anmeldeprozess.
- Sichere Verknüpfung der App-Nutzung mit den für die Feldtests vorgesehenen Identifikations- oder Pseudonymisierungsmechanismen.
- Sicherstellung, dass Änderungen an Teilnahme- oder Berechtigungsstatus technisch nachvollziehbar und systemseitig umsetzbar sind.

#### 4. Funktionale Anforderungen an die GPS-basierte Datenerfassung

- Kontinuierliche oder ereignisbasierte Erfassung der für die Nutzungsdatenerhebung erforderlichen GPS-/Standortdaten.
- Robuste Erfassung auch bei wechselnden Netzbedingungen und typischen Störungen des mobilen Betriebs.
- Datenweiterverarbeitung nur während Fahrten im ÖPNV.
- Erkennung relevanter Bewegungs- und Fahrmuster zur späteren fachlichen Interpretation.
- Konfigurierbarkeit der Erfassungsparameter (z. B. rein GPS, Beacon unterstützt, interpoliert), soweit technisch und datenschutzrechtlich zulässig.
- Sicherstellung, dass die GPS-Erfassung unter Realbedingungen belastbare Rohdaten für die spätere ÖPNV-bezogene Aufbereitung liefert.
- Dokumentation von Datenlücken, Signalunterbrechungen, Plausibilitätsproblemen und technischen Auffälligkeiten.
- Möglichkeit zur technischen Qualitätssicherung der erfassten GPS-Daten.
- Nutzung von Beacon Erfassungen zur Verbesserung der Erhebungsdaten
- Keine Nutzung der Beacons zur Aktivierung der Erhebung
- Aktivierung der Erhebung durch Gyroskop (Fitnessdaten) oder GPS-Daten.

Die Feldtests dienen ausdrücklich der Bewertung von Funktionsfähigkeit, Stabilität, Datenqualität und Ergebnislösung GPS-basierter Verfahren unter Realbedingungen.

#### 5. Funktionale Anforderungen an Konnektivität zu Beacon-Systemen und Hintergrundsystemen

- Technische Anschlussfähigkeit der App an Beacon-bezogene Hintergrundinformationen (Beacon Management).
- Fähigkeit zur interoperablen Zusammenarbeit mit einem zentralen Beacon-Management-System im Hintergrund, ohne dass Los 1 selbst das Beacon-Management-System bereitstellt.
- Unterstützung standardisierter oder projektspezifisch definierter Schnittstellen für den Austausch von Beacon-bezogenen Status-, Zuordnungs- oder Konfigurationsinformationen.

- Möglichkeit, Beacon-bezogene Zusatzinformationen im Backend oder in der Verarbeitungslogik zu berücksichtigen, wenn dies für Vergleichsauswertungen oder Qualitätsverbesserungen erforderlich ist.
- Sicherstellung, dass die GPS-App in gemischten Feldtestdesigns nicht isoliert, sondern in das technische Gesamtsystem integrierbar ist.
- Die App muss BLE-Beacon-Signale mindestens im iBeacon- und/oder AltBeacon-Format erkennen und verarbeiten können, auch wenn die Beacons von unterschiedlichen Herstellern (Los 3) stammen.
- Die App muss über eine standardisierte REST-API (JSON) Beacon-Zuordnungsdaten vom Beacon-Management-System (Los 3) beziehen können. Die bereitzustellenden Zuordnungsdaten umfassen mindestens: Beacon-ID, Fahrzeugkennung, Linien- bzw. Betreiberzuordnung und Aktivierungsstatus.
- Die App muss die vom Beacon-Management-System bereitgestellte Beacon-Whitelist oder Zuordnungstabelle verarbeiten und für die Erhebungslogik nutzen können.
- Die Kompatibilität der App mit mindestens zwei verschiedenen Beacon-Hardwareherstellern muss im Rahmen von Integrationstests nachgewiesen werden.

#### 6. Funktionale Anforderungen an Datenübertragung und Daten-Upload

- Bereitstellung eines sicheren Mechanismus zum Upload der erfassten Rohdaten und Metadaten an definierte Backend-Systeme.
- Unterstützung zuverlässiger Datenübertragung auch bei unterbrochener oder instabiler Netzverbindung.
- Zwischenspeicherung (Pufferung) lokal erfasster Daten bis zur erfolgreichen Übertragung.
- Sicherstellung, dass Datenverluste, Doppelübertragungen oder inkonsistente Upload-Zustände vermieden bzw. erkannt werden.
- Protokollierung von Upload-Status, Synchronisationsfehlern und Wiederholungsversuchen.
- Technische Trennung zwischen Rohdaten, abgeleiteten Daten und darzustellenden Fachergebnissen, soweit dies für Datenschutz und Qualitätssicherung erforderlich ist.
- Möglichkeit der konfigurierbaren Upload-Strategie (z. B. nur WLAN, bei ausreichender Akkukapazität, zeitgesteuert), soweit feldtestseitig erforderlich.

#### 7. Anforderungen an den Auswertungsalgorithmus und die fachliche Aufbereitung

- Mit der App bzw. dem zugehörigen System muss ein Auswertungsalgorithmus bereitgestellt werden, der die erfassten Rohdaten in fachlich nutzbare Erhebungsdaten für den ÖPNV überführt.
- Der Algorithmus muss insbesondere der Erkennung, Segmentierung und fachlichen Einordnung von Fahrten, Wegen, Umstiegen und Verkehrsmitteln dienen.
- Der Algorithmus muss geeignet sein, aus Rohbewegungsdaten belastbare Erhebungsdaten für die Nutzung des öffentlichen Verkehrs abzuleiten.
- Die Verarbeitungslogik muss nachvollziehbar dokumentiert und in ihren wesentlichen Parametern beschreibbar sein.
- ÖV-Wegekette müssen von erster bis letzter ÖV-Teilstrecke erkennbar sein
- Umsteige-Modi bei ÖV-Wegekette müssen erfasst werden und erkennbar sein.

- Es muss eine Möglichkeit zur Qualitätssicherung, Parametrisierung und Weiterentwicklung des Algorithmus während der Feldtestphasen bestehen.
- Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass die Verarbeitungsergebnisse für die Anforderungen der Feldtests verwendbar sind, insbesondere für Analysen zur Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung und Datenqualität.
- Der Auftragnehmer muss Mechanismen zur Plausibilisierung, Fehlererkennung und Kennzeichnung unsicherer Ergebnisse vorsehen.
- Soweit erforderlich, muss der Algorithmus unterschiedliche regionale Rahmenbedingungen und technische Feldtestszenarien unterstützen.
- Für jede erfasste Fahrt bzw. Wegekette sind mindestens folgende Datenpunkte bereitzustellen:
  - Pseudonymisierte Nutzer-ID: eindeutige, pseudonymisierte Kennung des Testnutzers gemäß dem projektweiten Pseudonymisierungskonzept
  - Erhebungszeitraum: Zeitstempel von Start und Ende der Erhebung
  - GPS-Positionsdaten: Koordinatenpaare (Breitengrad, Längengrad), mindestens alle 5 Sekunden erfasst, ergänzt um den horizontalen Genauigkeitswert (Accuracy) je Messpunkt in Metern
  - Erkannte Fahrt (Trip): segmentierte Fahrt mit Start- und End-Zeitstempel, Start- und End-Haltestelle, Linie und Richtung
  - Verkehrsmittelzuordnung: zugeordneter Verkehrsträger je Fahrtsegment (z. B. Bus, U-Bahn, S-Bahn, Regionalverkehr, Tram, Fähre)
  - Wegekette: vollständige ÖV-Wegekette von erster bis letzter ÖV-Teilstrecke, einschließlich erkannter Umstiege, Umsteigemodi und Zeitstempel
  - Fahrplan-Matching-Ergebnis: Zuordnung der erkannten Fahrt zu einer Soll-Fahrt aus dem Fahrplan (GTFS trip\_id, route\_id, stop\_id)
  - Haltestellenkennung: Ein- und Ausstiegshaltestelle als DHID-Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnung
  - Beacon-Erkennungsdaten, sofern ein Beacon-Signal empfangen wurde: Beacon-ID (UUID/Major/Minor), Zeitstempel der Erkennung, Signalstärke (RSSI) und zugeordnete Fahrzeugkennung
  - Erhebungsmodus: Kennzeichnung, ob die Erhebung im Modus GPS-only, GPS mit Beacon-Unterstützung oder interpoliert erfolgte
  - Qualitätsflags: Kennzeichnung unsicherer Ergebnisse, Datenlücken, Signalunterbrechungen und Plausibilitätsprobleme
  - Fehlerklassifikation: Kategorisierung erkannter Abweichungen (z. B. falsche Verkehrsmittelzuordnung, fehlende Fahrterkennung, GPS-Ausfall)
  - Geräte-Metadaten: Betriebssystem (iOS/Android), OS-Version, Gerätemodell und App-Version
  - Zuordnung zur Feldtestregion (HVV, MDV, RMV, VRR, VVV) und Verkehrsunternehmen (wenn Information vorliegend)
  - Profitester-Kennzeichen: Flag, ob die Erhebung von einem Profitester oder einem Stichprobenteilnehmer stammt
  - Korrektur Flag: Flag, ob die Fahrt durch den Nutzenden angepasst wurde.
- Für den Datenaustausch mit AP 1 sind folgende Formate vorzusehen oder mit den Projektbeteiligten auf ein anderes Format zu einigen:
  - Erhebungsdaten: JSON gemäß projektspezifisch abgestimmtem Schema



- Fahrplanbezüge: GTFS (General Transit Feed Specification) und, soweit verfügbar, GTFS-RT für Echtzeitdaten
- Geodaten: GeoJSON gemäß RFC 7946
- Haltestellendaten: DHID (Deutschlandweite Haltestellenkennung) als Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnungen
- Zeitstempel: ISO 8601 (UTC mit Zeitzoneangabe)
- Koordinatenreferenz: WGS 84 (EPSG:4326)
- Schnittstelle: dokumentierte REST-API mit JSON-Datenformat, authentifiziert über OAuth 2.0 oder ein gleichwertiges standardisiertes Verfahren
- Die Datenbereitstellung an AP 1 erfolgt über die dokumentierte REST-API. Der Auftragnehmer stellt sicher, dass die Daten mindestens täglich in aggregierter Form abrufbar sind und auf Anfrage als Einzeldatensätze bereitgestellt werden können.
- Für die Profitester-Referenzdaten ist eine gesonderte Exportfunktion bereitzustellen, die eine direkte Gegenüberstellung mit den Beacon-gestützten Erhebungsdaten aus Los 2 ermöglicht. Der Auftragnehmer muss die Kompatibilität seiner Datenbereitstellung mit den genannten Formaten im Rahmen der losübergreifenden Integrationstests nachweisen.

## 8. Schnittstellen zu Fahrplan- und ÖPNV-Daten

- Herstellung von Schnittstellen zu gängigen Fahrplan- und ÖPNV-Datenquellen, soweit diese für die fachliche Verarbeitung der Rohdaten erforderlich sind.
- Unterstützung des Matchings zwischen Bewegungsdaten und Fahrplaninformationen.
- Berücksichtigung marktüblicher bzw. projektspezifisch vorgegebener Datenformate und Austauschstandards.
- Möglichkeit zur Einbindung von Soll-Fahrplandaten, Linieninformationen, Haltestelleninformationen, Umlauf- oder sonstigen fachlich erforderlichen Referenzdaten.
- Sicherstellung, dass die fachliche Verarbeitung auf Basis aktueller, konsistenter und referenzierbarer Fahrplandaten erfolgen kann.
- Dokumentation der verwendeten Schnittstellen, Formate und Abhängigkeiten.
- Gewährleistung, dass die App bzw. das zugehörige Backend mit den für die Feldtests relevanten Verkehrs- und Fahrplandaten interoperabel ist.
- Für den Datenaustausch sind folgende Formate verbindlich vorzusehen:
  - Fahrplandaten: GTFS (General Transit Feed Specification) und, soweit verfügbar, GTFS-RT für Echtzeitdaten
  - Geodaten: GeoJSON gemäß RFC 7946
  - Erhebungsdaten: JSON gemäß projektspezifisch abgestimmtem Schema
  - Haltestellendaten: DHID (Deutschlandweite Haltestellenkennung) als Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnungen
  - Zeitstempel: ISO 8601 (UTC mit Zeitzoneangabe)
  - Koordinatenreferenz: WGS 84 (EPSG:4326) Der Auftragnehmer muss die Kompatibilität seiner Lösung mit den genannten Formaten im Rahmen der Integrationstests nachweisen.
  - Die App sollte dem Barrierefreiheitsstärkungsgesetz entsprechen (Normen EN301549)

## 9. Datenschutzerfordernisse und rechtliche Anforderungen

- Einhaltung sämtlicher geltender datenschutzrechtlicher Anforderungen nach deutschem und europäischem Recht.
- Umsetzung der projektweiten Datenschutzerfordernissen, einschließlich der durch Arbeitspaket 4 konkretisierten Vorgaben. Auch im Projektverlauf aufkommende Anforderungen.
- Berücksichtigung der Grundsätze der Datensparsamkeit, Zweckbindung, Privacy by Design und Privacy by Default.
- Unterstützung von Einwilligungsmanagement, Widerruf, Löschanforderungen, Speicherfristen und Protokollierung datenschutzrelevanter Prozesse.
- Umsetzung technischer und organisatorischer Maßnahmen zur Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Belastbarkeit der Systeme.
- Sicherstellung, dass nur diejenigen Daten erhoben, verarbeitet, übertragen und angezeigt werden, die für den Feldtestzweck erforderlich sind.
- Fachliche und technische Begrenzung der Anzeige und Weitergabe auf ÖPNV-relevante Erhebungsinformationen.
- Unterstützung von Pseudonymisierungskonzepten und rollenbasierten Zugriffskonzepten.
- Dokumentation aller datenschutzrelevanten Verarbeitungen, Schnittstellen und technischen Schutzmaßnahmen.

#### 10. Anforderungen an IT-Sicherheit und Informationssicherheit

- Verschlüsselung sensibler Daten bei Übertragung und Speicherung.
- Absicherung von Schnittstellen, APIs, Backend-Zugängen und Administrationsfunktionen.
- Umsetzung eines rollenbasierten Berechtigungs- und Zugriffskonzepts.
- Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse, Änderungen und Zugriffe.
- Nachvollziehbarkeit von Sicherheitsvorfällen und Unterstützung eines geregelten Incident-Handlings.
- Schutz vor unbefugtem Zugriff, Manipulation, Missbrauch und unzulässiger Offenlegung.
- Berücksichtigung von Anforderungen an Integrität über Systemgrenzen hinweg.
- Sichere Verwaltung von Konfigurationen, Zertifikaten, Tokens und Schlüsseln.
- Unterstützung revisionssicherer und nachvollziehbarer technischer Betriebsprozesse.

#### 11. Funktionale Anforderungen an die Datenerfassung

Die Erhebungs-App muss folgende technische Mindestanforderungen erfüllen:

- GPS-Erfassungsgenauigkeit:
  - Die App muss unter offenen Himmelsbedingungen eine horizontale Positionsgenauigkeit von  $\leq 15$  m (CEP50) erreichen.
  - Bei eingeschränkten Empfangsbedingungen (urbane Schluchten, Haltestellenbereiche) muss die App geeignete Kompensationsmechanismen (z. B. Zellortung, WLAN-Fingerprinting, Sensorfusion) einsetzen, um die Positionsbestimmung zu stabilisieren.
- Energieverbrauch:

- Der durch die App verursachte zusätzliche Akkuverbrauch darf im aktiven Erhebungsmodus 8 % der Gesamtakkukapazität pro Stunde nicht überschreiten (gemessen auf einem marktüblichen Referenzgerät mit  $\geq 3.500$  mAh Akkukapazität).
- Im Hintergrundmodus (Standby / Bewegungserkennung ohne aktive Erhebung) darf der zusätzliche Verbrauch 2 % pro Stunde nicht überschreiten.
- Erfassungsintervall und Abtastrate:
  - GPS-Positionen müssen im aktiven Erhebungsmodus mindestens alle 5 Sekunden erfasst werden.
  - Der Auftragnehmer muss die Abtastraten innerhalb definierter Bandbreiten konfigurierbar gestalten.
- Lokale Zwischenspeicherung:
  - Die App muss Erhebungsdaten lokal für mindestens 72 Stunden zwischenspeichern können, ohne dass Datenverlust eintritt.
  - Der lokale Speicherbedarf der App (ohne Erhebungsdaten) darf 200 MB nicht überschreiten.
- App-Größe und Gerätekompatibilität:
  - Die initiale Download-Größe der App darf 80 MB nicht überschreiten.
  - Die App muss auf Endgeräten mit mindestens 3 GB RAM und den unter den übergreifenden Kompatibilitätsanforderungen genannten Betriebssystemversionen lauffähig sein.
- Verfügbarkeit und Reaktionszeit:
  - Die Backend-Systeme der App müssen eine Verfügbarkeit von mindestens 99,0% im Monatsmittel gewährleisten (geplante Wartungsfenster ausgenommen).
  - Der Upload erfasster Daten muss bei stabiler Netzverbindung innerhalb von 60 Sekunden nach Übertragungsinitiierung abgeschlossen sein (für typische Tageserhebungen  $\leq 5$  MB).

## 12. Interoperabilität, Modularität und technische Integration

- Sicherstellung der Interoperabilität mit den übrigen Komponenten der technischen Erhebungsinfrastruktur.
- Unterstützung standardisierter, dokumentierter und stabiler Schnittstellen.
- Möglichkeit zur Anbindung an zentrale oder regionale Anwendungen, soweit dies im Projekt vorgesehen ist.
- Bereitstellung eines SDK oder einer vergleichbaren Integrationsmöglichkeit, soweit dies projektspezifisch für regionale Anwendungen gefordert wird. Das beigefügte Dokument beschreibt ausdrücklich, dass neben einer zentralen App auch ein SDK zur Integration in regionale Apps vorgesehen sein kann.
- Kompatibilität mit Backend-Systemen, Analysekomponenten, Ticketdatenbank-nahen Prozessen sowie mit weiteren projektseitigen Systemen.
- Unterstützung einer losübergreifenden Integration mit Beacon-Hardware und Beacon-Management-System.
- Dokumentation aller Schnittstellen und Integrationsvoraussetzungen.

### 13. Anforderungen an Betriebsfähigkeit, Monitoring und Qualitätssicherung

- Sicherstellung eines stabilen Produktivbetriebs während aller relevanten Feldtestphasen.
- Einrichtung von Monitoring-Mechanismen für App-Verfügbarkeit, Upload-Verhalten, Fehlerzustände, Datenqualität und Performance.
- Bereitstellung von Betriebs- und Fehlerprotokollen.
- Unterstützung der Analyse von Ausfällen, Datenlücken und Fehlkonfigurationen.
- Möglichkeit zur Versionierung, kontrollierten Ausbringung und Rücknahme von Releases.
- Durchführung von Tests vor Produktivsetzung neuer Versionen.
- Unterstützung eines geregelten Incident-, Problem- und Change-Managements.
- Bereitstellung fachlicher und technischer Kennzahlen zum Betrieb.
- Unterstützung der projektweiten Qualitätssicherung.

### 14. Anforderungen an Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit

- Auslegung der Lösung aufsteigende Nutzerzahlen, Datenmengen und regionale Ausweitung.
- Technische Skalierbarkeit von App, Backend, Upload-Prozessen und fachlicher Datenverarbeitung.
- Berücksichtigung einer möglichen späteren Übertragbarkeit in einen größeren oder bundesweiten Einsatzkontext.
- Möglichkeit zur Erweiterung der Lösung um zusätzliche Funktionen, Schnittstellen oder regionale Besonderheiten.
- Sicherstellung, dass die Lösung nicht nur für einen isolierten Piloten, sondern für belastbare Feldtests mit mehreren Ausbaustufen geeignet ist.
- Die Bewertung von Wirtschaftlichkeit, Skalierbarkeit und Eignung für einen möglichen späteren Rollout ist im beigefügten Dokument ausdrücklich vorgesehen.

### 15. Anforderungen an Dokumentation, Nachvollziehbarkeit und Übergabe

- Erstellung einer vollständigen technischen und fachlichen Dokumentation der Lösung.
- Beschreibung der Systemarchitektur, Datenflüsse, Schnittstellen, Verarbeitungslogiken und Betriebsprozesse.
- Dokumentation des Auswertungsalgorithmus in einer für Auftraggeber und angrenzende Arbeitspakete nachvollziehbaren Form.
- Dokumentation der Datenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen.
- Dokumentation der Konfigurationen, Versionen und Änderungen über die Projektlaufzeit hinweg.
- Bereitstellung von Betriebs-, Support- und Administrationsdokumentation.
- Unterstützung von Übergaben an Auftraggeber oder angrenzende Leistungserbringer.

### 16. Abnahmekriterien und Testverfahren

Die Abnahme der App erfolgt in zwei Stufen:

- Technische Abnahme (vor Feldtestbeginn):
  - Funktionsfähigkeit aller in der Leistungsbeschreibung definierten
  - Funktionen auf mindestens je zwei Referenzgeräten (iOS, Android)

- Nachweis der korrekten GPS-Erfassung / Beacon-Erkennung durch
- Testfahrten auf mindestens drei ÖPNV-Linien in einer Testregion
- Erfolgreicher Daten-Upload und korrekte Verarbeitung im Backend
- Nachweis der Schnittstellenfunktionalität zum BMS (Los 3)
- und zu Fahrplandaten
- Nachweis der Einhaltung der White-Label-Brandingvorgaben
- Nachweis der Datenschutzkonformität gemäß Datenschutzkonzept
- Fehlerfreiheit hinsichtlich kritischer Fehler (Severity 1 und 2)
- Dokumentation etwaiger bekannter Einschränkungen (Known Issues)
- Fachliche Abnahme (nach Abschluss einer definierten Testphase):
  - Nachweis einer Datenerhebungsquote von mindestens 85 % der
  - erwarteten Erhebungstage pro aktivem Testnutzer
  - Nachweis einer Fahrterkennung mit einer Trefferquote von
  - mindestens 80 % (bezogen auf Profitester-Referenzfahrten)
  - Nachweis der Verkehrsmittelzuordnung mit einer Genauigkeit
  - von mindestens 75 %
  - Maximale Fehlerquote bei Daten-Uploads:  $\leq 2$  % fehlgeschlagene
  - oder inkonsistente Übertragungen
  - Nachweis der Einhaltung der SLA-Kennzahlen (Verfügbarkeit,
  - Reaktionszeiten)

Der Auftraggeber behält sich vor, die Schwellenwerte auf Basis der Erfahrungen aus Phase 1 für nachfolgende Phasen anzupassen.

Der Auftragnehmer muss ein Testkonzept vorlegen, das mindestens folgende Testarten umfasst:

- Funktionale Tests (Unit-, Integrations-, End-to-End-Tests)
- Kompatibilitätstests (Geräte, Betriebssysteme)
- Performancetests (Last, Stress)
- Sicherheitstests (Penetration, Vulnerability Scan)
- Feldtests unter Realbedingungen (mindestens 2 Wochen vor Produktivstart)

Lieferobjekte

- Mindestens monatliche Projektstatus und Steuerungsberichte im Lenkungskreis oder vergleichbarem Gremium
- betriebsbereite GPS-basierte Erhebungs-App als White-Label-Lösung gemäß den Brandingvorgaben des Auftraggebers
- zugehörige Backend- und Upload-Funktionalität,
- dokumentierter Auswertungsalgorithmus zur Aufbereitung der Rohdaten zu ÖPNV-relevanten Erhebungsdaten,
- dokumentierte Schnittstellen zu Fahrplan- und Referenzdaten,
- dokumentierte Schnittstellen zur Anbindung an Registrierungs-/Anmeldeprozesse und Hintergrundsysteme,
- Datenschutz- und IT-Sicherheitskonzept für die Lösung,
- Betriebs-, Support- und Monitoringkonzept,

- technische Systemdokumentation,
- Release- und Versionskonzept,
- Test- und Abnahmekonzept,
- regelmäßige Statusberichte zu Betrieb, Qualität, Fehlern und Weiterentwicklungen.

#### Budget

- Die genannten Leistungen sind in einem maximalen Budget von 300.000 EUR zu erbringen

## 5.4. LOS 2: Erhebungs-App – Beacon-basierte Aktivierungsmethode (Sekundärverfahren)

### 5.4.1. Ziel der Leistung

Ziel der Leistung ist die Bereitstellung, der Betrieb und die Weiterentwicklung einer Beacon-basierten Erhebungs-App zur smartphonegestützten Nutzungsdatenerfassung im öffentlichen Personennahverkehr im Rahmen der Feldtests zur nutzungsbasierten Einnahmeaufteilung des Deutschlandtickets. Die Lösung muss geeignet sein, Fahrten im öffentlichen Verkehr auf Grundlage einer Beacon-gestützten Erhebungslogik unter Realbedingungen zu erfassen, technisch belastbar aufzubereiten und in einer Form bereitzustellen, die eine valide Bewertung der Ergebnislage, der Fahrterkennung, der Verkehrsmittelzuordnung sowie des Mehrwerts der Beacon-Technologie im Feldtest ermöglicht. Die Feldtests sehen ausdrücklich den Einsatz und Vergleich Beacon-gestützter Verfahren in unterschiedlichen Ausstattungsgraden und regionalen Szenarien vor.

Die Leistung ist so zu erbringen, dass die Erhebung durch das Zusammenspiel aus Bewegungsdaten des mobilen Endgeräts und der Detektion von in Fahrzeugen verbauten Bluetooth-Low-Energy-Beacons ausgelöst und fachlich verwertbar verarbeitet werden kann. Die Lösung muss in unterschiedliche regionale Testdesigns integrierbar sein und die Schnittstellen zu weiteren Komponenten des Gesamtprojekts – insbesondere zur Kundenansprache, zu Beacon-Hardware, zu einem Beacon-Management-System, zu Backend- und Auswertungssystemen sowie zu Fahrplan- und Referenzdaten – zuverlässig sicherstellen. Das beigefügte Dokument ordnet mobile Anwendungen, Beacon-Technologie und Beacon-Management ausdrücklich als zusammenhängende Bestandteile der technischen Erhebungsinfrastruktur ein.

Die Erhebungs-App ist als White-Label-Lösung bereitzustellen. Sie muss vollständig unter einer durch den Auftraggeber vorgegebenen neutralen Gestaltung betrieben werden können.

### 5.4.2. Leistungsumfang/Anforderungen

Der Auftragnehmer muss mit seiner Lösung folgende Anforderungen erfüllen:

(GPS beschreibt im Folgenden alle gängigen Ortungssysteme / GNSS)

#### 1. Allgemeine System- und Lösungsanforderungen

- Bereitstellung einer mobilen Erhebungs-App für die Nutzungsdatenerfassung auf marktüblichen mobilen Endgeräten.
- Sicherstellung eines stabilen und skalierbaren Betriebs der App über die gesamte Feldtestlaufzeit.
- Bereitstellung der App als produktiv nutzbare Feldtestlösung einschließlich zugehöriger Backend-Komponenten.
- Bereitstellung der App im Haupt App Store Apple und Google, explizit keine Entwicklungsumgebungen.
- Auslegung der Lösung auf den Einsatz in mehreren Testregionen mit unterschiedlichen technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen.
- Unterstützung eines phasenweisen Hochlaufs der Feldtests einschließlich Vorbereitung, Inbetriebnahme, Betrieb, Anpassung und Konsolidierung. Ein solches stufenweises Vorgehen ist im beigefügten Dokument ausdrücklich vorgesehen.

- Möglichkeit zur schrittweisen funktionalen Weiterentwicklung während der Projektlaufzeit.
- Sicherstellung der technischen Anschlussfähigkeit an weitere Lose und Arbeitspakete des Gesamtprojekts.
- Sicherstellung, dass die Lösung als Beacon-basiertes Erhebungssystem in ein Gesamtsetup mit Beacon-Hardware, Beacon-Management-System, Backend-Systemen und fachlicher Datenverarbeitung integriert betrieben werden kann. Mobile Anwendungen, Beacon-Technologie und Beacon-Management werden im Dokument ausdrücklich als zusammenhängende Bestandteile der technischen Erhebungsinfrastruktur beschrieben.
- Sicherstellung, dass die Lösung in Testregionen mit Teil- oder Vollausstattung mit Beacons sowie in gemischten Feldtestdesigns betrieben werden kann.

## 2. Funktionale Anforderungen an das User Interface und die Nutzerführung

- Bereitstellung eines intuitiven, verständlichen und barrierearmen User Interface für Testnutzende.
- Klare Nutzerführung für Registrierung, Anmeldung, Einwilligung, Aktivierung der Datenerfassung und Nutzung im Feldtest.
- Transparente Darstellung des Erhebungsstatus, insbesondere ob die App betriebsbereit ist, ob Bewegungs- und Bluetooth-Berechtigungen vorliegen und ob aktuell eine Beacon-basierte Erhebung aktiv ist.
- Verständliche Hinweise zu Bluetooth-Freigaben, Bewegungs-/Aktivitätserkennung, Standortfreigabe, Hintergrundnutzung, Energiesparmodi, Datenübertragung und Datenschutzeinstellungen.
- Nutzergerechte Darstellung der im Rahmen des Feldtests freigegebenen und aufbereiteten ÖPNV-relevanten Informationen.
- Sicherstellung, dass dem Nutzer in der fachlichen Sicht nur solche Wege, Fahrten oder Strecken angezeigt werden, die als ÖPNV-relevant klassifiziert und zur Erhebungslogik freigegeben sind.
- Sicherstellung, dass nicht dem öffentlichen Verkehr zuzuordnende Wegeabschnitte dem Nutzer nicht als fachliches Erhebungsergebnis dargestellt, nicht für fachliche Auswertungen geteilt und nicht unkontrolliert exportiert werden.
- Möglichkeit zur Anzeige technischer Hinweise, Fehlermeldungen und Hilfetexte in verständlicher Form.
- Bereitstellung einer nutzerseitigen Funktion zur Information über Support, Datenschutzinformationen und Einwilligungsstatus.
- Berücksichtigung unterschiedlicher Feldtestphasen in der Nutzerführung, z. B. Aktivierung oder Freischaltung bestimmter Funktionen erst in definierten Projektphasen. Der phasenweise Feldtestbetrieb ist im Dokument ausdrücklich vorgesehen.
- Möglichkeit zur Korrektur von falsch erhobenen Wegen und Wegeketten.
- Möglichkeit zur Freigabe und Bestätigung der Erhebungen durch den Nutzenden, Funktion muss deaktivierbar sein, so dass Daten automatisch freigegeben werden
- Die App muss als White-Label-Anwendung ausgeführt sein. Das visuelle Erscheinungsbild (u. a. Name der App, App-Icon, Farbschema, Logos, Start- und



Infoseiten) ist vollständig an ein zentrales, durch den Auftraggeber vorgegebenes Design anzupassen.

### 3. Funktionale Anforderungen an Registrierung, Anmeldung und Anbindung an die Kundenansprache

- Anschluss der App an den im vorgelagerten Arbeitspaket vorgesehenen Registrierungs-, Rekrutierungs- und Anmeldeprozess.
- Unterstützung einer eindeutigen technischen Übergabe aus den Prozessen der Kundenansprache in die App-Nutzung.
- Übernahme bzw. Weiterverarbeitung der im Rahmen der Teilnahme erforderlichen Registrierungs- und Identifikationsmerkmale gemäß Gesamtprozess.
- Unterstützung eines rechtskonformen Einwilligungsmanagements.
- Möglichkeit zur Abbildung unterschiedlicher Nutzergruppen, Testphasen oder regionaler Zuordnungen im Anmeldeprozess.
- Sichere Verknüpfung der App-Nutzung mit den für die Feldtests vorgesehenen Identifikations- oder Pseudonymisierungsmechanismen.
- Sicherstellung, dass Änderungen an Teilnahme- oder Berechtigungsstatus technisch nachvollziehbar und systemseitig umsetzbar sind.
- Unterstützung der in den Feldtests vorgesehenen Abhängigkeit zwischen Kundenansprache, App-Nutzung und Einwilligungsmanagement

### 4. Funktionale Anforderungen an die Beacon-basierte Datenerfassung

- Bereitstellung eines Beacon-basierten Erhebungsmechanismus zur Nutzungsdatenerfassung im ÖPNV.
- Nutzung von Bewegungsdaten des mobilen Endgeräts (z. B. Gyroskop / Fitnessdaten / Motion Activity), um zu erkennen, ob ein relevanter Bewegungszustand vorliegt und die App in einen überwachten Erhebungsmodus zu versetzen.
- Keine Aktivierung der Erhebung allein durch GPS.
- Aktivierung bzw. Start der Erhebung, sobald das mobile Endgerät bei vorliegender Bewegungsaktivität ein relevantes, im System bekanntes Bluetooth-Low-Energy-(BLE-)Beacon detektiert.
- Nutzung der in Fahrzeugen fest verbauten BLE-Beacons als zentrales Erkennungsmerkmal für den Start einer Erhebung.
- Möglichkeit, nach Detektion eines relevanten Beacons die Erhebung um zusätzliche Sensordaten – insbesondere Standortdaten – zu ergänzen, soweit dies für die fachliche Aufbereitung erforderlich und datenschutzrechtlich zulässig ist.
- Beendigung bzw. Übergang der Erhebung in einen inaktiven Zustand, wenn relevante Beacons nicht mehr detektiert werden und nachgelagerte Regeln zur Fahrterkennung keine weitere aktive ÖPNV-Fahrt mehr annehmen lassen.
- Sicherstellung, dass Beacon-Signale zur Verbesserung der Erhebungsdaten genutzt werden.
- Sicherstellung, dass Beacons nicht lediglich als Qualitätssignal, sondern als wesentliche Komponente der Erhebungslogik verwendet werden.
- Unterstützung einer robusten Erfassung im realen Feldbetrieb trotz wechselnder Signalstärken, Überlagerungen, kurzen Signalabbrüchen und typischen Störungen des mobilen Betriebs.

- Erkennung relevanter Fahrten, Wege, Umstiege und Fahrzeugkontakte als Grundlage der späteren fachlichen Aufbereitung.
- Konfigurierbarkeit der Erfassungsparameter, insbesondere im Hinblick auf Bewegungserkennung, Beacon-Erkennung, Start-/Stop-Logik, Zeitfenster, Signalstärken und Qualitätsparameter, soweit technisch und datenschutzrechtlich zulässig.
- Die App muss BLE-Beacon-Signale ab einer Signalstärke von mindestens -90 dBm (RSSI) zuverlässig erkennen können.
- Die App muss in der Lage sein, Beacons mit konfigurierbaren Advertising-Intervallen zu erkennen. Der empfohlene Bereich liegt zwischen 100 ms und 1.000 ms.
- Die App muss Beacons im iBeacon- und/oder AltBeacon-Format unterstützen und darf nicht auf ein proprietäres Format beschränkt sein.
- Die App muss bei gleichzeitiger Erkennung mehrerer Beacons (Multi-Beacon-Szenarien, z. B. bei Umsteigesituationen oder in Haltestellenbereichen mit mehreren Fahrzeugen) eine stabile und priorisierte Zuordnung zum aktuell genutzten Fahrzeug sicherstellen.
- Der Auftragnehmer muss die Kompatibilität seiner App mit mindestens zwei verschiedenen Beacon-Hardwaretypen aus Los 3 im Rahmen von Integrationstests nachweisen.
- Sicherstellung, dass die Beacon-basierte Erfassung unter Realbedingungen belastbare Rohdaten für die spätere ÖPNV-bezogene Aufbereitung liefert.
- Dokumentation von Datenlücken, Signalunterbrechungen, fehlenden Beacon-Erkennungen, Plausibilitätsproblemen und technischen Auffälligkeiten.
- Möglichkeit zur technischen Qualitätssicherung der erfassten Beacon- und Bewegungsdaten.
- Das beigelegte Dokument beschreibt ausdrücklich den Einsatz von Beacon-Technologie zur Verbesserung der Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung und Datengüte sowie ihre Einbettung in die technische Erhebungsinfrastruktur.

## 5. Funktionale Anforderungen an Konnektivität zu Beacon-Systemen und Hintergrundsystemen

- Technische Anschlussfähigkeit der App an Beacon-bezogene Hintergrundinformationen und das zentrale Beacon-Management-System.
- Fähigkeit zur interoperablen Zusammenarbeit mit einem zentralen Beacon-Management-System im Hintergrund, ohne dass Los 2 selbst das Beacon-Management-System bereitstellt.
- Unterstützung standardisierter oder projektspezifisch definierter Schnittstellen für den Austausch von Beacon-bezogenen Status-, Zuordnungs-, Identifikations- oder Konfigurationsinformationen.
- Möglichkeit, Beacon-bezogene Zusatzinformationen im Backend oder in der Verarbeitungslogik zu berücksichtigen, wenn dies für Vergleichsauswertungen, Qualitätsverbesserungen oder Fehleranalysen erforderlich ist.
- Unterstützung der Zuordnung detektierter Beacons zu Fahrzeugen, Linien, Fahrzeugtypen oder weiteren fachlich erforderlichen Referenzelementen, soweit diese Zuordnungsinformationen zentral bereitgestellt werden.

- Sicherstellung, dass die App in gemischten Feldtestdesigns nicht isoliert, sondern in das technische Gesamtsystem integrierbar ist.
- Unterstützung der rückgekoppelten Verwaltung von Beacon-relevanten Informationen über ein herstellerunabhängiges Beacon-Management-System. Im Dokument wird ein Beacon-Management-System ausdrücklich als Teil der technischen Infrastruktur genannt.
- Die App muss über eine standardisierte REST-API (JSON) Beacon-Zuordnungsdaten vom Beacon-Management-System (Los 3) beziehen können. Die bereitzustellenden Zuordnungsdaten umfassen mindestens: Beacon-ID, Fahrzeugkennung, Linien- bzw. Betreiberzuordnung und Aktivierungsstatus.
- Die Aktualisierung der Beacon-Zuordnungsdaten in der App muss in einem konfigurierbaren Intervall erfolgen. Empfohlen wird eine Aktualisierung mindestens einmal täglich. Ergänzend soll eine ereignisbasierte Aktualisierung unterstützt werden.
- Die App muss mit Beacon-Hardware unterschiedlicher Hersteller aus Los 3 kompatibel sein, ohne dass herstellereigenspezifische SDKs oder proprietäre Bibliotheken zwingend erforderlich sind.

## 6. Funktionale Anforderungen an Datenübertragung und Daten-Upload

- Bereitstellung eines sicheren Mechanismus zum Upload der erfassten Rohdaten und Metadaten an definierte Backend-Systeme.
- Unterstützung zuverlässiger Datenübertragung auch bei unterbrochener oder instabiler Netzverbindung.
- Zwischenspeicherung (Pufferung) lokal erfasster Daten bis zur erfolgreichen Übertragung.
- Sicherstellung, dass Datenverluste, Doppelübertragungen oder inkonsistente Upload-Zustände vermieden bzw. erkannt werden.
- Protokollierung von Upload-Status, Synchronisationsfehlern und Wiederholungsversuchen.
- Technische Trennung zwischen Rohdaten, abgeleiteten Daten und darzustellenden Fachergebnissen, soweit dies für Datenschutz und Qualitätssicherung erforderlich ist.
- Möglichkeit der konfigurierbaren Upload-Strategie (z. B. nur WLAN, bei ausreichender Akkukapazität, zeitgesteuert), soweit feldtestseitig erforderlich.
- Gesonderte Berücksichtigung von Beacon-Erkennungsereignissen, Bewegungs-/Aktivitätsdaten und gegebenenfalls ergänzenden Standortdaten in der Upload-Logik.

## 7. Anforderungen an den Auswertungsalgorithmus und die fachliche Aufbereitung

- Mit der App bzw. dem zugehörigen System muss ein Auswertungsalgorithmus bereitgestellt werden, der die erfassten Rohdaten in fachlich nutzbare Erhebungsdaten für den ÖPNV überführt.
- Der Algorithmus muss insbesondere der Erkennung, Segmentierung und fachlichen Einordnung von Fahrten, Wegen, Umstiegen und Verkehrsmitteln dienen.
- Der Algorithmus muss geeignet sein, aus Beacon-Erkennungen, Bewegungsdaten des mobilen Endgeräts und gegebenenfalls ergänzenden Standortdaten belastbare Erhebungsdaten für die Nutzung des öffentlichen Verkehrs abzuleiten.
- Die Verarbeitungslogik muss nachvollziehbar dokumentiert und in ihren wesentlichen Parametern beschreibbar sein.

- Es muss eine Möglichkeit zur Qualitätssicherung, Parametrisierung und Weiterentwicklung des Algorithmus während der Feldtestphasen bestehen.
- Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass die Verarbeitungsergebnisse für die Anforderungen der Feldtests verwendbar sind, insbesondere für Analysen zur Fahrterkennung, Verkehrsmittelzuordnung und Datenqualität.
- Der Auftragnehmer muss Mechanismen zur Plausibilisierung, Fehlererkennung und Kennzeichnung unsicherer Ergebnisse vorsehen.
- Der Algorithmus muss berücksichtigen, dass die fachliche Erhebung im Schwerpunkt Beacon-basiert erfolgt und nicht von einer kontinuierlichen GPS-Erhebung ausgeht.
- Soweit erforderlich, muss der Algorithmus unterschiedliche regionale Rahmenbedingungen und technische Feldtestszenarien unterstützen.
- Für jede erfasste Fahrt bzw. Wegekette sind mindestens folgende Datenpunkte bereitzustellen:
  - Pseudonymisierte Nutzer-ID: eindeutige, pseudonymisierte Kennung des Testnutzers gemäß dem projektweiten Pseudonymisierungskonzept
  - Erhebungszeitraum: Zeitstempel von Start und Ende der Erhebung
  - Beacon-Detektionseignisse: vollständige Liste aller erkannten Beacons je Fahrt, einschließlich Beacon-ID (UUID/Major/Minor), Zeitstempel der Erst- und Letzterkennung, RSSI-Werte (Signalstärke) sowie Dauer der Beacon-Sichtbarkeit
  - Aktivierungstrigger: Dokumentation des Erhebungsstarts, insbesondere ob die Aktivierung durch Bewegungserkennung (Gyroskop/Fitnessdaten) in Kombination mit Beacon-Detektion erfolgte
  - GPS-/Standortdaten (ergänzend): Koordinatenpaare (Breitengrad, Längengrad), sofern nach Beacon-Aktivierung zur Verbesserung der Erhebungsqualität erhoben, ergänzt um den Genauigkeitswert je Messpunkt
  - Erkannte Fahrt (Trip): segmentierte Fahrt mit Start- und End-Zeitstempel, Start- und End-Haltestelle, Linie und Richtung
  - Verkehrsmittelzuordnung: zugeordneter Verkehrsträger je Fahrtsegment (z. B. Bus, U-Bahn, S-Bahn, Regionalverkehr, Tram, Fähre)
  - Wegekette: vollständige ÖV-Wegekette von erster bis letzter ÖV-Teilstrecke, einschließlich erkannter Umstiege, Umsteigemodi und Zeitstempel
  - Fahrzeugzuordnung über Beacon: Zuordnung des erkannten Beacons zu Fahrzeugkennung, Linie und Betreiber auf Basis der Zuordnungsdaten aus dem Beacon-Management-System (Los 3)
  - Fahrplan-Matching-Ergebnis: Zuordnung der erkannten Fahrt zu einer Soll-Fahrt aus dem Fahrplan (GTFS trip\_id, route\_id, stop\_id)
  - Haltestellenkennung: Ein- und Ausstiegshaltestelle als DHID-Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnung
  - Multi-Beacon-Szenarien: Dokumentation von Situationen mit gleichzeitiger Erkennung mehrerer Beacons (z. B. in Umsteigebereichen oder an Haltestellen mit mehreren Fahrzeugen), einschließlich der angewendeten Priorisierungslogik
  - Ausstattungsgrad: Kennzeichnung, ob die Fahrt in einer voll-, teil- oder punktuell ausgestatteten Region erfasst wurde
  - Qualitätsflags: Kennzeichnung unsicherer Ergebnisse, fehlender Beacon-Erkennungen, Datenlücken und Signalunterbrechungen

- Fehlerklassifikation: Kategorisierung erkannter Abweichungen (z. B. falsche Fahrzeugzuordnung, verpasste Beacon-Erkennung, Signalüberlagerung)
- Geräte-Metadaten: Betriebssystem (iOS/Android), OS-Version, Gerätemodell, App-Version und BLE-Version des Endgeräts
- Zuordnung zur Feldtestregion (HVV, MDV, RMV, VRR, VVW) und Verkehrsunternehmen (wenn Information vorliegend)
- Profitester-Kennzeichen: Flag, ob die Erhebung von einem Profitester oder einem Stichprobenteilnehmer stammt
- Korrektur Flag: Flag, ob die Fahrt durch den Nutzenden angepasst wurde.
- Für den Datenaustausch mit AP 1 sind folgende Formate verbindlich vorzusehen:
  - Erhebungsdaten: JSON gemäß projektspezifisch abgestimmtem Schema
  - Beacon-Detektionsdaten: JSON (Beacon-ID, RSSI, Zeitstempel, Fahrzeugzuordnung)
  - Fahrplanbezüge: GTFS (General Transit Feed Specification) und, soweit verfügbar, GTFS-RT für Echtzeitdaten
  - Geodaten: GeoJSON gemäß RFC 7946
  - Haltestellendaten: DHID (Deutschlandweite Haltestellenkennung) als Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnungen
  - Zeitstempel: ISO 8601 (UTC mit Zeitzoneangabe)
  - Koordinatenreferenz: WGS 84 (EPSG:4326)
  - Schnittstelle: dokumentierte REST-API mit JSON-Datenformat, authentifiziert über OAuth 2.0 oder ein gleichwertiges standardisiertes Verfahren
- Die Datenbereitstellung an AP 1 erfolgt über die dokumentierte REST-API. Der Auftragnehmer stellt sicher, dass die Daten mindestens täglich abrufbar sind.
- Zusätzlich ist ein dedizierter Datenexport für Profitester-Vergleichssatzsätze bereitzustellen, der eine direkte Gegenüberstellung mit den GPS-only-Daten aus Los 1 ermöglicht. Der Auftragnehmer muss die Kompatibilität seiner Datenbereitstellung mit den genannten Formaten im Rahmen der losübergreifenden Integrationstests nachweisen.

## 8. Schnittstellen zu Fahrplan- und ÖPNV-Daten

- Herstellung von Schnittstellen zu gängigen Fahrplan- und ÖPNV-Datenquellen, soweit diese für die fachliche Verarbeitung der Rohdaten erforderlich sind.
- Unterstützung des Matchings zwischen Erhebungsdaten und Fahrplaninformationen.
- Berücksichtigung marktüblicher bzw. projektspezifisch vorgegebener Datenformate und Austauschstandards.
- Möglichkeit zur Einbindung von Soll-Fahrplandaten, Linieninformationen, Haltestelleninformationen, Umlauf- oder sonstigen fachlich erforderlichen Referenzdaten.
- Sicherstellung, dass die fachliche Verarbeitung auf Basis aktueller, konsistenter und referenzierbarer Fahrplandaten erfolgen kann.
- Dokumentation der verwendeten Schnittstellen, Formate und Abhängigkeiten.
- Gewährleistung, dass die App bzw. das zugehörige Backend mit den für die Feldtests relevanten Verkehrs- und Fahrplandaten interoperabel ist.
- Für den Datenaustausch sind folgende Formate verbindlich vorzusehen:

- Fahrplandaten: GTFS (General Transit Feed Specification) und, soweit verfügbar, GTFS-RT für Echtzeitdaten
- Geodaten: GeoJSON gemäß RFC 7946
- Erhebungsdaten: JSON gemäß projektspezifisch abgestimmtem Schema
- Haltestellendaten: DHID (Deutschlandweite Haltestellenkennung) als Referenzschlüssel, ergänzt um IFOPT-konforme Haltestellenbezeichnungen
- Zeitstempel: ISO 8601 (UTC mit Zeitzoneangabe)
- Koordinatenreferenz: WGS 84 (EPSG:4326) Der Auftragnehmer muss die Kompatibilität seiner Lösung mit den genannten Formaten im Rahmen der Integrationstests nachweisen.

## 9. Datenschutzerfordernisse und rechtliche Anforderungen

- Einhaltung sämtlicher geltender datenschutzrechtlicher Anforderungen nach deutschem und europäischem Recht.
- Umsetzung der projektweiten Datenschutzerfordernisse, einschließlich der durch Arbeitspaket 4 konkretisierten Vorgaben sowie im Projektverlauf zusätzlich konkretisierter Anforderungen.
- Berücksichtigung der Grundsätze der Datensparsamkeit, Zweckbindung, Privacy by Design und Privacy by Default.
- Unterstützung von Einwilligungsmanagement, Widerruf, Löschanforderungen, Speicherfristen und Protokollierung datenschutzrelevanter Prozesse.
- Umsetzung technischer und organisatorischer Maßnahmen zur Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Belastbarkeit der Systeme.
- Sicherstellung, dass nur diejenigen Daten erhoben, verarbeitet, übertragen und angezeigt werden, die für den Feldtestzweck erforderlich sind.
- Sicherstellung, dass Bewegungsdaten, Beacon-Erkennungen und gegebenenfalls ergänzende Standortdaten nur insoweit verarbeitet werden, wie dies für die fachliche Erhebung erforderlich ist.
- Fachliche und technische Begrenzung der Anzeige und Weitergabe auf ÖPNV-relevante Erhebungsinformationen.
- Unterstützung von Pseudonymisierungskonzepten und rollenbasierten Zugriffskonzepten.
- Dokumentation aller datenschutzrelevanten Verarbeitungen, Schnittstellen und technischen Schutzmaßnahmen.

## 10. Funktionale Anforderungen an die Datenerfassung

- GPS-Erfassungsgenauigkeit:
  - Die App muss unter offenen Himmelsbedingungen eine horizontale Positionsgenauigkeit von  $\leq 15$  m (CEP50) erreichen.
  - Bei eingeschränkten Empfangsbedingungen (urbane Schluchten, Haltestellenbereiche) muss die App geeignete Kompensationsmechanismen (z. B. Zellortung, WLAN-Fingerprinting, Sensorfusion) einsetzen, um die Positionsbestimmung zu stabilisieren.
- Energieverbrauch:

- Der durch die App verursachte zusätzliche Akkuverbrauch darf im aktiven Erhebungsmodus 8 % der Gesamtkapazität pro Stunde nicht überschreiten (gemessen auf einem marktüblichen Referenzgerät mit  $\geq 3.500$  mAh Akkukapazität).
- Im Hintergrundmodus (Standby / Bewegungserkennung ohne aktive Erhebung) darf der zusätzliche Verbrauch 2 % pro Stunde nicht überschreiten.
- Erfassungsintervall und Abtastrate:
  - GPS-Positionen müssen im aktiven Erhebungsmodus mindestens alle 5 Sekunden erfasst werden.
  - Der Auftragnehmer muss die Abtastraten innerhalb definierter Bandbreiten konfigurierbar gestalten.
- Lokale Zwischenspeicherung:
  - Die App muss Erhebungsdaten lokal für mindestens 72 Stunden zwischenspeichern können, ohne dass Datenverlust eintritt.
  - Der lokale Speicherbedarf der App (ohne Erhebungsdaten) darf 200 MB nicht überschreiten.
- App-Größe und Gerätekompatibilität:
  - Die initiale Download-Größe der App darf 80 MB nicht überschreiten.
  - Die App muss auf Endgeräten mit mindestens 3 GB RAM und den unter den übergreifenden Kompatibilitätsanforderungen genannten Betriebssystemversionen lauffähig sein.
- Verfügbarkeit und Reaktionszeit:
  - Die Backend-Systeme der App müssen eine Verfügbarkeit von mindestens 99,0 % im Monatsmittel gewährleisten (geplante Wartungsfenster ausgenommen).
  - Der Upload erfasster Daten muss bei stabiler Netzverbindung innerhalb von 60 Sekunden nach Übertragungsinitiierung abgeschlossen sein (für typische Tageserhebungen  $\leq 5$  MB).

## 11. Anforderungen an IT-Sicherheit und Informationssicherheit

- Verschlüsselung sensibler Daten bei Übertragung und Speicherung.
- Absicherung von Schnittstellen, APIs, Backend-Zugängen und Administrationsfunktionen.
- Umsetzung eines rollenbasierten Berechtigungs- und Zugriffskonzepts.
- Protokollierung sicherheitsrelevanter Ereignisse, Änderungen und Zugriffe.
- Nachvollziehbarkeit von Sicherheitsvorfällen und Unterstützung eines geregelten Incident-Handlings.
- Schutz vor unbefugtem Zugriff, Manipulation, Missbrauch und unzulässiger Offenlegung.
- Berücksichtigung von Anforderungen an Integrität über Systemgrenzen hinweg.
- Sichere Verwaltung von Konfigurationen, Zertifikaten, Tokens und Schlüsseln.
- Unterstützung revisionssicherer und nachvollziehbarer technischer Betriebsprozesse.

## 12. Interoperabilität, Modularität und technische Integration

- Sicherstellung der Interoperabilität mit den übrigen Komponenten der technischen Erhebungsinfrastruktur.
- Unterstützung standardisierter, dokumentierter und stabiler Schnittstellen.
- Möglichkeit zur Anbindung an zentrale oder regionale Anwendungen, soweit dies im Projekt vorgesehen ist.
- Bereitstellung eines SDK oder einer vergleichbaren Integrationsmöglichkeit, soweit dies projektspezifisch für regionale Anwendungen gefordert wird. Das beigefügte Dokument beschreibt ausdrücklich, dass neben einer zentralen App auch ein SDK zur Integration in regionale Apps vorgesehen sein kann.
- Kompatibilität mit Backend-Systemen, Analysekomponenten, Ticketdatenbank-nahen Prozessen sowie mit weiteren projektseitigen Systemen.
- Unterstützung einer losübergreifenden Integration mit Beacon-Hardware und Beacon-Management-System.
- Dokumentation aller Schnittstellen und Integrationsvoraussetzungen.

### 13. Anforderungen an Betriebsfähigkeit, Monitoring und Qualitätssicherung

- Sicherstellung eines stabilen Produktivbetriebs während aller relevanten Feldtestphasen.
- Einrichtung von Monitoring-Mechanismen für App-Verfügbarkeit, Bluetooth-/Beacon-Erkennung, Upload-Verhalten, Fehlerzustände, Datenqualität und Performance.
- Bereitstellung von Betriebs- und Fehlerprotokollen.
- Unterstützung der Analyse von Ausfällen, Datenlücken, Fehlkonfigurationen und Beacon-bezogenen Auffälligkeiten.
- Möglichkeit zur Versionierung, kontrollierten Ausbringung und Rücknahme von Releases.
- Durchführung von Tests vor Produktivsetzung neuer Versionen.
- Unterstützung eines geregelten Incident-, Problem- und Change-Managements.
- Bereitstellung fachlicher und technischer Kennzahlen zum Betrieb.
- Unterstützung der projektweiten Qualitätssicherung.
- Unterstützung kontrollierter Test- und Vergleichsszenarien, soweit diese im Feldtestbetrieb vorgesehen sind.

### 14. Anforderungen an Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit

- Auslegung der Lösung auf steigende Nutzerzahlen, Datenmengen und regionale Ausweitung.
- Technische Skalierbarkeit von App, Backend, Upload-Prozessen und fachlicher Datenverarbeitung.
- Berücksichtigung einer möglichen späteren Übertragbarkeit in einen größeren oder bundesweiten Einsatzkontext.
- Möglichkeit zur Erweiterung der Lösung um zusätzliche Funktionen, Schnittstellen oder regionale Besonderheiten.
- Sicherstellung, dass die Lösung nicht nur für einen isolierten Piloten, sondern für belastbare Feldtests mit mehreren Ausbaustufen geeignet ist.
- Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, Skalierbarkeit und Eignung für einen möglichen späteren Rollout. Diese Aspekte sind im Dokument ausdrücklich als Bewertungsdimensionen genannt.



## 15. Anforderungen an Dokumentation, Nachvollziehbarkeit und Übergabe

- Erstellung einer vollständigen technischen und fachlichen Dokumentation der Lösung.
- Beschreibung der Systemarchitektur, Datenflüsse, Schnittstellen, Verarbeitungslogiken und Betriebsprozesse.
- Dokumentation der Start-/Stop-Logik der Beacon-basierten Erhebung, einschließlich der Nutzung von Bewegungsdaten und Beacon-Detektionen.
- Dokumentation des Auswertungsalgorithmus in einer für Auftraggeber und angrenzende Arbeitspakete nachvollziehbaren Form.
- Dokumentation der Datenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen.
- Dokumentation der Konfigurationen, Versionen und Änderungen über die Projektlaufzeit hinweg.
- Bereitstellung von Betriebs-, Support- und Administrationsdokumentation.
- Unterstützung von Übergaben an Auftraggeber oder angrenzende Leistungserbringer.

## 16. Abnahmekriterien und Testverfahren

Die Abnahme der App erfolgt in zwei Stufen:

- Technische Abnahme (vor Feldtestbeginn):
  - Funktionsfähigkeit aller in der Leistungsbeschreibung definierten Funktionen auf mindestens je zwei Referenzgeräten (iOS, Android)
  - Nachweis der korrekten GPS-Erfassung / Beacon-Erkennung durch Testfahrten auf mindestens drei ÖPNV-Linien in einer Testregion
  - Erfolgreicher Daten-Upload und korrekte Verarbeitung im Backend
  - Nachweis der Schnittstellenfunktionalität zum BMS (Los 3) und zu Fahrplandaten
  - Nachweis der Einhaltung der White-Label-Brandingvorgaben
  - Nachweis der Datenschutzkonformität gemäß Datenschutzkonzept
  - Fehlerfreiheit hinsichtlich kritischer Fehler (Severity 1 und 2)
  - Dokumentation etwaiger bekannter Einschränkungen (Known Issues)
- Fachliche Abnahme (nach Abschluss einer definierten Testphase):
  - Nachweis einer Datenerhebungsquote von mindestens 85 % der erwarteten Erhebungstage pro aktivem Testnutzer
  - Nachweis einer Fahrterkennung mit einer Trefferquote von mindestens 80 % (bezogen auf Profitester-Referenzfahrten)
  - Nachweis der Verkehrsmittelzuordnung mit einer Genauigkeit von mindestens 75 %
  - Maximale Fehlerquote bei Daten-Uploads:  $\leq 2$  % fehlgeschlagene oder inkonsistente Übertragungen
  - Nachweis der Einhaltung der SLA-Kennzahlen (Verfügbarkeit, Reaktionszeiten)

Der Auftraggeber behält sich vor, die Schwellenwerte auf Basis der Erfahrungen aus Phase 1 für nachfolgende Phasen anzupassen.

Der Auftragnehmer muss ein Testkonzept vorlegen, das mindestens folgende Testarten umfasst:

- Funktionale Tests (Unit-, Integrations-, End-to-End-Tests)
- Kompatibilitätstests (Geräte, Betriebssysteme)
- Performancetests (Last, Stress)
- Sicherheitstests (Penetration, Vulnerability Scan)
- Feldtests unter Realbedingungen (mindestens 2 Wochen vor Produktivstart)

#### Lieferobjekte

- Mindestens monatliche Projektstatus und Steuerungsberichte im Lenkungskreis oder vergleichbarem Gremium
- betriebsbereite Beacon-basierte Erhebungs-App ist als White-Label-Lösung gemäß den Brandingvorgaben des Auftraggebers
- zugehörige Backend- und Upload-Funktionalität,
- dokumentierte Start-/Stop-Logik der Beacon-basierten Erhebung,
- dokumentierter Auswertungsalgorithmus zur Aufbereitung der Rohdaten zu ÖPNV-relevanten Erhebungsdaten,
- dokumentierte Schnittstellen zu Fahrplan- und Referenzdaten,
- dokumentierte Schnittstellen zur Anbindung an Registrierungs-/Anmeldeprozesse, Beacon-Hardware und Hintergrundsysteme,
- Datenschutz- und IT-Sicherheitskonzept für die Lösung,
- Betriebs-, Support- und Monitoringkonzept,
- technische Systemdokumentation,
- Release- und Versionskonzept,
- Test- und Abnahmekonzept,
- regelmäßige Statusberichte zu Betrieb, Qualität, Fehlern und Weiterentwicklungen.

#### Budget

- Die genannten Leistungen sind in einem maximalen Budget von 200.000 EUR zu erbringen

## 5.5. LOS 3: Beacon-Hardware und Beacon-Management-System

### 5.5.1. Ziel der Leistung

Ziel der Leistung ist die Beschaffung, Bereitstellung, Lieferung und unterstützte Inbetriebnahme von Beacon-Hardware im Rahmen eines Rahmenvertrags sowie die Bereitstellung, der Betrieb und die Weiterentwicklung eines herstellerunabhängigen Beacon-Management-Systems als zentrale Softwarelösung zur Verwaltung, Zuordnung, Konfiguration, Überwachung und technischen Einbindung der im Feldtest eingesetzten Beacon-Infrastruktur.

Die zu beschaffenden Beacons müssen geeignet sein, in unterschiedlichen regionalen Feldtestdesigns mit Vollausstattung, Teilausstattung oder punktuellern Einsatz eingesetzt zu werden und dabei die technische Grundlage für Beacon-gestützte Erhebungsverfahren im ÖPNV zu schaffen. Das Beacon-Management-System dient als verbindendes Steuerungs- und Verwaltungselement zwischen Beacon-Hardware, Tracking-Anwendungen, projektseitigen Backend-Systemen sowie den beteiligten Arbeitspaketen.

Die Leistung ist so zu erbringen, dass:

- die Beacon-Hardware einfach, schnell und ohne mechanische Veränderungen an den Fahrzeugen installiert, in das Beacon-Management-System eingebunden, in unterschiedlichen Regionen bedarfsgerecht abgerufen und nach Abschluss des Feldtests rückstandsfrei entfernt werden kann,
- der Rahmenvertrag neben der Hardwarebereitstellung auch abrufbare Unterstützungsleistungen für Installation, Einbindung, Dokumentation und Support vorsieht,
- das Beacon-Management-System so ausgestaltet ist, dass Beacons unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlicher regionaler Ausgangslagen in einer einheitlichen Systemlogik verwaltet werden können,
- das System sowohl für Testregionen mit Vollausstattung als auch für Regionen mit Teilausstattung oder punktueller Beacon-Nutzung geeignet ist und den phasenweisen Feldtestbetrieb gemäß Gesamtprojekt unterstützt.

Mengengerüst der auszustattenden Fahrzeuge:

	Bus	U-Bahn	Tram	Zug	Fähre	On Demand	Schwebelbahn	Stationen
MDV	1126 (1126)		423 (423)	1037 (1037)		??? (50)		
HVV	2830	289		999 (100)	26	???		
NITAG				240 (100)				
RMV				??? (80)				
VVV								??? (100)
VRR	1639		489				25	??? (50)

200  
(100)

Mengenangaben der Regionen  
Zielsetzung für Ausrüstung

Mengen können nach Bedarf im Feldtestverlauf  
verschoben werden

## 5.5.2. Leistungsumfang / Anforderungen

### A – Beacon-Hardware

#### 1. Allgemeine Anforderungen an den Rahmenvertrag und den Leistungsgegenstand

- Der Auftragnehmer erbringt sämtliche Leistungen zur Bereitstellung, Lieferung und unterstützten Einführung von Beacon-Hardware im Rahmen eines Rahmenvertrags.
- Die Abnahme erfolgt dezentral; das bedeutet, dass aus verschiedenen Regionen, Verbünden oder beteiligten Stellen einzelne Abrufe und Bestellungen auf den Rahmenvertrag erfolgen können.
- Der Rahmenvertrag muss so ausgestaltet sein, dass sowohl Hardwarekontingente als auch definierte Unterstützungsleistungen bedarfsgerecht abgerufen werden können.
- Die angebotene Hardware muss für den Einsatz in unterschiedlichen regionalen Testdesigns geeignet sein.
- Die Leistung ist auf mehrere Testregionen mit unterschiedlichen betrieblichen und organisatorischen Voraussetzungen auszulegen.
- Der Auftragnehmer muss die Leistung so erbringen, dass eine Integration in die technische Gesamtarchitektur des Feldtests möglich ist.

#### 2. Anforderungen an die Beacon-Hardware

- Die Beacons müssen mit Standardbatterien betrieben werden.
- Die Beacons müssen für den Einsatz in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs geeignet sein.
- Die Beacons müssen passive Beacons sein, die Signale aussenden, jedoch keine Signale empfangen können.
- Die Beacons müssen am Gerät aktivierbar sein (z. B. durch Einlegen der Batterie).
- Die Beacons müssen gegen Manipulation und Vandalismus geschützt sein.
- Technische Mindestspezifikationen:
  - Schutzklasse: mindestens IP54; Temperaturbereich -25 °C bis +70 °C
  - Batterielebensdauer: mindestens 60 Monate (5 Jahre) bei 300 ms Advertising-Intervall und 0 dBm TX-Power; zusätzlich Prognose für Dauerbetrieb über 10 Jahre
  - Signalreichweite: mindestens 10 Meter bei 0 dBm TX-Power unter typischen Fahrzeugbedingungen
  - Zertifizierungen: CE-Konformität (RED 2014/53/EU), EMV (EN 301 489), Funkeigenschaften (EN 300 328), Schienenfahrzeugeignung (EN 50155 oder gleichwertig), Brandschutz (EN 45545-2 oder gleichwertig)

- Skalierbarkeit: verbindliche Aussage zur Lieferfähigkeit bei bundesweitem Rollout (50.000–100.000 Beacons), Stückkostenindikation, Angaben zu Fertigungstiefe und Eigenentwicklungsanteil

### 3. Anforderungen an Funkstandard und Offenheit

- BLE auf offenem Standard (iBeacon, AltBeacon oder funktional vergleichbar); proprietäre Lösungen nicht zulässig.
- Mindestens BLE 4.2, BLE 5.0 oder höher bevorzugt.
- Konfigurierbares Advertising-Intervall (100 ms–1.000 ms, Standard 300 ms).
- Konfigurierbare TX-Power.
- UUID/Major/Minor-Kennung gemäß iBeacon-Standard oder funktional gleichwertige offene Identifikationsstruktur.
- Kompatibilitätsnachweis mit iOS ab Version 15 und Android ab API-Level 29.

### 4. Anforderungen an Installation und Rückbau

- Einfache, schnelle Installation ohne mechanische Veränderungen an den Fahrzeugen.
- Befestigung über Klebeverbindung oder vergleichbar nicht-invasive Lösung.
- Rückstandsfreie Entfernbarkeit.
- Klare Installationslogik und Einbauempfehlung je Fahrzeugtyp.
- Dokumentation zu Installation, Aktivierung und Entfernung.

### 5. Anforderungen an Mengengerüst und Ausstattungsplanung

- Ermittlung der erforderlichen Beacon-Anzahl je Fahrzeugtyp auf Basis der Auftraggeber-Mengengerüste.
- Nachvollziehbare Darlegung der technischen Annahmen.
- Unterstützung von Volllausstattung, Teilausstattung und punktueller Ausstattung.
- Rahmenvertragslogik für unterschiedliche Bedarfe je Region oder Betreiber.
- Darlegung zur Nachbestellbarkeit zum selben Preis.

### 6. Anforderungen an Logistik, Versand und dezentrale Lieferung

- Lieferung auf Abruf an unterschiedliche Empfänger/Regionen.
- Nachweis der Kapazitätsbereitstellung bis Ende Q4 2026.
- Lieferung innerhalb von maximal 2 Wochen nach Bestelleingang.
- Beacons gehen in das Eigentum der Besteller über.
- Bezahlung erfolgt über den Rahmenvertragspartner.

### 7. Anforderungen an Support- und Unterstützungsleistungen

- Abrufbares Unterstützungskontingent (virtuell, telefonisch, videobasiert).
- Abrufbares Vor-Ort-Kontingent für Techniker/Mechaniker.
- Unterstützung bei Installation, Erstinbetriebnahme, Fehlerklärung und Einbindung in das Management-System.

#### 8. Anforderungen an Dokumentation und Handbücher

- Hardwarehandbuch und Installationshandbuch mit technischen Eigenschaften, Aktivierung, Einbauorten, Installationsvorgehen, Rückbauhinweisen, Einbindung ins BMS, Betrieb und Fehlerbild-Hinweisen.

#### 9. Anforderungen an Sicherheit, Zertifizierung und rechtliche Unbedenklichkeit

- Nachweise zu datenschutzrechtlicher Unbedenklichkeit, brandschutz- und sicherheitstechnischer Eignung.
- Zertifizierungen, Konformitätsnachweise, Produktsicherheit und Materialeigenschaften.

#### 10. Anforderungen an Betriebsfähigkeit, Wartung und Batteriemanagement

- Darlegung der betrieblichen Eignung für die Feldtestdauer.
- Beschreibung zu Batteriebetrieb, Erkennung niedriger Batteriestände, Wartung, Austausch und Funktionsprüfung.

### B – Beacon-Management-System

#### 11. Allgemeine System- und Lösungsanforderungen

- Bereitstellung eines zentralen Beacon-Management-Systems als produktiv nutzbare Softwarelösung.
- Stabiler, skalierbarer Betrieb über die gesamte Feldtestlaufzeit.
- Herstellerunabhängige Lösung, Rückwärtskompatibilität zu bereits verbauten Beacons.
- Geordneter Rückbau nach Feldtestabschluss.
- Technische Mindestspezifikationen:
  - Verfügbarkeit: mindestens 99,5 % im Monatsmittel
  - Kapazität: mindestens 50.000 Beacon-Datensätze, ≤ 3 Sekunden Ladezeiten, mindestens 30 gleichzeitige Nutzer
  - Datenaufbewahrung: gesamte Feldtestlaufzeit plus mindestens 12 Monate
  - Profitester-Schnittstelle (AP 1): dedizierter Datenexport für Beacon-Zuordnungen und Fahrzeugkennungen

#### 12. Funktionale Anforderungen an die Nutzeroberfläche und Datenerfassung

- Webbasierte Nutzeroberfläche zur Erfassung, Pflege, Zuordnung und Verwaltung von Beacon-Stammdaten.
- Mindest-Datenpunkte: Beacon-ID, Fahrzeugkennung, Verkehrsverbund/Betreiber/VU.
- Beacon-ID-Erfassung idealerweise über QR-Code-Scan.
- Nachvollziehbare Dokumentation von Zuordnungsänderungen.
- Fehlererkennung und Monitoring: automatisierte Warnmeldungen bei Nicht-Erkennung (Standard: 48 h), Statusübersicht pro Region/Betreiber, Erkennung von Fehlermustern, Eskalationsprozess.

#### 13. Anforderungen an Datenmodell, Stammdatenlogik und Zuordnungslogik

- Konsistentes Stammdatenmodell, eindeutige Beacon-Identität, Zuordnung zu Fahrzeugen/Regionen/Betreibern/VU.
- Versionierte Änderungsdokumentation, Mehrhersteller-Szenarien, Einbindung vorhandener Beacon-Bestände.

#### 14. Anforderungen an Herstellerunabhängigkeit und Rückwärtskompatibilität

- Herstellerneutrale Ausgestaltung, Unterstützung unterschiedlicher Beacon-Typen.
- Kompatibilitätsmatrix (Hersteller, Typen, BLE-Standards).
- Beschreibung des Einbindungsprozesses für neue Hersteller (Aufwand, Zeitrahmen, Voraussetzungen).
- Nachweis der gleichzeitigen Verwaltung von Beacons mindestens zweier Hersteller im Produktivbetrieb.

#### 15. Anforderungen an Schnittstellen und API-Fähigkeit

- REST-API mit JSON-Datenformat, abgesichert über OAuth 2.0 oder API-Keys.
- Versionierte API, Dokumentation im OpenAPI/Swagger-Format.
- Bereitstellung von: Beacon-ID, Fahrzeugkennung, Linien-/Betreiberzuordnung, Beacon-Status, Zeitstempel.
- Latenz maximal 2 Sekunden für Standardabfragen.

#### 16. Anforderungen an Zugriffsrechte, Drittzugriff und rollenbasierte Einsehbarkeit

- Rollenbasiertes Berechtigungskonzept (Administration, Pflege, QS, lesender Zugriff, fachlicher Prüfbzugriff).
- Datenschutzkonformer, protokollierter Drittzugriff (z. B. AP 1, AP 4).

#### 17. Anforderungen an Datenschutz und rechtliche Rahmenbedingungen

- Einhaltung deutschem und europäischem Datenschutzrecht, Hosting in Deutschland.
- Datensparsamkeit, Zweckbindung, Privacy by Design/Default.

#### 18. Anforderungen an IT-Sicherheit und Informationssicherheit

- Verschlüsselung, Absicherung von Schnittstellen und Zugängen, rollenbasiertes Berechtigungskonzept, Protokollierung, Incident-Handling.

#### 19. Anforderungen an Betrieb, Monitoring, Fehlerbehandlung und Wartungsprozesse

- Stabiler Produktivbetrieb, Überwachung von Systemzustand, Datenqualität und Schnittstellen.
- Incident-, Problem- und Change-Management, Versionierung und kontrollierte Releases.

#### 20. Anforderungen an Interoperabilität, Modularität und technische Integration

- Interoperabilität mit Tracking-Anwendungen (Los 1, Los 2), Beacon-Hardware und Backend-Systemen.
- Dokumentation sämtlicher Integrationsvoraussetzungen.

#### 21. Anforderungen an Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit (Hardware und BMS)

- Auslegung auf steigende Datenmengen, zusätzliche Beacons, Fahrzeuge und Regionen.
- Hardware und Lieferlogik für größere Rollout-Szenarien.
- Berücksichtigung einer Übertragbarkeit in einen bundesweiten Dauerbetrieb.

#### 22. Anforderungen an Rückbau, Datenübergabe und Beendigung

- Konzept für technischen, organisatorischen und datenschutzkonformen Rückbau (Hardware und System).
- Regelung zu Datenexport, Archivierung, Löschung und Übergabe.
- Geordnete Deaktivierung von Zugängen, Schnittstellen und Systemverbindungen.

#### Lieferobjekte

- Mindestens monatliche Projektstatus- und Steuerungsberichte im Lenkungskreis oder vergleichbarem Gremium
- Abrufbarer Rahmenvertrag zur Lieferung von Beacon-Hardware
- Preis- und Abruflogik für Hardwarekontingente
- Preis- und Abruflogik für Unterstützungs- und Supportkontingente
- Technische Produktbeschreibung der angebotenen Beacons
- Beschreibung des offenen BLE-Funkstandards
- Installationskonzept für unterschiedliche Fahrzeugtypen
- Empfehlung zur Anzahl erforderlicher Beacons je Fahrzeugtyp
- Logistik- und Versandkonzept für dezentrale regionale Abrufe
- Support- und Unterstützungsleistungskonzept inkl. Vor-Ort-Option



- Hardwarehandbuch und Installationshandbuch
- Nachweise zu Sicherheit, Konformität und Zertifizierungen
- Konzept zur rückstandsfreien Entfernung und zum Rückbau der Hardware
- Betriebsbereites Beacon-Management-System
- Zentrale Nutzeroberfläche zur Pflege und Verwaltung der Beacon-Stammdaten und Zuordnungen
- Dokumentiertes Datenmodell (Beacon-ID, Fahrzeugkennung, organisatorische Zuordnung)
- Dokumentierte API-Schnittstelle (OpenAPI/Swagger) zur Anbindung an Tracking-Anwendungen und weitere Systeme
- Nachweis der Anlernbarkeit an ein anbieterübergreifendes BMS
- Kompatibilitätsmatrix (Hersteller, Typen, BLE-Standards)
- Rollen- und Berechtigungskonzept inkl. Drittzugriffskonzept
- Datenschutz- und IT-Sicherheitskonzept
- Hosting- und Betriebskonzept (datenschutzkonforme Betriebsumgebung in Deutschland)
- Monitoring-, Support- und Betriebskonzept
- Konzept für Fehlerbehandlung und Wartungsprozesse
- Konzept für Rückwärtskompatibilität und Mehrherstellerefähigkeit
- Rückbau- und Decommissioning-Konzept (Hardware und System)
- Technische Systemdokumentation
- Release- und Versionskonzept
- Test- und Abnahmekonzept
- Regelmäßige Statusberichte zu Lieferungen, Abrufen, Supportfällen, Betrieb, Qualität, Schnittstellen, Fehlern und Weiterentwicklungen

#### Budget

Die genannten Leistungen sind in einem maximalen Budget von 740.000 EUR zu erbringen (zusammengesetzt aus 540.000 EUR für die Beacon-Hardware und 200.000 EUR für das Beacon-Management-System).