RadAR+

(2019)

Abschlussbericht

Verbundprojekt: RadAR+

Förderkennzeichen: 16SV7399

erarbeitet für:

VDI|VDE|IT

als Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung

vorgelegt am 12/2019 durch:

Rhein-Main-Verkehrsverbund

Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

Am Hauptbahnhof 6

60329 Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Aufgabenstellung der rms GmbH im Projekt RadAR+**	**1**
2	**Ablauf des Vorhabens**	**4**
2.1	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
2.2	Gesamtheitlicher Ablauf des Vorhabens	5
2.3	Zusammenarbeit	13
3	**Erzielte Ergebnisse**	**13**
3.1	Wesentliche Ergebnisse aus Sicht der rms GmbH	13
3.2	Ergebnisse aus technischer Gesamtsicht	18
3.3	Nutzen, Verwertbarkeit und Erfahrungen	20
4	**Veröffentlichungen**	**22**

Anlagen

Anlage 1: *Konzept Indoor- und Fernrouting*

Anlage 2: *Abschlusspräsentation der rms GmbH*

Anlage 3: Abschlusspräsentation der technischen Projektleitung

1 Aufgabenstellung der rms GmbH im Projekt RadAR+

Die Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH) bietet innovative, praxisnahe und zukunftsorientierte Planungs-, Beratungs- und Servicedienstleistungen für den gesamten Verkehrssektor. Im Bereich Informationsdienste und Datenmanagement verantwortet die rms GmbH unter anderem die Datenorganisation und Qualifizierung der Fahrplandaten für die Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH (RMV).

Das Leistungsspektrum im operativen Bereich umfasst dabei die Organisation, Integration, Veredlung und Qualifizierung von Fahrplandaten. Im konzeptionellen Bereich erstellt und prüft die rms vor allem Konzepte, Lasten- und Pflichtenhefte für Datenbank-, Hintergrund- und Informationssysteme. An Bedeutung haben in den letzten Jahren vor allem Echtzeit- und Geoinformation gewonnen. Im Zusammenhang mit Geoinformation umfassen die Tätigkeiten der rms u.a. die Erhebung, Erfassung und Georeferenzierung von Haltestellenobjekten, Fahrwegen und weiteren ÖPNV-relevanten Objekten, insbesondere Fußwegen, sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich.

Als ein 100%iges Tochterunternehmen des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV) strebt die rms GmbH mit dem RMV eine möglichst umfassende Information aller Fahrgäste, insbesondere auch der mobilitätseingeschränkten und älteren Personen, an. Die rms unterstützt den RMV beim Betrieb einer Verbindungsauskunft auf hohem Niveau ebenso wie bei der Konzeption und der Umsetzung von Informationsdiensten für mobile Endgeräte. Prominente Forschungsbeispiele aus den letzten Jahren in diesem Kontext sind beispielsweise BAIM; BAIM plus; namo; DYNAMO und DELFIplus.
Der RMV und die rms GmbH streben eine hohe Kundenzufriedenheit auch durch die kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung der Reisendeninformation an.

RadAR+, das „Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf der Basis von Augmented Reality“, eröffnete die Chance, insbesondere in den innovativen Themen „Adaptive, lernende Reiseassistenz“ und „Augmented Reality“ Erfahrungen zu gewinnen und Ideen im Rahmen eines Forschungsvorhabens umzusetzen und sowohl ihre Reife wie auch die Akzeptanz beim Kunden zu evaluieren.
Die rms GmbH übernahm im Rahmen des Projektes folgende Hauptverantwortung für nachstehende Arbeitspakete:

UAP 0.2 Technische Leitung

- Repräsentation der technischen Umsetzung in der Gesamtprojektleitung
- Moderation und Begleitung der Umsetzung insbesondere in AP 3 Realisierung eines Demonstrators

UAP 2.3 Konzept Indoor- und Fernrouting

- Konzeption des Zusammenspiels verschiedener Routingkomponenten sowie einer Reisebegleitung im Kontext
    - Fernrouting (Routing für Nah- und Fernverkehr – ÖPV und Flüge),
    - Indoor-Routing (Fußläufiges Routing innerhalb eines Gebäudes) und
    - Outdoor-Routing (Fußläufiges Routing außerhalb eines Gebäudes)

  unter Berücksichtigung von Anforderungen zur barrierefreien Reisekette

UAP 2.4 Vorbereitung Infrastruktur Indoor-Routing

- Übernahme und Aufbereitung erforderlicher Geodaten zur Gebäudeinfrastruktur des Flughafens Frankfurt (FRA) für die Teilbereiche Regional- und Fernbahnhof (Schiene) sowie
- Übernahme und Aufbereitung erforderlicher Geodaten zur Flughafeninfrastruktur (vorrangig Terminal und Fußweg zum Gate)
- Ausstattung eines Teilbereiches des Fern- und des Regionalbahnhofes am Flughafen mit Bluetooth-Baken und damit Vorbereitung der Infrastruktur für die Indoor-Navigation

Zusätzlich unterstützte die rms GmbH in den Arbeitspaketen 1-5 über die Konzeption bis hin zur Umsetzung des wissenschaftlich evaluierbaren Demonstrators mit technischem Support.
Im Detail begleitete die rms die Arbeitspakete mit den im Folgenden beschriebenen Tätigkeiten:

Für das AP 1:

- Mitarbeit bei der Erhebung, Analyse und Bestandsaufnahme des Nutzerkontextes sowie der Spezifikation von Test- und Anwendungsszenarien, hier konnte die rms GmbH Erfahrungen auf Basis vorangegangener Forschungsvorhaben einbringen
- Mitarbeit bei der Systemkonzeptentwicklung und Grobspezifikation aus technischer Sicht

Für das AP 2:

- Mitarbeit/ Unterstützung bei der Evaluation des Anpassungsbedarfs an Standardkomponenten gemäß Anforderungen aus technischer Sicht
- Mitarbeit bei der Konzeption des Funktionsmusters zur adaptiven Nutzermodellierung aus praxisnaher ÖV-Kundensicht

Für das AP 3:

- Kontinuierliche Begleitung und Unterstützung ergänzend zu den Aufgaben der technischen Projektleitung

Für das AP 4:

- Durchführung des Gesamtfunktionstests aus technischer Sicht unter Berücksichtigung gegebener Rand- und Rahmenbedingungen für den Demonstrator und Begleitung der wissenschaftlichen Evaluation im Rahmen eines technischen First-Level-Supports

Für das AP 5:

- Teilnahme an Workshops und Mitarbeit im ELSI-Beirat

2 Ablauf des Vorhabens

2.1 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben RadAR+ sah die praxisnahe Konzeption und Entwicklung eines Demonstrators für einen Mobilitätsagenten vor, der Reisende mit aktuellen Hinweisen zur Verbindung (bspw. Verspätungen und Reisealternativen) und beim effizienten Wechsel der Verkehrsmittel entlang einer Reisekette unterstützt. Dazu sollten die benötigten Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der notwendigen Tiefe bereitgestellt werden, indem Planungskomponenten wie das Fernrouting, Indoor-Routing und der Aufenthalt intelligent miteinander verknüpft wurden.

Die technologische Lösung sollte auf einer Kombination von etablierten Mobilgeräte-Technologien (vorhandene Mobilitäts-Anwendungen, hohe Rechenleistung und Verbreitung) mit einer Augmented-Reality-Anwendung (AR) unter Einsatz von Datenbrillen mit einer interaktiven Sprachsteuerung (Ein- und Ausgabe) basieren. Ein Novum des Projektes sah die Nutzung eines adaptiven Nutzermodells, in dessen Verlauf persönliche, situations- und ortsbezogene Kontextinformationen gesammelt, gefiltert und aufbereitet werden, vor. Die Sammlung der Daten und der Lernprozess sollte hierbei lokal auf dem mobilen Gerät und somit im Einflussbereich des Nutzers vorgehalten werden.

Die Umsetzung der Indoor-Navigation erfolgte an einem der größten Verkehrsknoten Deutschlands, dem Frankfurter Flughafen unter Berücksichtigung des Umstiegs auf den öffentlichen Nah- und Fernverkehr (Frankfurt Flughafen Regional- und Fernbahnhof).

Die technologische Herausforderung lag darin, unter den komplexen Voraussetzungen (große Bauwerke, viele Fahrgäste, viele Wahlmöglichkeiten an fußläufigen Wegen und umfangreiche Möglichkeiten der Verkehrsmittelwahl) den Demonstrator mit den wesentlichen Elementen des Gesamtvorhabens zu ertüchtigen. Dieser Demonst-

rator sollte so konzipiert sein, dass die wissenschaftliche Evaluation zur Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems realisiert werden konnte.

Der Fokus des Unternehmens rms GmbH lag vor allem auf der durchgängigen Information bzw. der kontinuierlichen Assistenz des Reisenden sowie dem Fußgängerrouting und der Fußgängernavigation innerhalb von Gebäuden. Die Konzeption und Umsetzung dieser Anforderungen bei Nutzung vorhandener Bestandssysteme der rms GmbH (zur Aufbereitung und Bereitstellung der Routinggrundlagen zur Beauskunftung) zu realisieren, stellten wesentliche Herausforderungen im Projektablauf dar.

2.2 Gesamtheitlicher Ablauf des Vorhabens

Der gesamtheitliche Ablauf des Vorhabens gliederte sich aus Sicht der rms GmbH wie folgt.

Erstes Projektjahr:

Im Rahmen der **Anforderungsanalyse AP 1** brachte die rms GmbH ihre gewonnenen Erfahrungen zu Anforderungskriterien innerhalb einer intermodalen Reisekette aus den Forschungsprojekten namo und DYNAMO ein. Auch Forschungsprojekte Dritter wie IP-KOM-ÖV wurden berücksichtigt. Hierbei konnte die rms GmbH insbesondere die Sichtweisen von Nutzern und Verkehrsdienstleistern einbringen.

Auf der Basis vergleichbarer Vorgehensweisen aus den vorhergehenden Forschungsprojekten arbeitete die rms GmbH intensiv an der Beschreibung von Personas und Szenarien zur Umsetzung in RadAR+ mit. Anhand eines abgestimmten definierten Bewertungsschemas konnten relevante Szenarien zur detaillierten Anforderungsanalyse abgeleitet werden.
Insbesondere setzte sich die rms GmbH ein, praxisorientierte Nutzerszenarien zu beschreiben, um bereits in diesem Stadium erste Anforderungen für die Ausprägung des technischen Gesamtsystems ableiten zu können (vgl. Use Case Bernd Schmitz).

Somit konnte frühzeitig aus der Anforderungsanalyse eine erste Grobspezifikationen der Architektur erfolgen.

Neben der Anforderungsanalyse erfolgten frühzeitige Aktivitäten für die **Konzeption und Konzeptevaluation (AP 2)**. Die rms GmbH erstellte das Grobkonzept zum Indoor- und Fernrouting inklusive der Reisebegleitung sowie zur Gebäudemodellierung.

Im Rahmen der technischen Projektleitung (**Gesamt-, Technische und Wissenschaftliche Koordination AP 0**) wurden elementare Grundstrukturen zur Dokumentation und des Berichtswesens geschaffen. Hierzu wurde ein SharePoint zur Dokumentenbearbeitung und -ablage für das Konsortium geschaffen. Der Betrieb des SharePoint ist durch die rms GmbH über die Laufzeit des Projektes und wird bis Ende 2019 sichergestellt.

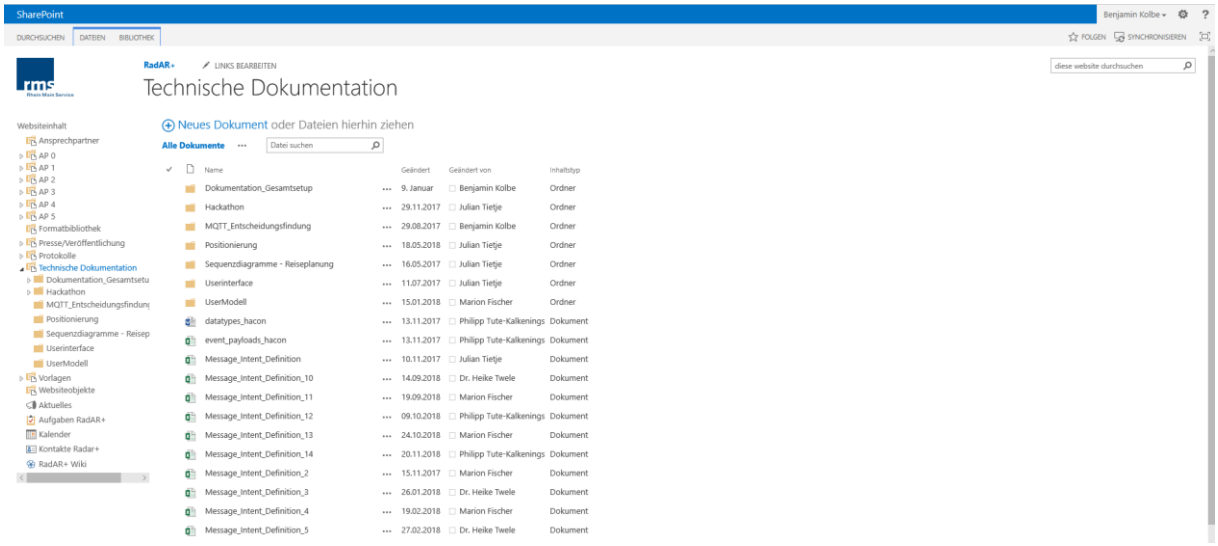


Abbildung 1: Beispielhafter Screenshot des RadAR+ SharePoint

Im ersten Projektjahr erfolgten zusätzlich bereits erste technische Workshops, die durch die rms GmbH unterstützt (Organisation und Durchführung) und moderiert wurden.

Zweites Projektjahr:

Im Rahmen der technischen Projektleitung (im Arbeitspaket **Gesamt-, Technische und Wissenschaftliche Koordination AP 0**) wurden die Abstimmungen im Konsortium vor allem mit den technischen Partnern durch Vor-Ort-Termine und/ oder telefonische Absprachen wesentlich intensiviert. Dies beinhaltete auch die Mitarbeit bei den Konzeptionen der Partner, um einen gesamttechnischen Überblick in der Konzeption und für die geplante Umsetzung der Teilkomponenten zu erzielen.

Die rms GmbH hat im Rahmen des **AP 2 Konzeption und Konzeptevaluation** die Entwürfe aus dem ersten Projektjahr fein spezifiziert. Das Konzept zu Indoor- und Fernrouting wurde mit den technischen Partnern diskutiert und weiter entwickelt. Insbesondere die verschiedenen Wegevarianten und hierzu erforderlichen Anweisungen wurden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit im Demonstrator besprochen und abgestimmt. Das Konzept für das Indoor- und Fernrouting wurde im zweiten Projektjahr abgeschlossen.

Abbildung 2: Konzeptpapier „Konzept für Indoor- und Fernrouting“ vgl. Anl. 1

Das Konzept für Indoor- und Fernrouting beinhaltet grundlegende Informationen zur Orientierung (Was braucht ein Mensch zur Orientierung?) und berücksichtigt für die beiden Routingarten Fern- und Indoor-Routing die jeweiligen Besonderheiten. Für beide Routingarten wurden konzeptionelle Vorschläge zur möglichen Verwendung in RadAR+ unterbreitet.

Das Konzept zum Indoor- und Fernrouting basiert auf den Anforderungen, der im Rahmen des Forschungszeitraums erstellten Anwendungsfälle und Szenarien. Dabei wird grundsätzlich unterschieden zwischen den Anforderungen an das Routing, also den notwendigen Prozessen zur Reiseplanung oder auch -umplanung, sowie der Navigation, d.h. der Reisebegleitung in der Durchführung. Da in Gebäuden kein GNSS für die Ortung zur Verfügung steht, wurde aufgrund unterschiedlicher Ortungsverfahren ein Übergang zwischen Indoor-Navigation und der Reisebegleitung bzw. Navigation im ÖPV beschrieben.

Das Konzept beschreibt zudem ergänzende Optionen für das Routing, auch für Mobilitätseingeschränkte. Neben „klassischen“ Optionen wie z.B. die Anzahl maximaler Umstiege wurden individuelle Informationsbedürfnisse thematisiert, die z.B. die Vertrautheit mit einem Umsteigebauwerk berücksichtigen. Dies bedeutet, dass in einem nicht vertrauten Gebäude z.B. das Routing nur über Hauptwege präferiert wird,in vertrauter Umgebung wäre hingegen ein individuelles Routing über den kürzesten Weg denkbar, da die Grundstrukturen des Gebäudes bereits bekannt sind. Zudem werden ggf. weniger Details für die Wegebeschreibung benötigt. Weiterhin lassen sich konzeptionell die Optionen Barrierefreiheit mit den Möglichkeiten eines „Adaptiv lernenden Systems“ verknüpfen. So können die Bedürfnisse insbesondere von mobilitätseingeschränkten Personen durch den Einsatz von lernenden Systemen auch in der Reisendeninformation individueller berücksichtigt werden(z.B. durch Anpassung von Umsteigezeiten in Abhängigkeit von der erfassten Gehgeschwindigkeit).

Abhängig vom Reisezweck sowie aktuellen Rahmenbedingungen können unterschiedliche Profile für die Reisebegleitung sinnvoll sein, z.B. für eine Einzelperson auf dem Weg zur Arbeit oder in der Freizeit als Familie mit Kinderwagen. Hier ist es wichtig, dass der Nutzer jederzeit seine Profile wechseln und auch selbständig anpassen kann.
Das Konzept zum Indoor- und Fernrouting schließt mit Ausführungen zu aktuellen Ortungsverfahren und deren Einsatzmöglichkeiten und Beschränkungen für die Navigation indoor wie outdoor.

Für die Umsetzung des Indoor-Routings wurden die Daten für das Gebäude modelliert. Dies umfasst bspw. die Aufbereitung von Wegen in Form eines Knoten-Kanten-Modells. Die Basis für dieses Modell bildeten die Daten des assoziierten Partners Fraport sowie die Stationspläne des Frankfurter Fern- und Regionalbahnhofes der Deutschen Bahn. Das Knoten-Kanten-Modell wurde zur Weiterverarbeitung in den Systemen der rms GmbH für einen Testkorridor eingepflegt und stand damit in der weiteren Prozesskette für den Demonstrator zur Verfügung.

Die Vorbereitungen für die Ausstattung der Infrastruktur für die Realisierung der Indoor-Navigation wurden intensiv mit der DB und der Fraport abgestimmt. Schlussendlich wurde eine Lösung gefunden, bei der sowohl die bestehende Infrastruktur der Fraport wie auch, durch Unterstützung seitens DB Station & Service bezüglich der Koordination der Bluetooth-Ausstattung von Regional- und Fernbahnhof, eine Nutzung der Bluetooth-Baken beider Infrastrukturbetreiber zuließ. Dadurch musste im Projekt nur der Korridor zwischen den Fern- und Regionalbahnhöfen sowie am Squaire ausgestattet werden.

Bezüglich der Vorbereitungen für die Infrastrukturausstattung mit Bluetooth-Baken für die Indoor-Navigation ergaben sich durch die höhere Komplexität in der Abstimmung mit der Fraport und DB Station & Service sowie dem Hersteller Favendo deutliche Zeitverzögerungen. Die Ausstattung mit Bluetooth-Baken im Gebäude für den Übergangsbereich zwischen den beiden Infrastrukturbetreibern konnte daher erst im Januar 2018 beauftragt werden. Der erhöhte Abstimmungsaufwand hat aber dazu geführt, dass eine nachhaltige Weiternutzung der Bluetooth-Baken durch die Fraport erreicht werden konnte.

Die Beacon-Infrastruktur am Flughafen wurde in ihrer Anzahl und räumlichen Ausdehnung erweitert. Ausgerüstet wurde der Verbindungsabschnitt zwischen Fernbahnhof und Flughafen Terminal A.

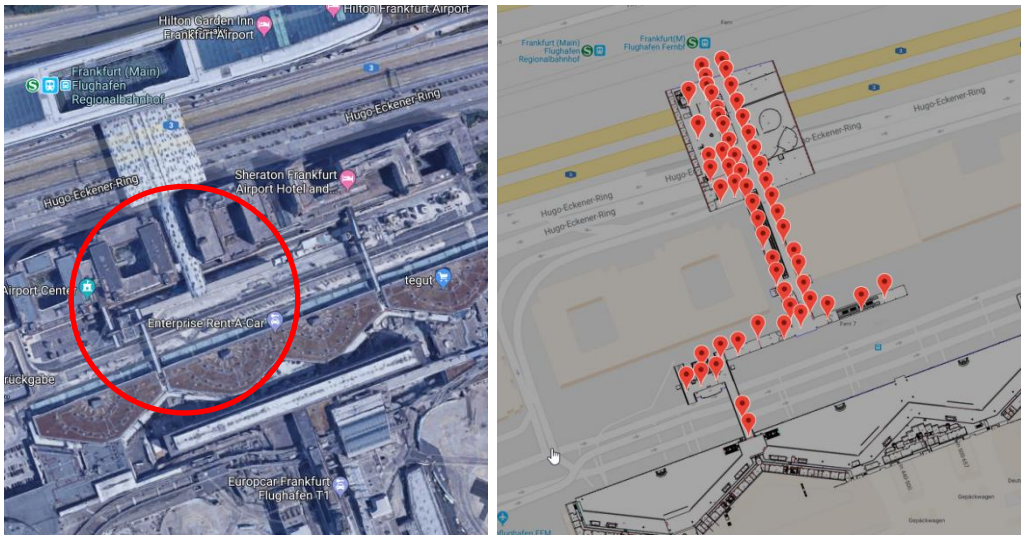


Abbildung 3: durch rms GmbH erweiterte Beacon Infrastruktur am Flughafen

Im Ergebnis wurden im genannten Verbindungsabschnitt am Flughafen 150 Beacons zusätzlich angebracht.

Die zeitliche Verzögerung bei der Abstimmung und Ausstattung des Bauwerks mit Bluetooth-Baken hatte aus technischer Gesamtsicht folgende Auswirkungen auf die Entwicklung der Demonstratoren und die Umsetzung der Gesamtarchitektur: die Ortungsfunktionalität konnte erst relativ spät im Projektverlauf in Gebäudeteilen getestet werden, die mit hohen Glasdecken ausgestattet waren. Probleme wurden auch bei der kurzfristigen Verortung am Bahnsteig (nach dem Ausstieg aus dem Fahrzeug) festgestellt.
Für eine erfolgreiche Umsetzung des gesamten geplanten Projektumfangs zeichnete sich an dieser Stelle ab, dass eine Projektlaufzeitverlängerung erforderlich wurde, die bis Ende Juni 2019 auch bewilligt wurde.

Neben der Konzeption des Indoor- und Fernroutings sowie der Gebäudemodellierung hat die rms GmbH an der Feinspezifikation der adaptiven Nutzermodellierung mitgearbeitet: Um die persönliche Individualisierung der geplanten Reise zu gewährleisten wurde ein adaptives Nutzermodell entwickelt. Dieses soll persönliche, situations- und ortsbezogene Kontextinformationen berücksichtigen. Das bedeutet, dass entsprechende verfügbare Informationen gebündelt, gefiltert und für den Reisenden

sinnvoll aufbereitet werden müssen. Z.B. können Nutzervorlieben in Bezug auf zu wählende Restaurants oder Bistros gespeichert werden und beim Umstieg am Flughafen oder Bahnhof kann der Nutzer dann aktiv eine umgangssprachliche Anfrage an das System stellen, z.B. „Ich habe Hunger“ oder „Ich muss auf die Toilette“, und erhält unter Berücksichtigung der gespeicherten Nutzerdaten eine vorsortierte Empfehlung. Im Projekt wurde darauf geachtet, dass diese Informationen lokal auf dem Endgerät gespeichert werden und durch den Nutzer jederzeit gelöscht werden können.

Zusätzlich hat die rms GmbH an der Evaluation der Anpassungsbedarfe bei bestehenden Standardkomponenten mitgearbeitet. Dabei wurden die Architektur des Gesamtsystems und die erforderlichen Schnittstellen auch in Hinblick auf eine nachhaltige Umsetzung durch Modularisierung intensiv diskutiert.

Drittes Projektjahr und verlängerte Laufzeit:

Aus technischer Gesamtsicht zur **Gesamt-, Technische und Wissenschaftliche Koordination AP 0** war die Realisierung des Demonstrators und damit die Schaffung der Voraussetzung zur wissenschaftlichen Evaluation der Gebrauchstauglichkeit wesentlicher Fokus im dritten Projektjahr. Hierzu erfolgten weiterhin eine enge Abstimmung vor allem mit den technischen Partnern sowie die Abstimmung mit der Gesamtprojektleitung sowie der wissenschaftlichen Projektleitung. Die Organisation und Unterstützung der technischen Vor-Ort-Termine (technische Abstimmungstreffen, Iterationstermine; Vor-Ort-Begehungen) wurde intensiviert. Zugleich erfolgte ein dauerhafter, technischer Abgleich sich ändernder Rand- und Rahmenbedingungen mit bestehenden Anforderungen aus dem Gesamtvorhaben (insbesondere mit dem Fokus auf die Anforderungen der wissenschaftlichen Evaluation).

Zur **Realisierung eines Demonstrators AP 3** fokussierte die rms GmbH auf den Abgleich der Umsetzung für den Demonstrator mit den erstellten Konzepten. Auf Basis der Konzepte wurde der Umfang des Demonstrators unter Moderation der rms GmbH abgestimmt. Die für die Umsetzung des Demonstrators erforderlichen Daten-

grundlagen aus dem ÖV sowie der Gebäudemodellierung wurden bereitgestellt. Zulieferungen der Fraport und der DB wurden durch die rms GmbH allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt.

Seitens rms GmbH und aus technischer Gesamtsicht stand die Modularisierung des Gesamtsystems zu Ortung, Routing, Navigation, Aufenthalt, Reisebegleitung sowie adaptive Nutzermodellierung im Vordergrund, um die Komponenten der Partner in einem Demonstrator zu integrieren.

Zum dritten Quartal 2018 erfolgte eine technische Anpassung im Teilmodul Indoor-Navigation. Im Rahmen der technischen Evaluation wurde festgestellt, dass die bis dahin präferierte Positionierung von räumlich verankerten Hologrammen für die Navigation in einem hoch frequentierten Bauwerk (des Flughafens) mit Störfaktoren behaftet ist, die eine stabile, wissenschaftliche Evaluation gefährden könnte.
In einer gemeinsamen Entscheidung des Konsortiums wurde als Alternative ein „Wizard of Oz“ erarbeitet, der keine räumlich verankerten Hologramme zur Navigation erfordert. In Abstimmung mit dem Projektträger wurde der Demonstrator dahingehend angepasst, dass weniger die technische Umsetzung der Anforderungen als vielmehr die Gewährleistung der wissenschaftlichen Evaluation im Vordergrund stand.

Die geänderte Zielsetzung wurde durch die technische Projektleitung in der Weiterentwicklung und in Abstimmung mit den technischen Partnern und der Wissenschaft berücksichtigt. Die rms GmbH hat diese Treffen zur **Gesamt-, Technische und Wissenschaftliche Koordination AP 0** kontinuierlich begleitet und unterstützt.

Die rms GmbH unterstützte weiterhin im Ablauf des Gesamtprojektes die **Empirische Evaluation des Gesamtsystems AP 4** durch Bereitstellung erforderlicher Daten sowie bei der Durchführung der Gesamtfunktionstests (UAP 4.1) der verschiedenen Releases. Im Rahmen der Gesamtevaluation bereitete die rms GmbH die ÖV-Daten (Sollfahrplan- und Prognosedaten) kontinuierlich aktualisiert auf. Die Durch-

führung der Feldtests wurde durch technischen Support sowie organisatorisch unterstützt, u.a. durch die Bereitstellung von Räumlichkeiten sowie Ausgabe von Fahrtberechtigungen des assoziierten Partners RMV.

Die rms GmbH unterstützte die Entwicklung des **ELSI-Handlungsleitfadens AP 5** als ständiges Mitglied des ELSI-Beirates. Hierbei engagierte sie sich maßgeblich bei der Berücksichtigung der ELSI Faktoren im Rahmen der Umsetzung des Demonstrators, insbesondere bei der Erarbeitung der adaptiven Nutzermodellierung.

2.3 Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit im Projekt wurde durch regelmäßige Telefonkonferenzen und Workshops aller Partner sowie zusätzlicher Termine für die technischen Partner in den verschiedenen Projektphasen gewährleistet.
Im Rahmen der Entwicklung des Demonstrators wurden zusätzliche Telefonkonferenzen der technischen Partner durchgeführt, die durch die rms GmbH moderiert wurden. Im Rahmen dieser Telefonkonferenzen konnten die technischen Partner detaillierte Abstimmungen vornehmen und für die Technik relevante Themen ausführlich diskutieren und lösen.

Zusätzlich erfolgten bilaterale Abstimmungen der technischen Projektleitung mit der wissenschaftlichen Projektleitung, die in der Evaluationsphase intensiviert wurden und über die gesamte Laufzeit der wissenschaftlichen Evaluation durch einen technischen Support – koordiniert durch die rms GmbH – Bestand hatten.

3 Erzielte Ergebnisse

3.1 Wesentliche Ergebnisse aus Sicht der rms GmbH

Die rms GmbH zeichnete sich für die Unterarbeitspakete 2.3 Konzept Indoor- und Fernrouting, sowie 2.4 Vorbereitung Infrastruktur Indoor-Navigation verantwortlich.

Im Ergebnis wurde federführend durch die rms GmbH, unter Einbeziehung der technischen und wissenschaftlichen Partner, das „Konzept für Indoor- und Fernrouting“ im Zeitraum 2016-Q1/2017 erstellt und abgestimmt (s. Anlage 1). Dieses Dokument bildete die wesentliche Grundlage für die Ergebnisumsetzung des Routings und der Reisebegleitung unter dem besonderen Aspekt des Zusammenspiels eines klassischen Fernroutings mit individualisiertem Indoor-Routing im Projekt RadAR+.

Im Ergebnis ermöglicht das im Demonstrator umgesetzte Routing dem Reisenden die Wahl einer kombinierten Fern- und Indoor-Route von einer Hausadresse bis zum Gate innerhalb des Flughafengebäudes. Die ermittelte Route wird per Smartphone und/ oder Datenbrille navigiert.

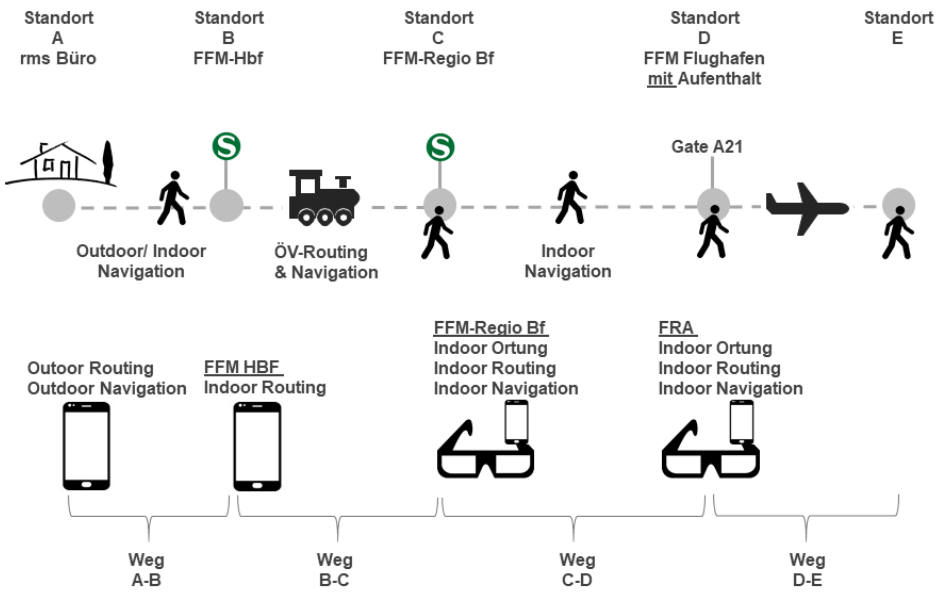


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung einer im Demonstrator umgesetzten Reisekette/ Route

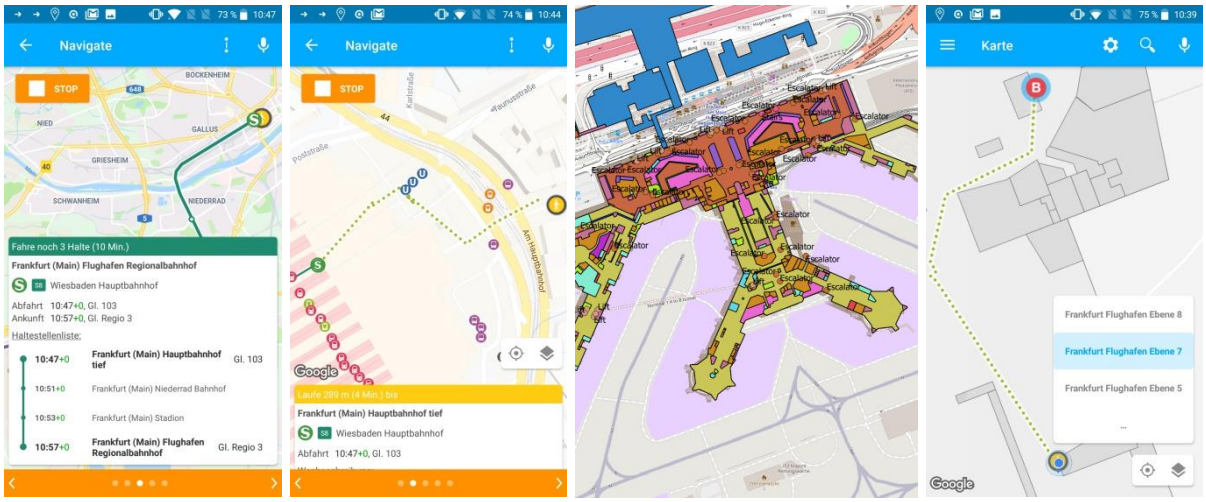


Abbildung 5: a) Gesamte Reiseroute in der RadAR+ App b) Outdoor Route von Hausadresse zum HBF c) Beispielhafte Geodatengrundlage einer Ebene im Flughafen d) Indoor Fußwegenavigation in der RadAR+ App (Ebenenscharf)

Abbildung 6: Anzeige der Reiseroute als Information per Datenbrille

Das klassische Indoor-Routing in Umsteigebauwerken berücksichtigt Wege zwischen Haltepunkten bzw. zu Ein-/Ausgängen. In RadAR+ wurde das Indoor-Routing um die Aufenthaltsgestaltung erweitert. Dieses erweiterte Routing berücksichtigt auch Points of Interest (POI) und bietet die Möglichkeit, dass ein Nutzer sich von einem beliebigen Standort im Umsteigebauwerk zu einem POI (im Umsteigebauwerk) navigieren

lassen kann. Daraus ergeben sich zusätzliche Mehrwerte für den Nutzer, der sich über Angebote vor Ort informieren kann oder sich zur nächsten Bäckerei navigieren lassen kann.

Mit der Konzeption und beispielhaften Umsetzung eines adaptiv lernenden Systems im Demonstrator konnten Nutzerprofile abgeleitet werden. Die Weiterentwicklung dieser ist ein vielversprechender Ansatz, um zukünftig den Nutzer besser bei seiner präferierten Verkehrsmittelwahl sowie auch hinsichtlich weiterer Unterstützung – Angebote, die seinem Nutzungsverhalten entsprechen – während einer Reise zu begleiten. In der Kombination aus einem adaptiv lernenden System sowie einer Spracheingabe, die wie in RadAR+ umgangssprachliche Eingaben ermöglicht, konnte im Ergebnis ein weiterer Mehrwert erzielt werden.

Das adaptiv lernende System ermöglichte die Nachvollziehbarkeit gewählter Orte und konnte daraus eine Präferenz des Nutzers ableiten. Beispielhaft wurden z.B. mehrfach italienische Restaurants im Aufenthaltsmodus ausgewählt, so dass eine Präferenz für italienisches Essen des Nutzers unterstellt werden konnte. Im Ergebnis wurden dem Nutzer bei umgangssprachlicher Eingabe von „ich habe Hunger“ mehrere italienische Restaurants in der Nähe angezeigt und konnten als Ziele angeroutet werden. Dabei wurden die Ergebnislisten nur sortiert und nicht reduziert, so dass der Nutzer durch Scrollen ein beliebiges Restaurant vor Ort wählen konnte. In der Evaluation hat sich gezeigt, dass die auch für den Demonstrator umgesetzte Funktion zur Einsicht und zum Löschen des erlernten Profils positiv bewertet wurde.

Die Spracheingabe wurde ebenfalls zur Verbindungsanfrage verwendet. Hierbei ist es erforderlich, dass dem System sowohl Adressdaten wie auch z.B. Haltestellennamen und deren Aussprache bekannt sind. So erfolgte bei der umgangssprachlichen Eingabe des Kommandos „Bringe mich zum Flughafen Paris Charles de Gaulle“ eine Verbindungsauskunft von der Hausadresse der Anfrage bis zum Gate des Abflughafens (in unserem Falle Frankfurt Flughafen).

Dabei sind insbesondere Anforderungen des Datenschutzes zu berücksichtigen, da ein adaptiv lernendes System viele Informationen (z.B. Ortungsinformationen, weitere Daten zum Nutzerverhalten) benötigt, um den Nutzer adäquat zu unterstützen. Im Forschungsumfeld wurde dieser Thematik mit einer lokalen Datenhaltung auf dem Smartphone begegnet, über dessen Umfang der Nutzer stets transparent in Kenntnis war und ggf. adaptiv Erlerntes manuell entfernen konnte.

In der Umsetzung von adaptiv lernenden Systemen besteht aus Sicht der rms GmbH Potential, Nutzungshemmnisse im ÖV abzubauen, insbesondere auch vor dem Hintergrund sich entwickelnder Mobilitätsplattformen.

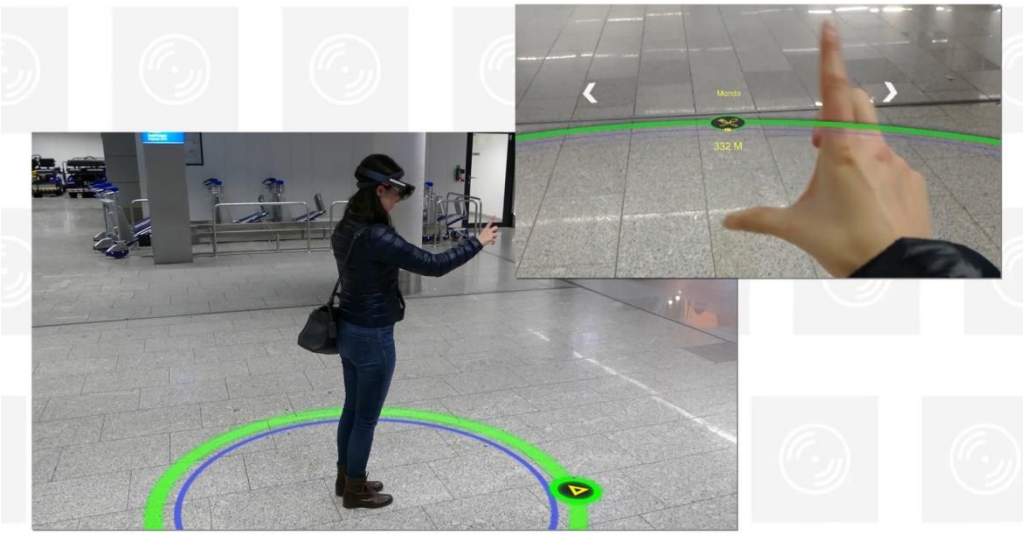


Abbildung 7: Darstellung des Aufenthaltsmoduls im Demonstrator zum Routing eines POI (hier Restaurant in unmittelbarer Nähe)

Aus Sicht und mit Unterstützung der rms GmbH konnten folgende nutzerrelevante Ergebnisse (Auszug) im Forschungsvorhaben RadAR+ erzielt werden

- Optimiertes kombiniertes Fern- und Indoor-Routing
    - Durchgängige Reisebegleitung von einer Hausadresse mit dem ÖPNV bis zu beliebigen Zielen, auch in einem Gebäude
- Indoor-Routing

  - anroutbare POI in einem Umsteigebauwerk (Aufenthaltsgestaltung)
  - technische Verbesserungen zur Orientierung und Navigation im Gebäude
- optimierte Reisebegleitung
  - unter Verwendung von Optionen der Barrierefreiheit
  - unter Verwendung von Nutzerprofilen (Zusammenfassen mehrere Optionen)
- Umsetzung eines adaptiv lernenden Systems mit Sprachein- und ausgabe
  - Umgangssprachliche Eingabe von Bedürfnissen und automatisierte, vorsortierte Empfehlungen
  - Handfreie Kommunikation mit dem System RadAR+

3.2 Ergebnisse aus technischer Gesamtsicht

Wesentliches Ergebnis aus technischer Gesamtsicht ist der modular aufgebaute und im Rahmen der Projektlaufzeit umgesetzte Demonstrator zum Ziel der Durchführung der wissenschaftlichen Evaluation.

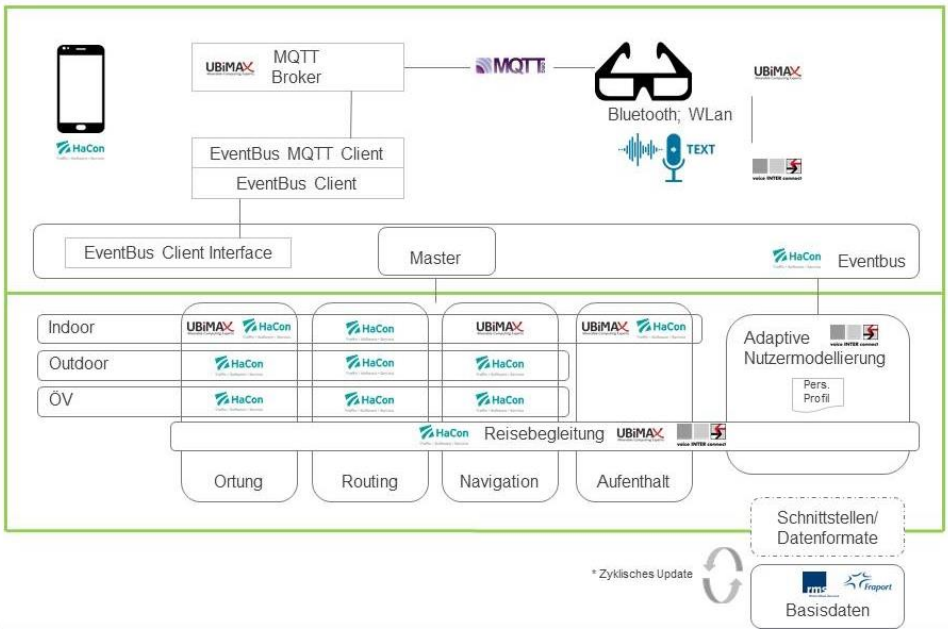


Abbildung 8: Systemskizze des modularen Demonstrators

Für den Demonstrator ist zu differenzieren zwischen nachfolgenden Komponenten, die im Zusammenspiel die Gesamtfunktionalität gewährleisten:

- **Mobile Technologie** wie Datenbrille und Smartphone, die der Nutzer mit sich führt, um das System vor Ort zu nutzen,
- **Hintergrundtechnologie** wie z.B. die Verbindungsauskunft, die erforderliche Informationen in Echtzeit zur Verfügung stellt,
- sowie **Infrastruktur** wie z.B. Bluetooth-Baken in den Bauwerken/ Gebäuden (Bahnhöfe, Flughafen)

Mobile Technologie für den Nutzer im Feldtest sind die Datenbrille „HoloLens“ von Microsoft sowie ein handelsübliches Smartphone. Sowohl die Datenbrille als auch das Smartphone können Sprachbefehle empfangen und verarbeiten. Die Datenbrille ist die optische Wegweisungskomponente von RadAR+. Sie ermöglicht durch virtuelle Einblendung von Pfeilen eine AR-basierte Navigation (vergleichbar dem Head-Up-Display im Auto). Das Smartphone ist technisch das zentrale Element des Gesamtsystems. Spracheingaben werden auf dem Telefon verarbeitet und zur Verbindungsanfrage an ein Hintergrundsystem übergeben. Als Rückantwort erhält der Nutzer auf seinen Endgeräten die Informationen zu entsprechenden Verbindungsalternativen mit den erforderlichen Hinweisen zu Routing und Navigation. Die Verbindungsauskunft ist über **Hintergrundtechnologie** mit dem Gesamtsystem RadAR+ verbunden. Das Smartphone gewährleistet neben der externen Datenanbindung auch das interne Zusammenspiel und den Austausch mit der Datenbrille. Zum Datenaustausch werden standardisierte Nachrichtenprotokolle aus der „Internet of Things“-Technologie verwendet (MQTT – Message Queuing Telemetry Transport), die den Anforderungen entsprechend angepasst wurden.

Um die kontinuierliche Ortung des Nutzers in Umsteigesituationen zu gewährleisten, wurde im Indoor-Bereich entsprechende **Infrastruktur** bereitgestellt. Hierbei werden auf teilweise neu ausgerüstete Bluetooth-Ortungskomponenten sowie Bestandskomponenten der DB Station & Service und der Fraport zurückgegriffen, um eine Ortung auch innerhalb von Gebäuden zu ermöglichen.

Im Ergebnis wurde ein Gesamtdemonstrator RadAR+ für Smartphone und Datenbrille erstellt, der unter Einbeziehung von Hintergrundsystemen eine begleitete Reisekette von einer Hausadresse über komplexe Umsteigebauwerke bis zu einem Gate im Flughafen ermöglicht.
Detaillierte technische Ausführungen der Komponenten des Demonstrators sind den Berichten der technischen Partner (HaCon, VIC, ubimax) zu entnehmen.

3.3 Nutzen, Verwertbarkeit und Erfahrungen

Die in RadAR+ entwickelten Dienste, Systeme und Teilmodule knüpfen inhaltlich und technisch an bestehende Systeme an bzw. stellen eine konsequente Weiterentwicklung dieser dar. So wird bspw. die erzielte Verknüpfung des ÖV-Routings mit dem Indoor-Routing im Flughafen eine Basis zum weiteren Ausbau einer ganzheitlichen Reisekette (über verschiedene Verkehrsmittel und zur Gestaltung von Aufenthalten in Umsteigebauwerken) darstellen können. Als Erfolg lassen sich somit die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeitete und erweiterte Wissensbasis im Umgang mit komplexen Umsteigebauwerken darstellen. Diese kann genutzt werden, um weitere Aktivitäten anzustreben, mit dem Ziel einer automatisierten Wegenetzmodellierung.

Die genannten Ergebnisse stellen ein deutliches Potential zur Verbesserung von Reise-Informationsdiensten für den Nutzer dar. Voraussetzung dafür ist eine bessere Indoor-Ortung, die Stand heute nur eingeschränkt die Anforderungen an die Navigation im Gebäude erfüllen kann. Die Ungenauigkeiten und Verzerrungen bei der Ortung lassen einen direkten produktiven Einsatz noch nicht zu. Ein weiteres Problem in der Reisebegleitung ist die erforderliche kontinuierliche Ortung auch Outdoor. Durch diese wird die Akkulaufzeit eines Endgerätes so stark eingeschränkt, dass sie nur in unbekannten Umgebungen sinnvoll zum Einsatz kommen sollte. D.h., dass in erster Linie serverseitig zu überwachende Informationen zur Reisebegleitung bei einer zeitnahen Umsetzung im Vordergrund stehen.

Die Evaluation des Demonstrators konnte die Akzeptanz von Informationsdiensten mittels AR-Technologie und mit einer Datenbrille nachweisen. Mit den Erfahrungen aus RadAR+ wird erhofft, dass dies dazu beitragen kann, dem Kunden zeitgemäße, innovative, komfortable Informationsdienste anzubieten, welche Nutzungshemmnisse im ÖV mittel- bis langfristig abbauen können. Welche Dienste und Funktionen nach Projektende im Verbundgebiet des RMV in die Praxis überführt werden können und mit welchem digitalen Medium, ist im Weiteren noch zu klären. Hierbei sind die weiteren technischen Entwicklungen zu beobachten, da die Navigation per Augmented Reality ein hohes Nutzerinteresse wecken konnte, die Gebrauchstauglichkeit der Datenbrille durch Größe, Gewicht und Preis jedoch derzeit noch sehr begrenzt ist. Auch die weitere Entwicklung der gesellschaftlichen Akzeptanz zur Nutzung von Datenbrillen im öffentlichen Raum muss hier beobachtet werden.

Hardwareseitig haben die Abstimmungen zur Ausstattung der Gebäudeteile mit Bluetooth-Baken im Übergangsbereich vom Fernbahnhof zum Flughafen zwar den Projektablauf mit verzögert, schlussendlich konnte aber erreicht werden, dass die Nachhaltigkeit der Nutzung der aufgebauten Infrastruktur gewährleistet ist. Hier kann die Fraport die im Projekt RadAR+ beschafften Bluetooth-Baken in die eigene Beacon-Infrastruktur integrieren.

Aus den Erfahrungen aus RadAR+ besteht weiterer Forschungsbedarf für nachhaltige Lösungen bei folgenden Themen:

- Ausgestaltung und Weiterentwicklung adaptiv lernender Systeme
- Umsetzung und Ausgestaltung umgangssprachlicher Spracheingabe in Diensten des ÖPNV zur Unterstützung der Reisebegleitung
- Optimierung der Indoor-Ortung für komplexe Navigationsanwendungen
- Potential für Aufenthaltsempfehlungen im Rahmen einer Reisekette
    - Proaktive Maßnahmenempfehlung zum Aufenthalt/ zur Verkehrsmittelwahl des Nutzers

- Einbindung weiterer mobiler Endgeräte und Optimierung von User Interfaces für die Nutzung von Reisebegleitdiensten.

4 Veröffentlichungen

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit für RadAR+ wurde das Projekt durch die rms GmbH im Rahmen der nachstehenden Veranstaltungen oder Veröffentlichungen präsentiert und bekannt gemacht(Gesamtheitliche Darstellung der Veröffentlichungen erfolgt durch den Gesamtkoordinator):

- Konferenzbeitrag 18.10.2018: „RadAR+ Ein Augmented Reality Mobilitätsagent – Unterstützung oder Hemmnis?“, Kongress Mobilität Querdenken der Bayern Innovativ GmbH, Nürnberg, ein Tandemvortrag in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IML, Frau Wagner; der rms GmbH, Benjamin Kolbe
- Konferenzbeitrag 15.11.2018: „RadAR+ - Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf der Basis von Augmented Reality“ Kongress POSNAV, Berlin der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V., ein Tandemvortrag in Zusammenarbeit mit der HaCon GmbH, Heike Twele; der ubimax GmbH, Falko Schmid; der rms GmbH, Benjamin Kolbe
- Präsentation des Projektes bei der ÖPNV-Lab Eröffnung des HOLM am 14.02.2019
- Veröffentlichung 05.2019 Internationales Verkehrswesen
- Veröffentlichung 08.2019 Nahverkehr

RadAR+

Konzept für Indoor- und Fernrouting

(2016 – Q1/2017)

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation 4
2. Zielsetzung 5
3. Vorgehen 5
4. Indoorrouting und -navigation 5
4.1. Orientierung 6
4.1.1. Auswirkung umweltbedingter und individueller Einflüsse auf die Orientierung 6
4.1.2. Wegfindungsstrategien 7
4.1.3. Auswirkungen von Karten und Beschilderung auf die Orientierung 7
4.2. Schlussfolgerungen für die Navigation 9
4.2.1. Pläne 9
4.2.2. Anweisungen und Beschilderung 10
4.2.3. Piktogramme 11
4.2.4. Merker 11
4.2.5. Navigation im Fahrzeug 11
4.2.5.1. Bestätigung des richtigen Fahrzeuges an der Haltestelle ohne Kommunikation mit dem Fahrzeug 11
4.2.5.2. Bestätigung des richtigen Fahrzeuges an der Haltestelle mit Kommunikation mit dem Fahrzeug 11
5. Indoorrouting/Fernrouting und Navigation 12
5.1. Stand der Technik Fernrouting 12
5.1.1. Klassisches Fern-Routing 12
5.1.2. Spezielle Anforderungen beim Routing und der Navigation in RadAR+ 14
4.1.2.1 Notwendige POIs für die Routenberechnung 14
4.1.2.2 Berücksichtigung von Indoorkoordinaten bei der Routensuche 16
5.1.2.1.1. Anpassung der Indoorverweildauer 16
5.1.2.1.2. Crowdsourcingbasierte Datensammlung von Daten zu Check-In und Zeiten für die Sicherheitskontrollen 17
5.1.2.2. Berücksichtigung von Optionen innerhalb des Routings 17
5.1.2.3. Berücksichtigung von Echtzeitdaten innerhalb des Routings 21
5.1.2.3.1. Echtzeitdaten zum ÖV 21

5.1.2.3.2. Echtzeitdaten zum Zustand der Gebäudeausstattung 21
5.1.2.4. Alternativrouting aufgrund von ÖV-Echtzeitdaten 22
5.1.2.5. Alternativrouting aufgrund von Crowdsourcing-Gebäudeinfrastrukturechtzeitdaten....22
5.1.2.6. Alternativrouting aufgrund von Abweichungen innerhalb der ÖV-Navigation.....22
5.2. Indoorrouting und Navigation 22
5.2.1. Indoorrouting aktuell 22
5.2.2. Indoorrouting in *DYNAMO* 26
5.2.2.1. Datengrundlage für Gesamtrouting.....26
5.2.2.2. Datengrundlage für Indoorrouting.....27
5.2.2.2.1. Navigation 27
5.2.2.2.2. Datenpflege 27
5.2.2.3. Identifiziertes Weiterentwicklungspotential 28
5.2.3. Indoorrouting in RadAR+ 28
5.2.3.1. Berechnung der in der Navigation frei verfügbaren Zeit 29
5.2.3.2. Information des Kunden bei Gefährdung der Zielerreichung Indoor und Ablauf der frei verfügbaren Zeit 30
5.2.3.3. Möglichkeit des Kunden innerhalb der Indoornavigation ein neues Routing anzustoßen 31
5.2.3.4. Ausschluss von Indoorwegen innerhalb des Routings 31
5.2.3.5. Generierung Crowdsourcing basierter Echtzeitdaten zu Infrastrukturelementen 32
6. Indoorortung.....33
6.1. Stand der Technik/ Ortungsverfahren 33
6.1.1. Ortung mittels Received Signal Strength (RSS).....33
6.1.2. Ortung mittels Magnetfeldbestimmung.....35
6.1.3. Ortung mittels visueller Verfahren 35
6.1.4. Ortung mittels Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) 36
6.1.5. Ortung mittels Pedestrian Dead Reckoning (PDR) 37
6.2. Bewertung der verschiedenen Verfahren der Indoorortung 37
6.3. Ortungsvoraussetzungen am Flughafen Frankfurt und im Projekt RadAR$^+$.....39
6.4. Realisierungsschritte einer Ortung in RadAR$^+$.....40
Literatur.....42

1. Ausgangssituation

Mobilität ist ein bedeutender Faktor für den Menschen. Sie ermöglicht den Zugang zu einer Arbeits- oder Ausbildungsstelle, zu Dienstleistungen wie Ärzten oder Einkaufsmöglichkeiten, trägt maßgeblich zur Pflege von sozialen Kontakten bei und ist Voraussetzung für viele Freizeitaktivitäten. Während früher die Wegfindung hauptsächlich eigene Recherchearbeit auf Karten voraussetzte, wird schon seit geraumer Zeit dem Nutzer von Autonavigationssystemen diese Arbeit abgenommen. Man steigt vor seiner Haustür in sein Fahrzeug ein und wird bis zum Ziel navigiert. Einige aktuelle Navigationssysteme berücksichtigen hierbei auch die Auslastung der Straßen und schlagen bei Stau auf der berechneten Strecke, wenn vorhanden, zeitlich schnellere Alternativrouten vor, die der Nutzer annehmen oder ablehnen kann. Reisen wird dadurch komfortabel und spontan.

Auch für den Öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) gibt es über verschiedene Webauftritte und Apps Unterstützung bei der Planung und Durchführung von Reisen mit dem ÖPV. Dabei werden die Nutzer auch adressscharf geroutet, also nicht nur von Haltestelle zu Haltestelle. Zusätzlich werden dem Nutzer Verspätungen und Ausfälle in der Fahrgastinformation angezeigt, Hinweise auf Baustellen und Störungen gegeben sowie Alternativen auf Basis der Echtzeitdaten und Prognosen angeboten. In einigen Forschungsprojekten wurden bereits Verfahren entwickelt, bei der ein Nutzer seine Verbindung hinterlegen kann und über Veränderungen aktiv per Push-Nachrichten informiert wird. Die Deutsche Bahn bietet bereits eine Benachrichtigung per E-Mail an. In einigen F+E-Projekten wie z.B. *DYNAMO* und m4guide wurden Verfahren zur Ortung und Navigation auf Fußwegen sowie in Gebäuden erprobt. Aufgrund der für eine Fußgängernavigation erforderlichen höheren Anforderungen an die Ortungsgenauigkeit sowie der in der Regel für den Straßenverkehr optimierten routingfähigen Netze, konnte keine qualitativ hochwertige Fußgängernavigation auf Basis von GPS outdoor entwickelt werden.[1] Da die Orientierung und der Umsteigevorgang in einem großen Bauwerk von vielen Fahrgästen als Stressfaktor vor allem in einer unbekannten Umgebung erlebt wird und eine Barriere für die ÖPV-Nutzung darstellt, wurde in diesen und einigen weiteren Projekten auch die Indoor-Navigation in Umsteigebauwerken des ÖPV mit verschiedenen Ortungsverfahren getestet. Einige dieser Verfahren sind mit einem hohen Datenerfassungs- und Pflegeaufwand für eine zusätzliche Infrastruktur verbunden, andere unterliegen aufgrund der technischen Rahmenbedingungen zu großen Schwankungen, um eine exakte Ortung zu ermöglichen. Die Nutzung von Sensoren in Endgeräten wie einem Smartphone erwies sich dabei als schwierig, da die Qualität dieser bei verschiedenen Endgeräten sehr unterschiedlich ist und die Kalibrierung nicht fein genug abgestimmt werden kann, um eine marktreife Lösung auf dieser Basis zu entwickeln.

2. Zielsetzung

RadAR+ steht für „Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf Basis von Augmented Reality“. Ziele für das Indoor- und Fernrouting sind neben einer auf die Anforderungen des Nutzers optimierten Reiseplanung auch die Reisebegleitung, d.h. die Navigation im ÖPV und in Gebäuden. Diese Navigation soll auch „hands free“ durch die Nutzung einer Datenbrille möglich sein, d.h. mit Hilfe von Augmented Reality. Navigation bedeutet in diesem Zusammenhang, den Nutzer auch bei einer Abweichung von der geplanten Route möglichst rechtzeitig zum Ziel zu führen. Sofern der Nutzer z.B. während eines Umsteigevorgangs über freie Zeit verfügt und nicht den schnellsten Weg zum nächsten Zwischenziel nehmen muss, Im Projekt steht dabei konkret die Reise mit dem ÖPV bis zum Flughafen und hier Indoor bis zum Gate im Zentrum der Betrachtung.

RadAR+ soll als Reiseassistenzsystem Möglichkeiten zur Aufenthaltsgestaltung anbieten. Diese Angebote sollen sich nach den jeweiligen Vorlieben und Gewohnheiten des Nutzers richten. Trinkt der Nutzer gern einen Kaffee oder stöbert häufig in Zeitschriftenläden um sich die Wartezeit zu verkürzen, so soll ihm der Assistent unter Berücksichtigung der verfügbaren Zeit die entsprechenden Vorschläge unterbreiten und ihn dorthin navigieren. Eine exemplarische Überprüfung dieses Ansatzes wird mit Hilfe der Point of Interests (POIs) am Flughafen angestrebt. RadAR+ hat sich zum Ziel gesetzt, adaptiv die Bedürfnisse der Nutzers zu berücksichtigen, die Wegefindung visuell auf Datenbrillen zu unterstützen und die Reiseassistenz vollständig mittels Sprachein- und –ausgabe zu nutzen.

3. Vorgehen

Das Konzept zum Indoor- und Fernrouting basiert auf den Anforderungen, die in den Anwendungsfällen und Szenarien definiert wurden. Dabei wird grundsätzlich unterschieden zwischen den Anforderungen an das Routing, also den notwendigen Prozessen zur Reiseplanung oder auch –umplanung, sowie der Navigation, d.h. der Reisebegleitung in der Durchführung. Da in Gebäuden kein GNSS für die Ortung zur Verfügung steht, ist aufgrund unterschiedlicher Ortungsverfahren ein Übergang zwischen Indoornavigation und der Reisebegleitung bzw. Navigation im ÖPV zu beschreiben.

4. Indoorrouting und -navigation

Um für den Nutzer eine hilfreiche Unterstützung bei der Orientierung und Navigation in Gebäuden wie Stationen[2] oder Flughäfen zu entwickeln wird zunächst herausgearbeitet, wie sich Menschen in Gebäuden orientieren. Daraus sowie aus den erhobenen Nutzeranforderungen werden Anforderungen an die Komponenten Indoorrouting und -navigation abgeleitet.

Auf Basis des aktuellen Standes der Technik, mit vor Ort verfügbarer Ortungsinfrastruktur und der Prüfung bestehender Datenbestände bzw. von zusätzlichen Anforderungen an die Datenerhebung und -erfassung werden Umsetzungsmöglichkeiten für RadAR+ diskutiert.

[2] Stationen werden hier synonym für Bahnhöfe verwendet

4.1. Orientierung

Was braucht ein Mensch um sich zu orientieren? Bzw. was sind hilfreiche Mittel um die Zielfindung zu unterstützen? Und wann wird besonders Hilfe benötigt?

4.1.1. Auswirkung umweltbedingter und individueller Einflüsse auf die Orientierung

Laut Li und Kippel (2016) haben sowohl persönliche als auch umweltbedingte Einflüsse Auswirkungen auf die Orientierung und Zielfindung. Bezüglich der Umweltbedingungen sind hier vor allen Dingen zu nennen:

- der visuelle Zugang/ die Sichtbarkeit von Wegen und Zugängen
- der Grad der architektonischen Ausdifferenzierung
- die Verwendung von Schildern und Zimmernummern
- sowie Raumpläne (vgl. Hölscher & Brösamle 2007).

Bezüglich der persönlichen Einflüsse sind:

- als auschlaggebendes Kriterium die Vertrautheit mit dem Gebäude,
- dann der individuelle Orientierungssinn
- und schließlich das Geschlecht (vgl. Hund & Padgitt 2010, Li & Kippel 2016 sowie Hölscher et al. 2006) zu nennen.

Dabei scheinen individuelle Einflüsse einen geringeren Einfluss auf die Wegfindung zu haben, als die Umweltbedingungen. In einem unübersichtlichen Gebäude mit vielen nicht sichtbaren Zugängen und Abzweigen bzw. einer schlechten Beschilderung verlaufen sich auch Personen mit einem ansonsten guten Orientierungssinn (vgl. Hund & Padgitt 2010 sowie Li & Kippel 2016), d. h. durch die Veränderung der äußeren Einflüsse kann maßgeblich zu einer besseren Orientierung innerhalb eines Gebäudes beigetragen werden.
Bezüglich der individuellen Einflüsse fällt auf, dass Personen mit gutem Orientierungssinn bei der Wegbeschreibung Wegelängen und Himmelsrichtungen verwenden. Frauen nutzen laut Hund & Padgitts (2010) Studie zudem mehr Landmarken in der Wegbeschreibung. Bei den Landmarken fiel in der Studie auf, dass sie hilfreich sind, wenn sie verwendet wurden um Entscheidungspunkte zu markieren. Werden sie in der generellen Beschreibung verwendet verwirrten sie die Probanden eher.

Laut den Studien bestehen keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Wegfindung. Individuelle Unterschiede spielen auch bei der Wegfindung mit Hilfe von Karten und Beschilderungen an sich eine geringere Rolle. Sich Überblickswissen über das Gebäude anzueignen fällt Personen mit einem guten Orientierungssinn generell wesentlich einfacher als Personen mit schlechtem Orientierungssinn (vgl. Hölscher et al. 2006).

4.1.2. Wegfindungsstrategien

Grundsätzlich übergeordnet zu den individuellen Einflüssen zeichnen sich verschiedene Wegfindungsstrategien bei den Probanden in unterschiedlichen Studien ab. Wobei auch hier individuelle Einflussfaktoren wie eine gute oder schlechte Orientierung bzw. äußere Einflüsse am Ende einen Einfluss darauf haben, welche Strategie präferiert wird. Hölscher et al (2006) beschreiben folgende 3 Strategien und die Probanden, die sich für die jeweilige Strategie entschieden haben:

1. Die zentrale Punktstrategie, welche darauf hinausläuft, dass vor allem über zentrale Punkte in einem Gebäude gelaufen wird, selbst wenn dies mit einem Umweg verbunden ist. Dies betrifft einen Zugang zum Gebäude über den Haupteingang, bzw. die Verwendung zentraler Korridore.
2. Die Richtungsstrategie, welche beinhaltet zunächst in die Richtung des Zieles zu laufen ungeachtet in welchem Stockwerk sich das Ziel befindet.
3. Und zum Schluss die Stockwerkstrategie, bei der im Gegensatz zur vorherigen Strategie zunächst das richtige Stockwerk aufgesucht wird und sich dann in die Richtung des Zieles begeben wird.

Die erste Strategie wird laut der Studie von Hölscher et al (2006) vor allem von Personen gewählt, denen das Gebäude unbekannt ist, während die zweite und dritte Strategie häufiger von Personen genutzt wird, die sich in der Umgebung schon auskennen. Dabei haben die Personen, die die zweite Strategie gewählt haben, sich am häufigsten verlaufen.

4.1.3. Auswirkungen von Karten und Beschilderung auf die Orientierung

Außerdem beschreiben Hölscher et al in mehreren Studien die Auswirkung von Karten und Beschilderungen auf die Wegfindung. In Hölscher et al. (2007b) wird beschrieben, dass Karten allein die geringste Hilfe bei der Wegfindung vor Ort bieten. Sie setzen einen hohen Abstraktionsprozess voraus. Die Karte muss vom Leser auf die vorgefundene Realität übertragen werden was nicht immer gelingt. Wesentlich nützlicher sind laut ihren Studien Beschilderungen. Der Nutzer wird zum Ziel geführt, ohne dass er sich Wegefolgen merken oder den Weg von einem Plan auf die Realität übertragen muss. Er muss auf dem Schild nur sein Ziel erkennen und der entsprechenden Anweisung folgen. Navigationsanweisungen können darauf aufbauen und entsprechend der Beschilderung die nächste Anweisung geben. Diese Art der Navigation macht für den Nutzer jedoch die Umgebung nicht vertraut. Dadurch, dass nur Anweisungen gefolgt wird, tritt kein Lernprozess bezüglich der Umgebung ein. Hier können Pläne wiederum sehr hilfreich sein. Sie helfen bei der Reiseplanung vorab sich mit unbekannten Gebäuden bekannt zu machen.

In einer weiteren Studie werden von Hölscher et al. (2007) auch kognitive Effekte von unterschiedlichen Karten verglichen, zum einen nichtausgerichtete Flucht- und Rettungspläne pro Etage sowie überarbeitete Pläne, in denen die aktuelle Position sowohl in der horizontalen als auch

der vertikalen Ebene im Gebäude dargestellt waren. Zusätzlich konnten einige Probanden auch die Beschilderung bei der Wegfindung nutzen. Es stellte sich heraus, dass die Probanden, die Schilder und Pläne verwenden durften, Pläne häufig vernachlässigten, bzw. nicht extra anhielten, um sich neu zu orientieren, ungeachtet der Tatsache ob es sich um überabeitete/verbesserte Pläne oder unausgerichtete Flucht- und Rettungspläne handelte. Dennoch reduzierte sich die Wegelänge der Personen, sowohl Pläne als auch die Beschilderung in Kombination nutzten gegenüber einer Verwendung von ausschließlich Plänen oder ausschließlich der Beschilderung. Dabei halfen Pläne vor allem dabei, sich in einer unbekannten Umgebung einen Überblick zu verschaffen, während bei der Durchführung des Weges prioritär auf die Beschilderung geachtet wurde. Schildern zu folgen benötigt dabei weniger kognitive Aufmerksamkeit. Zudem müssen die Probanden sich keine Wege merken, was diese bevorzugten. Bei einer ausschließlichen Nutzung von Schildern wurde zudem eine höhere Effektivität bei der Erreichung des Zieles in kürzerer Zeit mit weniger Umwegen festgestellt als bei der ausschließlichen Verwendung von Karten bzw. Plänen.

Auch eine Studie von Bigler et al. (2014) hatte zum Ergebnis, dass Personen, die nur eine Karte zur Orientierung bekommen, signifikant länger zum Ziel brauchen, als Personen, die Wegeanweisungen folgen. Um den Nutzer in einer unbekannten Umgebung zu unterstützen reicht es somit nicht, ihm nur Pläne zur Verfügung zu stellen. Wegeanweisungen sind für die Zielfindung hilfreich. In Kombination mit der zuvor beschriebenen Wegfindung mittels Beschilderung, kann dem Nutzer in RadAR$^+$ somit eine optimale Navigation angeboten werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die Elemente bzw. die Beschilderung, die für die Wegfindung verwendet werden, auch vor Ort vorhanden sind. Der Abgleich mit der Realität sollte zu keinen Unstimmigkeiten führen. Da abweichende Informationen zu Verwirrung führen und dem Nutzer bei der Wegfindung nicht unterstützen.

Im Folgenden werden einige Regeln für die effektive bzw. für den Nutzer hilfreiche Beschilderung in Gebäuden erläutert. Ein RAS hat hier wenige Einflussmöglichkeiten, da diese Punkte vor Ort schon vorhanden sein sollten. Dennoch werden sie erläutert, um das Konzept der Orientierung des Menschen zu verstehen und ggf. Anreize zu geben, wo ein RAS wie RadAR$^+$ unterstützen kann.

Bei der Beschilderung in Gebäuden werden unterschiedliche Konzepte umgesetzt. In der Fokusgruppe zu Nutzerbedürfnissen mit 5 Experten aus dem Bereich Wegeleitsysteme wurden einige essentielle Voraussetzungen genannt, die erfüllt sein müssen, damit die Orientierung in unbekannten Gebäuden leichter wird. So müssen die Informationen, die für die Nutzer gedacht sind gut sichtbar platziert werden. Außerdem sollten Informationen sparsam aber dennoch ausreichend zur Orientierung verwendet werden. Zu viele Informationen verwirren die Nutzer nur, zu wenige reichen nicht aus und führen im schlimmsten Fall zu Verwirrung. Beim Punkt Selektion von relevanten Informationen für die Nutzer wird das größte Potential eines personalisierten RAS gesehen. Informationen sollen je nach Situation des Nutzers individuell zusammengestellt und präsentiert werden, d.h. nur Schilder, die für die eigene Wegebewältigung relevant sind, werden in der Beschreibung verwendet. Eine Überflutung mit unnötigen Hinweisen soll damit ausgeschlossen werden.

In den Filmen „Leitsysteme für Menschen - Im Reich der Schilder“ werden einige Grundlagen beschrieben, worauf bei der Ausgestaltung von Beschilderungen geachtet werden muss. Zunächst müssen die Schilder gut sichtbar angebracht werden. Bei einem Blickwinkel von über 40 Grad verschwinden sie aus dem Sichtfeld. Das bedeutet, dass auch zusätzliche Beschilderung oder Infrastruktur wie z.B. QR-Codes, die ggf. im Rahmen von RadAR+ angebracht werden soll, um für die Navigation verwendet zu werden, nicht außerhalb des Blickwinkels befestigt werden darf.

Auf den Schildern dürfen nur wenige und nur relevante Informationen abgebildet werden, ansonsten kommt es schnell zu einer Blockade des Kurzzeitgedächtnisses und eine Person kann sich nicht mehr daran erinnern, was kurz zuvor auf den Schildern abgebildet war. Zudem wird darauf hingewiesen, dass im Stressfall die Fähigkeit des Sehens abnimmt, d.h. Informationen können nicht mehr im selben Umfang erfasst werden. In RadAR+ kann hier die Datenbrille ergänzend genutzt werden. Mittels Texterkennung der Schilder kann abgeglichen werden, ob sich der Nutzer noch auf dem richtigen Weg befindet. D.h. der Nutzer muss die Informationen der Schilder nicht mehr in Gänze erfassen, wenn das System ihn hier unterstützen kann und mittels Richtungsanweisungen im Sichtfeld die weiteren Wegeanweisungen einblendet.

Zusätzlich müssen Schilder über ausreichend Kontraste verfügen, sich den lokalen Gegebenheiten anpassen und thematisch eindeutig sein, d.h. Farbkonzepte sollten innerhalb des Gebäudes oder schon auf dem Weg dahin einheitlich sein. Wird die Bahn beispielsweise immer in rot abgebildet, sollte im Gebäude diese Farbgebung übernommen werden. Auch Piktogramme sollten nicht vom regionalen Konzept abweichen. Wird in einem Flughafen der Weg zum Bahnhof ausgeschildert, sollten die Piktogramme und das Corporate Design des Bahnbetreibers auf den Schildern verwendet werden.

Hilfreich in der Orientierung hat sich außerdem ein schneller Zugang zur Information erwiesen, wo man sich im Gebäude befindet. Ist man beispielsweise in Terminal B sollte dies leicht an der vorgefundenen Beschilderung abgelesen werden können. Diese Bestätigung der Position hilft, Sicherheit zu gewinnen und schlussendlich Stress bei der Wegfindung abzubauen.

4.2. Schlussfolgerungen für die Navigation

Aus den zuvor beschriebenen Orientierungsstrategien von Menschen lassen sich folgende Anforderungen an das Reiseassistenzsystem in RadAR+ ableiten:

4.2.1. Pläne

Pläne sind vor allem wichtig um sich einen Überblick über ein unbekanntes Gebäude zu verschaffen. Sie können im Vorfeld der Reise dazu dienen Vertrautheit mit dem Gebäude aufzubauen und grundsätzlich Sicherheit aufbauen, die Reise stressfrei durchzuführen. Das heißt Pläne sollten schon in der Routenplanung zur Verfügung stehen. Dann ist darauf zu achten, dass sie nicht mit zu vielen Informationen überladen sind. Zu viele Informationen überstrapazieren das Kurzeitgedächtnis und Karten erfordern sowieso einen hohen kognitiven Aufwand, daher sollten sie nicht zusätzlich mit irrelevanten Informationen überlagert werden.

Außerdem wird die Reiseplanung meist zu Hause und somit im WLAN durchgeführt. Je nach Größe der Pläne und der Verfügbarkeit vom mobilen Internet vor Ort kann dies Auswirkungen auf ihre Verwendung haben. Ist das Mobilfunknetz vor Ort unzureichend oder der Vertrag des jeweiligen Nutzers nicht ausreichend, stehen sie ggf. bei der Reisedurchführung nicht zur Verfügung.

4.2.2. Anweisungen und Beschilderung

Wie im Kapitel 3. Beschrieben, helfen Menschen Wegeanweisungen und die Beschilderung signifikant bei der Zielfindung. Wie in den Studien berichtet haben sie eine höhere Erfolgsquote als die alleinige Nutzung von Karten. Aus diesem Grund sollten in dem RadAR+ RAS Wegeanweisungen eine große Rolle spielen. Navigationsanweisungen können hier je nach Ortungsverfügbarkeit und -genauigkeit in unterschiedlichen Formen angeboten werden. Die Ortungsverfahren und die Ortungsgenauigkeit werden noch ausführlich im Kapitel 6 beschrieben.

Im Falle dass die Position des Nutzers und die Richtung in die er läuft genau bekannt sind, kann in die Datenbrille ein Pfeil in die zu gehende Richtung eingeblendet werden. Das erfordert keinerlei Abstraktionsanstrengung durch den Nutzer und ist auch im Stressfall eindeutig zu verstehen. Ist keine exakte Ortung möglich, der Standort jedoch einigermaßen bekannt, kann die örtliche Beschilderung in die Navigation aufgegriffen werden. So könnte die Anweisung folgendermaßen lauten: „Folgen Sie der Beschilderung in Richtung Terminal 1 A“. Zur Sicherheit kann in die Datenbrille das entsprechende Schild eingeblendet werden. Ganz wichtig ist hier eine konsistente Informationswiedergabe. Ist das Schild mit der entsprechenden Anweisung vor Ort mit blauem Hintergrund und weißer Schrift abgebildet, so sollte dies genau so auch in der App erscheinen. Die Navigationsanweisung wird durch den Kunden mit den Gegebenheiten vor Ort abgeglichen. Kommt es hier zu unterschiedlichen Darstellungen so bleibt immer die Unsicherheit, ob es nicht auch ein Schild gibt, welches exakt die genannte Wegeanweisung enthält und der Nutzer sich aktuell noch auf dem falschen Weg befindet. Bei einer funktionierenden Texterkennung mithilfe der Datenbrille kann bei einer positiven Übereinstimmung im Sichtfeld des Nutzers das entsprechende Schild in der Datenbrille markiert werden.

Stellt der Nutzer fest, dass die beschriebenen Wegfindungselemente oder Anweisungen nicht mit den Gegebenheiten vor Ort übereinstimmen und ist eine Positionsbestimmung mittels Bluetooth oder optischer Erkennung nicht möglich, sollte es ihm möglich sein, seine Position manuell zu kalibrieren. Bei Nutzung der Datenbrille muss die manuelle Kalibrierung mittels Sprachbefehl durchgeführt werden können. Für den Flughafen müsste der Navigationsassistent die Anweisung: ich befinde mich im Terminal 1A Ankunft zu einer Neupositionierung führen. Im Bahnhof sollte die Gleisbezeichnung „Ich befinde mich an Gleis 1“ eine Positionierung nach sich führen. Wird die Navigation auch auf dem Smartphone angeboten, können dem Nutzer Karten zur Verfügung gestellt werden, auf denen er seine aktuelle Position angibt. Anschließend kann ein Routing von der Position zum gewünschten Ziel durchgeführt werden. Für die Positionsnachführung wird dann das Pedestrian Dead Reckoning, Verfahren, wie in Kapitel 6.1.5. beschrieben, verwendet. Sollten wieder andere Verfahren der Positionserkennung (mittels Bluetooth und/oder optischer Erkennung) zur Verfügung stehen, kann die durch das Pedestrian Dead Reckoning-Verfahren nachgeführte Position aktualisiert, bzw. angepasst werden.

4.2.3. Piktogramme

Piktogramme können unterstützend bei der Wegfindung dienen. So können signifikante Piktogramme vor Ort aufgenommen werden und dann im Rahmen der Wegfindung zur Verfügung gestellt werden. D. h. wenn beispielsweise der nächste Meetingpoint gesucht wird, kann dem Nutzer das Piktogramm mit dem Hinweis gezeigt werden, diesem Schild zu folgen.
Aufgrund des Wiedererkennungseffekts ist es wichtig, dass die Piktogramme in allen Medien des RAS und vor Ort gleich aussehen.

4.2.4. Merker

Für die optische Ortung besteht die Möglichkeit die Gebäudestruktur zu verwenden und auszuwerten. Eine differenzierte Darstellung der Thematik findet sich in Kapitel „6.1.3. Ortung mittels visueller Verfahren“. Zusätzlich können Merker wie QR-Codes oder Strichcodes in der Gebäudestruktur angebracht werden. Wird dies durchgeführt, sollten sie für die visuelle Ortung gut sichtbar in einem maximal 40 Grad Winkel angebracht werden. Wie im Kapitel „3. Orientierung“ beschrieben ist dies nötig, damit sie nicht aus dem Sichtfeld des Nutzers verschwinden und somit Voraussetzung um eine automatische Verwendung mit Hilfe der Datenbrille zu gewährleisten.

4.2.5. Navigation im Fahrzeug

Wie im Kapitel 3.3.Auswirkungen von Karten und Beschilderung auf die Orientierung beschrieben gibt die Information wo sich ein Nutzer aktuell befindet Sicherheit und hilft somit Stress zu vermeiden. Dies lässt sich auch auf Situationen während der Navigation zum Fahrzeug übertragen.

4.2.5.1. Bestätigung des richtigen Fahrzeuges an der Haltestelle ohne Kommunikation mit dem Fahrzeug

Unter Voraussetzung einer ausreichend genauen Ortung kann dem Nutzer seine aktuelle Position, als Einstiegsposition zum richtigen Fahrzeug in der richtigen Richtung bestätigt werden. Dafür muss vom RAS die Position des Nutzers mit der Position des Busmastes, des Gleises oder des Gates verglichen werden.
Da eine ausreichend genaue Ortung in bisherigen Forschungsprojekten in dem dafür notwenigen Maße nicht realisiert wurde, ist dem Kunden an der Haltestelle die, falls vorhanden, exakte Position (Gleisangabe, Bussteigangabe, Gate) die Liniennummer und die Richtung seiner Linie/seines Fluges über sein Endgerät mitzuteilen.

4.2.5.2. Bestätigung des richtigen Fahrzeuges an der Haltestelle mit Kommunikation mit dem Fahrzeug

In IP-KOM-ÖV ist die Gestaltung der Kommunikation zwischen Kundenendgeräte und Bordrechner standardisiert festgehalten. Damit ist es möglich Informationen des Bordrechners an das Navigationsgerät des Kunden zu übermitteln und ihm somit zu bestätigen, dass er im richtigen Fahrzeug sitzt, bzw. ihn darauf hinzuweisen falls dies nicht der Fall ist. Dieser Kommunikation vorausgesetzt ist eine entsprechende Fahrzeugausstattung.
In *DYNAMO* wurden im Rahmen eines Tests für Blinde einige Fahrzeuge der Straßenbahnlinie 16 mit zusätzlicher Bluetoothinfrastruktur ausgestattet um Informationen des Fahrzeuges an das Kundenendgerät zu übermitteln. Angezeigt wurden die Liniennummer, die Endhaltestelle sowie die

nächste Haltestelle. Diese Informationen wurden jedoch separat betrachtet und nicht innerhalb der ÖV-Navigation angeboten. Dies ist in RadAR+ exemplarisch zu ergänzen. So basierte die *DYNAMO* Abweichungserkennung innerhalb des ÖVs im Fahrzeug rein auf der geographischen Positionsbestimmung des Nutzerendgerätes. In RadAR+ ist hier die hoffentlich genauere Information des Fahrzeuges zu integrieren. Nächste Haltestelle, Liniennummer und Endhaltestelle sind somit über das Fahrzeug erhältlich und können mit den Daten zur hinterlegten Route verglichen werden.

5. Indoorrouting/Fernrouting und Navigation

Ziel in RadAR+ ist die Navigation des Kunden bist zu seinem Ziel. Navigation ist hierbei die Unterstützung des Kunden durch das RAS während der Reise mit Hilfe von Wegeanweisungen und Informationen zu selbst- oder fremdindizierten Abweichungen von der geplanten Route. Einer Reise vorangestellt ist somit die eigentliche Planung dieser. Dabei stellt der Kunde eine Reiseanfrage an das RAS, welches diese unter Berücksichtigung eventueller durch den Kunden oder durch das adaptive RAS gesetzte Optionen berechnet. Optionen können beispielsweise die Verkehrsmittelwahl, die Umsteigegeschwindigkeiten oder die Barrierefreiheitseinstellungen sein. Eine ausführliche Erläuterung der in RadAR+ verwendeten Optionen erfolgt im Konzept „2.1 Konzeptentwicklung für die adaptive Nutzermodellierung“. Die Berechnung der Reise wird Routing genannt und ist die Grundlage für die spätere Navigation während der Reisedurchführung. Aktuelle Reiseplanungssysteme berechnen auch heute schon Verbindungsauskünfte unter Berücksichtigung von Optionen. Der aktuelle Stand hierzu wird zunächst vorgestellt, um dann auf die Erweiterungen im Rahmen von RadAR+ detailliert einzugehen.

Zunächst erfolgt eine kurze Einführung in das Fernrouting allgemein. Dieses gibt den Rahmen für die gesamte Reisekette. Der Indoorbereich wird in aktuellen Reiseplanungssystemen im Routing und dann bei der Berechnung einer Reisekette unter Verwendung von Optionen zur Barrierefreiheit betrachtet. Wenn zum Beispiel ein Weg ohne Verwendung von festen Treppen durch den Kunden gewünscht wird. RadAR+ geht hier weiter und möchte den Kunden auch navigieren und bei vorhandener Zeit während der Navigation Aufenthaltsempfehlungen geben. Dies macht es nötig, dass das Indoorrouting auch separat innerhalb der Reiseroute angestoßen und neu berechnet werden muss, wenn beispielsweise der geplante Weg aufgrund von Kundenabweichungen so nicht mehr durchgeführt werden kann. Um dies differenziert darlegen zu können wird dem Indoorrouting ein eigenes Kapitel gewidmet. Die Auswirkungen auf die Navigation werden jeweils begleitend aufgelistet.

5.1. Stand der Technik Fernrouting

5.1.1. Klassisches Fern-Routing

Für die Fahrplanauskunft von A nach B wird aktuell auf www.rmv.de der schnellste Weg auf Grundlage eines Knoten-Kantenmodells berechnet, Es handelt sich nicht um ein Fernrouting im eigentlichen Sinne sondern um ein Routing im öffentlichen Verkehr. Dabei sind die Verkehrsmittel des

Nah- und Fernverkehrs berücksichtigt. Im Folgenden wird aus diesem Grund vom ÖV-Routing gesprochen.

In Rad AR+ soll auf die Erkenntnisse vorangegangener Forschungsprojekte aufgebaut werden. Konkret bedeutet dies, dass auf das im Forschungsprojekt *DYNAMO* entwickelte intermodale Routing aufgebaut werden soll. Auch dieses basiert unter anderem im ÖV-Bereich auf einem Routing auf einem Knoten und Kantenmodell.

Beim intermodalen Routing wird ein Weg unter Verwendung verschiedener Verkehrsmittel bewältigt. Unabhängig davon erfolgt die Berechnung der Wegeabschnitte je nach Verkehrsmittel auf speziellen Datengrundlagen. Datengrundlagen für den Öffentlichen Verkehr (ÖV) sind aktuellen Reiseinformationssystemen bekannt und werden dem Kunden auf Portalen wie www.rmv.de, www.bahn.de bzw. den korrespondierenden Apps angeboten. In diesen Reiseauskünften werden auch für die Fahrrad- oder Autoabschnitte der Reise jeweils dafür zugeschnittene Datengrundlagen verwendet. Für die Fußwegabschnitte der Reise fehlt in einigen Fällen noch das passende Datenmaterial.

Auch das RMV-Auskunftssystem ist intermodal angelegt, so dass in einer Routenfindung die Verwendung von IV- und ÖV-Verkehrsmitteln möglich ist. IV-Verkehrsmodi wie das Fahrrad oder das Auto werden zurzeit ausschließlich im Vor- und/oder Nachlauf einer Reise mit dem ÖV berücksichtigt. Im Rahmen von RadAR+ ist im Vor- und Nachlauf zusätzlich der Weg vom Bus-, Nah oder Fernbahnhof bis zum Gate im Flughafen zu berücksichtigen.

Die Verantwortung für die Ermittlung einer intermodalen Gesamtroute liegt beim HAFAS-Server der HaCon[3]. Dieser identifiziert in der Nähe von Start- bzw. Zieladresse geeignete Start- bzw. Ziel-Haltestellen. Bei der Auswahl spielen die Entfernung aber auch die verkehrliche Bedeutung und Nutzerpräferenzen eine Rolle. Die Nutzerpräferenzen werden in RadAR+ zum Teil adaptiv ermittelt, müssen jedoch durch den Kunden jederzeit einsehbar und änderbar sein. Die unterschiedlichen IV-Verkehrsmodi (zu Fuß, Fahrrad, Auto) bedingen den Umkreis in dem nach Haltestellen gesucht wird. Der Nutzer kann hier zwischen verschiedenen Entfernungen auswählen die er beispielsweise für die Bewältigung eines Fußweges zu gehen bereit ist. Die Auswahl vorgegebener Entfernungen ist standardmäßig in den Optionen zur Verbindungsabfrage hinterlegt.
Außerdem bestimmt der HAFAS-Server mögliche Übergangspunkte zwischen ÖV und IV.
Mit passenden IV-Routern, die über das jeweilige Kartenmaterial für den jeweiligen Modus verfügen wird ein 1:n Routing angestoßen (siehe Abbildung 4). In *DYNAMO* wurde von der IVU beispielsweise der IV-Router ICRoute angefragt, je nach gewünschtem Modus eine Verbindungsberechnung auf dem entsprechenden Netz (Fahrrad, Fußweg oder Auto) zu erstellen und an die HaCon zu übergeben.
Die eingestellten Nutzerpräferenzen werden bei dieser Routenfindung berücksichtigt. Das intermodale Auskunftssystem ermittelt dann im ÖV-Netz Verbindungsrelationen zwischen den möglichen Start- und Ziel-Haltestellen (n:m-Routing), wobei über die Gesamtroute (also inklusive der IV-Anteile), unter

[3] http://www.hacon.de/

Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen, optimiert wird. Dabei wird nicht nur vorwärts gesucht, sondern die Optimierung der Gesamtroute wird auch mit Hilfe einer Rückwärtssuche durchgeführt.
Daraus folgt eine (begrenzte) Anzahl von „optimalen“ Verbindungen z. B. mit möglichst kurzer Reisezeit oder möglichst wenigen Umstiegen unter Berücksichtigung der zeitlichen Randbedingungen (insb. Startzeit oder Ankunftszeit) (vgl. *DYNAMO* Meilensteinbericht 3; S.29ff).

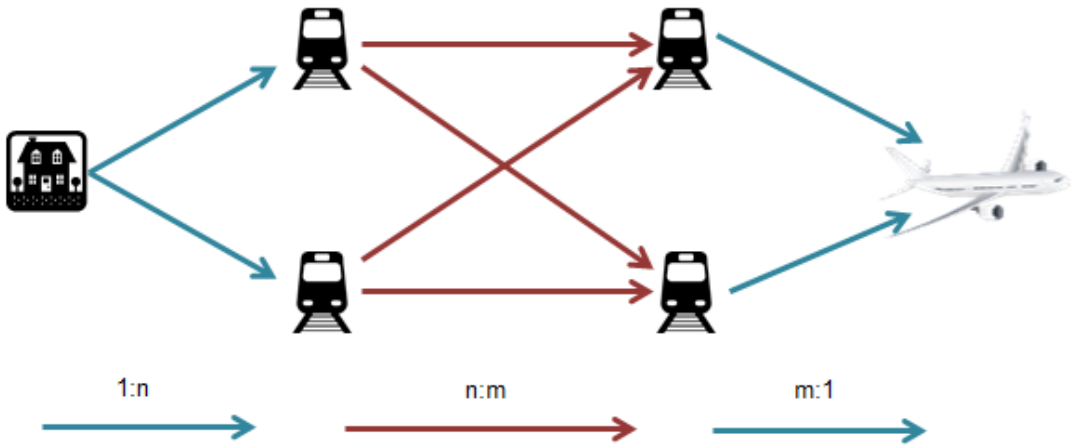


Abbildung 1

5.1.2. Spezielle Anforderungen beim Routing und der Navigation in RadAR+

In RadAR+ wird auf das in *DYNAMO* entwickelte Routing aufgesetzt. Im Fokus der Betrachtung steht hier jedoch das Routing und anschließend die Begleitung bis zum Gate. Das heißt das Routing im Nachlauf ist ein Routing zu einem Indoor-POI. Dafür müssen geeignete Datengrundlagen implementiert werden. Eine genauere Betrachtung des Indoorroutings wird im folgenden Kapitel vorgenommen.Berücksichtigung von Indoor-POIs
Bis dato werden keine Indoor-POIs in der Routenberechnung in der RMV- oder BAIMAuskunft berücksichtigt. RadAR+ hat sich hier zum Ziel gesetzt nutzerspezifisch Wege über entsprechende POIs am Flughafen bei vorhandener Zeit zu berechnen.
Dabei muss zwischen anroutbaren POIs im Rahmen der Gesamtroute und anroutbaren POIs im Rahmen der Navigation unterschieden werden. Letztere und ihre Verwendung im RAS werden im Kapitel „4.2.3.6 Berücksichtigung von POIs während der Navigation im Rahmen des Aufenthaltsmoduls“ beschrieben.

4.1.2.1 Notwendige POIs für die Routenberechnung

Die notwendigen Indoor-POIs für einen Weg durch den Flughafen sind der Check-In, die Sicherheitskontrolle und das Gate (Abflug und Ankunft).

1. Abfluggate

Die Identifizierung ob es sich um ein Ankunfts- oder Abflugsgate handelt erfolgt durch das RAS mithilfe der Flugnummer. Entweder ist diese Information in den Daten der Fraport direkt enthalten oder

das RAS legt diese Information fest indem sie Start und Ziel zu einer entsprechenden Flugnummer auswertet.

Handelt es sich um ein Abfluggate vom Frankfurter Flughafen, wird der Nutzer bis dahin vom RadAR+-RAS navigiert. Im besten Fall geschieht dies vollautomatisch. D.h. unter Eingabe der Flugnummer im Feld Ziel ist das RAS in der Lage das Gate als Ziel zu setzen. Im schlechtesten Fall erkennt der Kunde vor Ort, dass die Gatenummer im RAS nicht mit dem tatsächlichen Gate übereinstimmt. In diesem Fall muss das RAS die Eingabe einer Gatenummer am Flughafen in Frankfurt erkennen und eine Routensuche dahin ermöglichen. Als Zeitangabe für das Erreichen des Gates ist die Boardingzeit des entsprechenden Fluges zu übernehmen.

Für eine eindeutige Identifikation des Ziels innerhalb der App wird vor der Flugnummer oder dem Gate ein Flugzeugpiktogramm verwendet, analog einem Haltestellenpiktogramm oder den Piktogrammen für Adressen und allgemeinen POIs.

2. Ankunftsgate

Auch zu Ankunftsgates wird der Nutzer navigiert. Die Eingabe erfolgt analog der Eingabe zu Abfluggates, entweder automatisch durch Eingabe der Flugnummer oder nutzerindividuell durch Eingabe des Gates. Lediglich die Routenberechnung ist anderes. Wird ein Ankunftsgate angesteuert, müssen weder Check-In noch Sicherheitskontrollen passiert werden.

3. Check-In

Als Flugreisender mit ausschließlich Handgepäck besteht die Möglichkeit online einzuchecken. Das heißt ein Passieren des Check-Ins ist nicht notwendig. Dies ist beim Routing zu berücksichtigen und muss somit vorher durch den Nutzer eingegeben werden. Bei Eingabe einer Flugnummer als Ziel fragt das RAS den Nutzer: „Müssen Sie vor Ort noch Gepäck aufgeben oder einchecken?“ Bei Bestätigung ist der Weg über den passenden Check-In Bereich zu wählen. Der passende Check-In wird durch die Fraport zugeliefert. Die Verknüpfung zur Flugnummer muss in den Daten vorliegen bzw. möglich sein, damit der Nutzer am Ende bis zum für ihn richtigen Check-In-Bereich geroutet wird. Check-In-Zeiten sind sowohl beim Routing als auch in der Navigation zu verwenden. Entweder stehen diese Daten in aggregierter Form zur Verfügung und werden direkt von der Fraport zugeliefert, oder diese Daten werden mit Hilfe von Crowdsourcing berechnet. In letzterem Fall ist die Verwendung von default Werten nötig bis ausreichend valide Daten zur Verfügung stehen. Als default Werte sind die vom Flughafen angegebenen Zeiten für Flugreisende zu übernehmen.

Während der Navigation werden die Echtzeitdaten zu den aktuellen Check-In-Zeiten verwendet und die Route entsprechend damit aktualisiert. Die Echtzeitdaten werden durch die Fraport zugeliefert oder crowdsourcingbasiert zugeliefert.

4. Sicherheitskontrolle

Der Weg zum Gate führt zwangsläufig über die Sicherheitskontrollen.

Die Zeiten für die Dauer des Passierens der Sicherheitskontrolle müssen sowohl für die Routenplanung als auch in der Navigation zur Verfügung stehen. Bei der Routenplanung werden die Durchschnittszeiten für die Dauer des Passierens der Sicherheitskontrollen verwendet. Entweder stehen diese Daten in aggregierter Form zur Verfügung und werden direkt von der Fraport zugeliefert, oder diese Daten werden mit Hilfe von Crowdsourcing berechnet. Während der Navigation werden die

Echtzeitdaten zu den aktuellen Zeitdauern zum Passieren der Sicherheitskontrollen verwendet und die Route entsprechend damit aktualisiert. Die Echtzeitdaten werden durch die Fraport zugeliefert.

4.1.2.2 Berücksichtigung von Indoorkoordinaten bei der Routensuche

Wie in Kapitel „4.2.3.6. Berücksichtigung von POIs während der Navigation im Rahmen des Aufenthaltsmoduls“ beschrieben wird dem Nutzer im Rahmen der Navigation die Möglichkeit angeboten POIs in Gebäuden gezielt auf dem jeweiligen Endgerät auszuwählen und für die Routensuche zu verwenden. Das ursprüngliche Ziel der Reise bleibt in dem Fall erhalten, d.h. der POI wird als zusätzliches Indoor-VIA mit Verweildauer in der Routensuche verwendet. Die Verweildauer ist durch das Nutzermodell vorgegeben oder wird vom Nutzer individuell eingegeben.
Hier ist wichtig, dass die einzelnen POIs im Fahrplanauskunftssystem nicht bei der Texteingabe zur Verfügung stehen. Dies hätte zur Folge, dass jede Toilette oder jedes Café in der Start-Ziel-Suche gefunden werden würde (z. B. „Frankfurt Flughafen Terminal 1 Toilette an Gate 20“). Das heißt im Navigationssystem identifiziert der Nutzer ein POI. Dessen Mittelpunktskoordinate oder wenn vorhanden die Eingangskoordinate wird dem Gesamtroutingsystem übergeben, welches dann in der Lage ist mit der Koordinate (X,Y,Z) eine Routensuche anzustoßen. Voraussetzung dafür ist die Verwendung des gleichen Gebäudemodells für Routing und Navigation.

5.1.2.1.1. Anpassung der Indoorverweildauer

Bei Planung einer Reise kann der Nutzer des RAS Aussagen darüber treffen, ob es für ihn notwendig ist Indoor-POIs anzusteuern. Beispielsweise muss er bei Fahrtantritt zunächst eine Fahrkarte kaufen oder er muss in regelmäßigen Abständen eine Toilette aufsuchen oder er möchte an für ihn interessanten Punkten einer berechneten Route eine längere Verweildauer einplanen um sich einen interessanten Bahnhof anzuschauen oder einkaufen zu gehen. Die Vorstellungen der Kunden sind mannigfaltig. Diese Punkte differenziert in der Routenplanung aufzulisten würde die Reiseplanung unnötig verkomplizieren und decken am Ende nur einen Bruchteil der Anwendungsfälle aller Nutzer. Aus diesem Grund bietet das RAS in RadAR^{+} dem Kunden nach der Routensuche die Möglichkeit die Verweildauer an Stationen anzupassen. Als Bewertungsgrundlage für dieses Verfahren stehen Informationen zu den jeweiligen Stationen im RAS zur Verfügung. Verfügt die Station beispielsweise über einen Fahrkartenautomat, eine Toilette oder Einkaufsmöglichkeiten. Anschließend müssen die Stationen in der Detailansicht anwählbar und eine nachträgliche Verweildauer in Minuten definierbar sein. Dieses Verfahren macht für den Kunden schnell ersichtlich wie sehr sich seine Reisezeit verändert, wenn er an bestimmten Punkten mehr Aufenthalt einplant und hilft bei der Bewertung ob diese Reise dann immer noch interessant für ihn ist. Dieses Verfahren ist dann geeignet, wenn der Nutzer an bestimmten Stationen einen längeren Aufenthalt einplanen möchte. Benötigt der Nutzer tendenziell mehr Zeit beim Umsteigen so kann er dies in den Optionen bei der Definition der Umsteigezeiten vornehmen. Auch schon vor der Reiseplanung bekannte VIAs die der Nutzer ansteuern möchte um sich beispielsweise mit einem Bekannten zu treffen oder sich etwas anzuschauen können unter den Optionen im Punkt VIA definiert werden.

5.1.2.1.2. Crowdsourcingbasierte Datensammlung von Daten zu Check-In und Zeiten für die Sicherheitskontrollen

Werden keine Zeitangaben für den Check-In und die Sicherheitskontrollen von der Fraport zur Verfügung gestellt, können jene mittels Nutzerdaten zusammengestellt werden. Dafür sind um die jeweiligen Check-In Bereiche und Sicherheitskontrollen Radien zu definieren, die eine übliche Warteschlange vor Ort abdecken, Diese Warteschlangen sind vor Ort durch Markierungen definiert und können somit sehr gut abgeschätzt werden. Dann sind die Zeiten der in der Navigation zu einem Gate befindlichen Nutzer innerhalb dieses Radien durch die Endgeräte zu messen und anonymisiert an eine Datensammelstelle zu melden und dort aufzubereiten. Bei der Aufbereitung ist die Auswertung der Tageszeit und des Tages signifikant. Es wird angenommen, dass zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedliche Wartezeiten zu erwarten sind. Weiterhin wird in Schulferienzeiten eine längere Wartezeit angenommen als in der Schulzeit. Um hier valide Aussagen für die Verwendung der Zeiten innerhalb des Routings zu treffen sollten zunächst die Daten der Wartezeiten über einen längeren Zeitraum gesammelt und anschließend ausgewertet werden. Es wird angenommen, dass innerhalb der Testphase des Forschungsprojektes keine ausreichende Menge an Daten gesammelt werden kann um valide Aussagen zu treffen. Für eine Inbetriebnahme ist dies jedoch eine Möglichkeit Ganglinien zu Warteschlangen an den Flughäfen Crowdsourcingbasiert zu erheben. Für eine Verwendung in der Navigation sind die Daten anderer Nutzer jedoch auch kurzfristig einzubinden. So können aktuelle Zeitdauern für Check-In und Sicherheitskontrollen von anderen Nutzern die innerhalb der letzten Stunde die jeweiligen Punkte passiert haben verwendet werden um die tatsächliche Wartezeit mit der im Routing verwendeten Zeit abzugleichen. Unterscheiden sich jene signifikant, so dass eine Zielerreichung des Gates gefährdet ist, sollte dies dem Nutzer mitgeteilt werden mit dem Hinweis sich sofort bei den jeweiligen Punkten einzufinden.

5.1.2.2. Berücksichtigung von Optionen innerhalb des Routings

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Routenermittlung betrifft nicht den Kern des Routingalgorithmus an sich, sondern die individuellen Nutzervorgaben, die wie im Kapitel 4.1.1. Klassisches Fern-Routing beschrieben, beim Routing verwendet werden. Wie und welche individuellen Gewohnheiten des Nutzers ausgewertet werden, wird im Konzept des Unterarbeitspaketes (UAP) 2.1. „Konzeptentwicklung für die adaptive Nutzermodellierung“ beschrieben. Als Ergebnis werden Einstellungsmöglichkeiten definiert, die dann im Routing berücksichtig werden.

Diese Optionen sind zusätzlich zu schon in *DYNAMO* oder aktiven Auskunftssystemen verwendeten Optionen. Im Folgenden werden alle Optionen in RadAR$^+$ dargestellt. Sollte es sich um Einstellung aus *DYNAMO* handeln ist dies vermerkt und wird nicht weiter beschrieben. Abweichungen werden jedoch benannt und beschrieben.

Folgende Optionen sind in RadAR$^+$ einstellbar:

- Verkehrsmittel (ÖV-Verkehrsmittel analog *DYNAMO* anzubieten, Verkehrsmittel des Individualverkehrs analog *DYNAMO* anzubieten)
- Optionen zur Barrierefreiheit (leichte Änderung zu *DYNAMO*, daher erfolgt hier noch einmal eine komplette Aufzählung)
    - Folgende Profile:

        - Rollstuhlfahrer
        - Rollstuhlfahrer mit Hilfsperson
    - Folgende Einstellmöglichkeiten:
        - Auf dem Weg:
            - Keine Stufe
            - Max. eine Stufe
            - Keine Treppe
            - Keine Rolltreppe
            - Kein Aufzug
            - mind. 90cm Durchgangsbreite
        - Zustieg zum Fahrzeug
            - Keine Stufe/ebenerdig
            - max. eine Stufe
            - mind. 90cm Durchgangsbreite
- Umsteigegeschwindigkeit (aus *DYNAMO* plus Anfrage ob adaptive Einstellung der Geschwindigkeit durch den Nutzer erlaubt wird)
    - Individuelle Einstellmöglichkeiten
        - Langsam (3km/h)
        - Normal (4km/h)
        - Schnell (5km/h)
    - adaptiv lernend zulassen
        - ja
        - nein
- Maximale Umstiege (analog *DYNAMO*)
- VIAs (analog *DYNAMO* jedoch ist neben dem eigentlichen VIA optional die Verweildauer an diesem definierbar)
- Geschwindigkeit für Fußweg (aus *DYNAMO* plus Anfrage ob adaptive Einstellung der Geschwindigkeit durch den Nutzer erlaubt wird)
    - Individuelle Einstellmöglichkeiten
        - Langsam (3km/h)
        - Normal (4km/h)
        - Schnell (5km/h)
    - adaptiv lernend zulassen
        - ja
        - nein
- Geschwindigkeit für das Fahrrad (aus *DYNAMO* plus Anfrage ob adaptive Einstellung der Geschwindigkeit durch den Nutzer erlaubt wird)
    - Individuelle Einstellmöglichkeiten
        - langsam (15 km/h)
        - normal (20 km/h)
        - schnell (25 km/h)

    - adaptiv lernend zulassen
        - ja
        - nein

- maximale Entfernungen für den Fußweg und das Fahrrad analog *DYNAMO*
- Angabe zur Verwendung der Verkehrsmittel des Individualverkehrs im Vor- und Nachlauf, sowie der maximalen Entfernung analog *DYNAMO*
- Informationsfülle Indoor
    - Individuelle Einstellungsmöglichkeiten
        - detaillierte Informationen (aus Konzept zur adaptiven Nutzermodellierung zu entnehmen)
        - rudimentäre Informationen (aus Konzept zur adaptiven Nutzermodellierung zu entnehmen)
    - adaptiv lernend zulassen (Einstellung des Informationsgrad nach Vertrautheit des Gebäudes)
        - ja
        - nein
- Angaben zum Indoorrouting
    - nach Vertrautheit des Gebäudes
        - Individuelle Einstellmöglichkeiten
            - Routing über Haupteingänge bevorzugen
            - Immer die kürzeste Verbindung
        - adaptiv lernend zulassen (Einstellung des Indoorroutings nach Vertrautheit des Gebäudes)
            - ja
            - nein
    - Dürfen Informationen zur Funktionstätigkeit von Infrastrukturelementen (Rolltreppen, Aufzüge) beim Routing verwendet werden?
        - Ja
        - Nein
- Navigationsgerät
    - Auf der Datenbrille
    - Auf dem Handy
- POI-Empfehlungen für die Wartezeit (POI Kategorien und genaue Einstellungen sind dem Konzept zur adaptiven Nutzermodellierung zu entnehmen)

Bei einigen Optionen wird dem Nutzer die Frage gestellt, ob diese Optionen adaptiv lernend verwendet werden dürfen. Hier ist die Einstellung jedoch nur mit Nutzerzustimmung vorgesehen. Das heißt, wird in der Navigation festgestellt, dass eine Abweichung zu den individuell vorgenommenen Eistellungen vorliegt, wird dies dem Nutzer kommuniziert und anschließend gefragt, ob die zu

benennende Einstellung vorgenommen werden darf, z.B.: *„Ich habe festgestellt, dass Sie sehr schnell zu Fuß sind. Möchten Sie Ihre individuelle Fußwegegeschwindigkeit auf schnell ändern?“* Oder: *„Ich habe festgestellt, dass Sie beim Umstieg etwas länger brauchen. Möchten Sie Ihre Umsteigegeschwindigkeit auf langsam ändern.“*

Angepasste Einstellungen der Routenermittlung dürfen nicht ohne das Einverständnis des Nutzers vorgenommen werden. Würde dies geschehen, wäre für den Nutzer nicht mehr nachvollziehbar, warum Routenergebnisse nicht mehr zu Stande kommen, die in der Vergangenheit von seinem Auskunftssystem berechnet wurden.

Ein weiteres Beispiel für die nutzerindividuelle Steuerung des Routings ist die Möglichkeit den Bekanntheitsgrad des Nutzers mit den Gegebenheiten vor Ort zu berücksichtigen. Wie im Kapitel „3. Orientierung“ beschrieben wird in einem unbekannten Gebäude der Weg über Haupteingänge bevorzugt. Unter Berücksichtigung der in Kapitel „3.2. Wegfindungsstrategien“ beschriebenen Restriktionen, dass es beispielsweise am Flughafen mehrere Haupteingänge geben kann, je nachdem mit welchem Verkehrsmittel angereist wird, kann hier das entsprechende Routing unter Berücksichtigung der Bekanntheit des Nutzers mit dem entsprechenden Gebäude angestoßen werden.

Außerdem wurde in vergangenen Forschungsprojekten festgestellt, dass der Grad der Nutzungshäufigkeit von ÖV Verkehrsmitteln und ÖV-Apps den Umgang mit der App und den verwendeten Optionen signifikant beeinflussen. Das heißt seltene ÖV App-Nutzer haben in der Evaluation von *DYNAMO* beispielsweise die Optionen übersehen, um ihre Routensuche anzupassen. Waren sie auch noch seltene ÖV-Nutzer, so konnten sie sich auch nicht vorstellen, dass eine Anpassung von Optionen für sie von Interesse sein könnte. Profis im Umgang mit ÖV-Apps und Auskunftssystemen wollten jedoch gleich einen Hinweis auf die neuen Optionen oder Möglichkeiten mit der neuen App. Es wird davon ausgegangen, dass in den meisten Fällen einer häufigen App-Nutzung eine häufige ÖV-Nutzung zu Grunde liegt. Da häufige ÖV-Nutzer, die noch nie eine App genutzt haben, zunächst die App-Nutzung an sich nahe gebracht werden muss, ist hier keine weitere Differenzierung vorgesehen. In RadAR$^+$ ist folgende Eingangsfrage zu stellen:

Wie vertraut sind Sie im Umgang mit ÖV Apps bzw. ÖV-Auskunftsportalen (beispielsweise: vom RMV, der Bahn oder Öffis)?

- Sehr vertraut
- Eher unsicher
- Nicht vertraut

Gibt der Nutzer an, dass er mit ÖV Apps sehr vertraut ist, antwortet ihm RadAR$^+$: Mit RadAR$^+$ können Sie Ihre Reise mit dem ÖV planen und anschließend während der Reise navigieren. Zusätzlich haben wir für Sie umfangreiche Neuerungen in Gebäuden eingebaut. So schlagen wir Ihnen, wenn gewünscht Möglichkeiten vor, Ihre freie Wartezeit sinnvoll zu nutzen. Dabei passen wir uns mit der Zeit ganz individuell Ihren Wünschen und Gewohnheiten an. Möchten Sie unsere neuen Optionen zum Indoorrouting und der Navigation kennenlernen, dann klicken Sie bitte hier.

Gibt der Nutzer an, dass er eher unsicher oder gar nicht mit ÖV-Apps vertraut ist, dann erfolgt folgende Antwort:
Mit RadAR+ können Sie Ihre Reise mit dem ÖV planen und anschließend während der Reise navigieren. Hier gelangen Sie zu unserer Auskunft. Außerdem gibt es noch viele interessante Optionen und Funktionen. Dürfen wir Sie während der App-Nutzung nach und nach darauf hinweisen? Ja/Nein.

5.1.2.3. Berücksichtigung von Echtzeitdaten innerhalb des Routings

In RadAR+ sollen neben ÖV Echtzeitdaten auch Echtzeitdaten der Gebäudeinfrastruktur beim Routing berücksichtigt werden.

5.1.2.3.1. Echtzeitdaten zum ÖV

ÖV-Echtzeitdaten werden in aktuellen Auskunftssystemen schon in der Anzeige und sogar bei der Routensuche verwendet. Dabei werden die Fahrten, die aufgrund der aktuellen Verkehrslage zustande kommen entsprechend gekennzeichnet. In RadAR+ sind diese Standardverfahren anzuwenden. Zudem sollen Echtzeitdaten zur Überprüfung der Fahrbarkeit von zur Navigation markierten Routen verwendet werden. Pro Nutzer und Endgerät kann immer nur eine Route zu einem bestimmten Zeitpunkt navigiert werden. Dagegen ist es möglich durch einen Nutzer mehrere Verbindungen zu überwachen. Dieses Vorgehen wurde in *DYNAMO* umgesetzt und ist analog in RadAR+ zu übernehmen.

5.1.2.3.2. Echtzeitdaten zum Zustand der Gebäudeausstattung

Für ein barrierefreies Routing und eine barrierefreie Navigation im Gebäude sind mindestens zu Rolltreppen und Aufzügen Echtzeitdaten erforderlich.
Ein wichtiges Ziel in RadAR+ ist es, bereits definierte Standardschnittstellen zu verwenden und ggf. zu erweitern. Die Nutzung von proprietären Schnittstellen wird nur vorgesehen, wenn der Datenlieferant eigene Formate bereits zur Verfügung stellen kann und diese den Anforderungen genügen.
Für die Übertragung von Echtzeitdaten zum Zustand der Gebäudeausstattung sind im Kontext des ÖPV bereits entsprechende Schnittstellen zertifiziert: CEN TS 15531 Service Interface for Real time Information (SIRI). SIRI-FM (Service interface for real-time information relating to public transport operations-Facilities Management) bietet hier eine Schnittstellenbeschreibung, die dafür vorgesehen ist, Informationen über den aktuellen Funktionszustand der Gebäudeausstattung, wie z.B. Rolltreppen, Aufzüge oder Fahrkartenautomaten, auszutauschen. Eine SIRI FM–Meldung kann mit einer „SIRI Situation Exchange service“ (SIRI-SX) verknüpft werden, welche dafür entwickelte wurde Daten geplanter und ungeplanter Situationen und Veranstaltungen standardisiert auszutauschen.
Darüber hinaus sind weitere Informationen erforderlich, wie z.B. Sperrung von Wegen und die Informationen zu Wechselwegweisung .
Folgende Daten zur Indoor-Infrastruktur liegen im Rahmen der Projektlaufzeit voraussichtlich nicht vor:

- Darstellung der aktuellen Beschilderung bei den Wechselwegweisern
- Aktuelle Sperrungen von Wegen

Neben den von Betreibern generierten Daten zu Echtzeitdaten der Gebäudeinfrastruktur werden in RadAR+ Crowdsourcing basierte Echtzeitdaten zur Gebäudeinfrastruktur verwendet.

5.1.2.4. Alternativrouting aufgrund von ÖV-Echtzeitdaten

Durch den Kunden überwachte oder in der Navigation befindliche Routen werden serverseitig auf ihre Fahrbarkeit hin überwacht. Das Verfahren wurde unteranderem in DYNAMO umgesetzt und soll in RadAR+ integriert werden. Liegen somit Echtzeitdaten zu einer hinterlegten Route vor, die die aktuelle Fahrbarkeit gefährden bzw. unmöglich gemacht haben ist dies an den Kunden zu übermitteln mit der Möglichkeit ein Alternativrouting anzustoßen.
Liegen Echtzeitdaten von Betreibern zur Gebäudeinfrastruktur vor, die die Fahrbarkeit einer Route nicht mehr möglich machen ist dies an den Nutzer, mit der Information, dass es sich um eine Betreibermeldung handelt, zu kommunizieren mit der Möglichkeit ein Alternativrouting anzustoßen.

5.1.2.5. Alternativrouting aufgrund von Crowdsourcing-Gebäudeinfrastrukturechtzeitdaten

Liegen Echtzeitdaten von anderen Nutzern zur Gebäudeinfrastruktur vor, die die Durchführung einer Route nicht mehr möglich machen ist dies an den Nutzer mit der Information, dass es sich um eine Information von anderen Kunden handelt, zu kommunizieren mit der Möglichkeit ein Alternativrouting anzustoßen.

5.1.2.6. Alternativrouting aufgrund von Abweichungen innerhalb der ÖV-Navigation

Befindet sich der Nutzer in der ÖV Navigation und weicht von seinem Weg ab, so dass die aktuelle Route nicht mehr möglich ist, wird dies an den Kunden kommuniziert und die Möglichkeit gegeben ein Alternativrouting anzustoßen. Ein leicht abweichendes Verhalten zu Navigationsanweisungen durch das RAS Indoor werden in den Kapiteln „4.2.3.2. Information des Kunden bei Gefährdung der Zielerreichung Indoor und Ablauf der frei verfügbaren Zeit“ und „4.2.3.3.Möglichkeit des Kunden innerhalb der Indoornavigation ein neues Routing anzustoßen“ detailliert dargestellt.

5.2. Indoorrouting und Navigation

5.2.1. Indoorrouting aktuell

Das Indoorrouting ist Teil des Gesamtroutings für eine ÖPNV-Verbindung. Um es durchführen zu können wird eine entsprechende Datengrundlage benötigt. Für die Standardauskunft im RMV-Gebiet werden Umstiege an Haltestellen und in Stationen über eine Umsteigematrix gepflegt. In dieser

können Umstiege zwischen verschiedenen Betriebsteilen definiert werden. So ist es hier möglich einen Umstieg vom Bus eines Betreibers auf den Bus eines anderen Betreibers oder den Umstieg von einem Bus auf die Straßenbahn des gleichen Betreibers zu definieren. Geographische Verhältnisse können damit nicht abgebildet werden. Da die Fahrplanauskunft nur auf Haltestellen referenziert und nicht auf Masten, ist es nicht möglich, real vorherrschende Gegebenheiten abzubilden und z.B. den Weg zwischen zwei Gleisen an einem Bahnsteig anders zu modellieren als z.B. den Umstieg zwischen Gleis 1 und Gleis 21 am Frankfurter Hauptbahnhof. Nicht nur die Wegezeit ist beim Umstieg innerhalb eines Bahnsteig zum gegenüberliegenden Gleis wesentlich geringer als der Umstieg zwischen Gleis 1 und Gleis 21 auch Barrieren auf dem Weg können nicht differenziert berücksichtigt werden, wenn bei der Wegeberechnung pauschale Umsteigebeziehungen verwendet werden. Im Forschungsprojekt BAIM wurde durch eine mastscharfe Modellierung der Haltestellen die Möglichkeit geschaffen, diese Wege logisch in Form eines Knoten-Kanten-Modells abzubilden. Ziel des Projektes war es, barrierefreie Reiseketten im ÖV unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Mobilitätsanforderungen von Personengruppen beauskunften zu können. Für BAIM wurden die Wege vom Zugang zum routingfähigen Straßennetz bis zu den Gleisen bzw. Masten erhoben, sowie die Wege zwischen den Gleisen bzw. Masten. Es wurden umfangreiche Wegeattribute, wie z. B. die Länge, der Wegetyp (Treppe, Rolltreppe, Rampe, Aufzug) oder der Bodenbelag aufgenommen und als Knoten-Kanten-Modell mit entsprechender Attributierung im Datenmanagementsystem IVU.pool[4] hinterlegt. Die Zugangspunkte zum Gebäude bzw. die Masten im Straßennetz wurden geographisch verortet, so dass eine Verknüpfung mit dem angrenzenden Fußwegenetz vorhanden ist. Dieses Modell wird im Folgenden als logisches Netz bezeichnet.

Der Routingalgorithmus der HaCon berechnet bei einer Routenanfrage immer den kürzesten Weg von A nach B unter Berücksichtigung eventuell eingestellter Suchattribute. D.h. je nach eingestelltem Routingprofil, z. B. Rollstuhlfahrer oder Gehbehinderte Menschen[5], werden einzelne Kanten, wie z. B. Treppen, bei der Routenfindung ausgeschlossen. Die Detailansicht der Auskunft bildet wie in Abbildung 1 ersichtlich die einzelnen Wegeelemente, unter Zuhilfenahme von Piktogrammen ab. Der Indoorfußweg am Darmstädter Hauptbahnhof enthält im gezeigten Beispiel einen Fußweg von 162 m und eine Aufzugsfahrt. In der Gesamtübersicht werden alle Fußwegeelemente additiv bezüglich der Streckenlänge und der erforderlichen Wegezeit dargestellt. Bei Aufzügen wird neben der Fahrzeit auch eine Anforderungszeit berücksichtigt. Die Anzeige der zu verwendenden Aufzüge lässt sich an der Anzahl der abgebildeten Piktogramme erkennen.

[4] http://www.ivu.de/produkte-loesungen/ivusuite/planung/ivupool.html
[5] http://www.rmv.de/baim/bin/jp/query.exe/dn

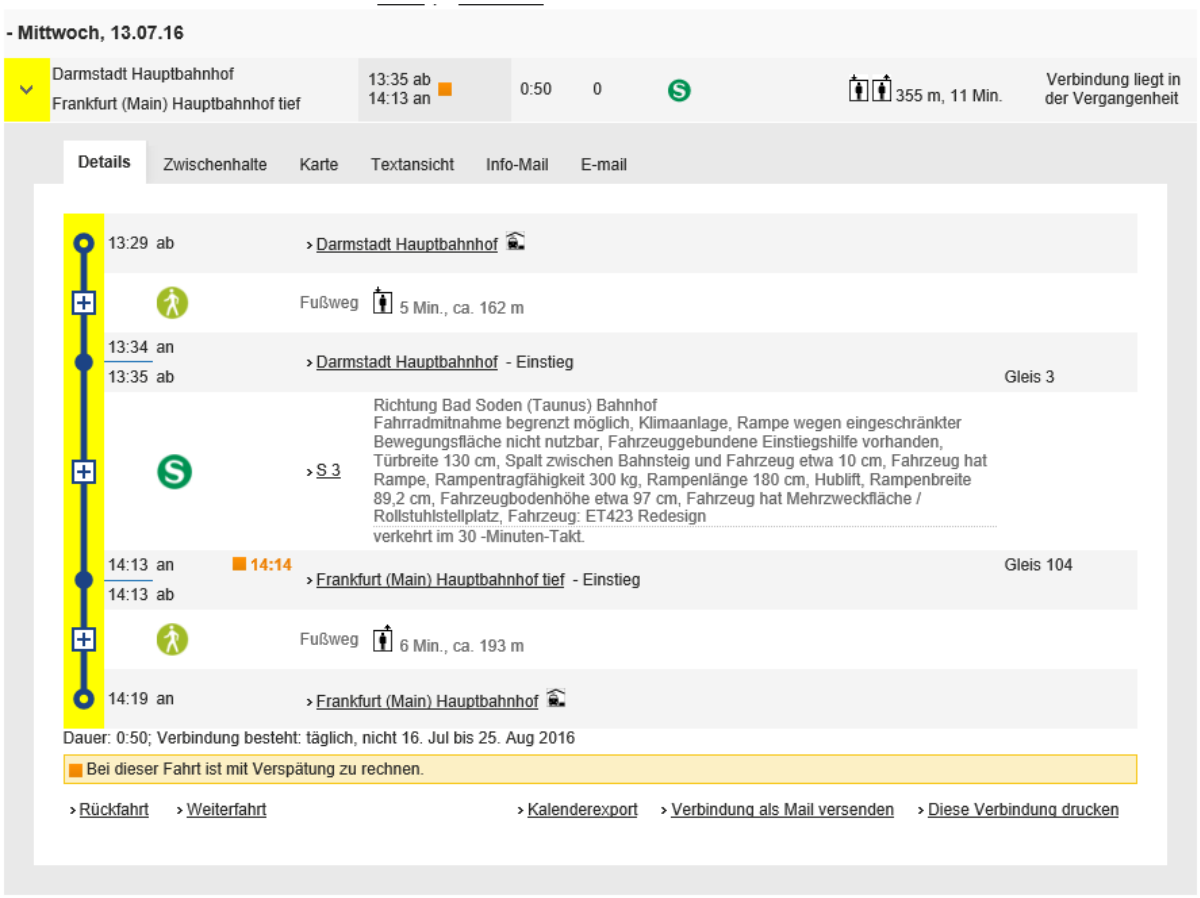


Abbildung 2, Stand 13.07.2016[6]

In der Darstellung des Fußweges in der Karte (siehe Abbildung 2) wird ersichtlich, dass hier noch keine visuelle Aussage über die Fußwege im Gebäude präsentiert werden kann. Der vom System verwendete Zugang zum Gebäude ist geographisch verortet um den Sprung auf das IV-Fußwegenetz zu ermöglichen und wird in Abbildung 2 mit der grünen Fahne in der Karte markiert. Bei einer adressscharfen Suche wird der jeweilige Zugangspunkt in Abhängigkeit der erforderlichen Wegezeit zum Gleis verwendet und kann sich somit je nach Abfrage unterscheiden. In Abbildung 3 wurde die Adresse „Darmstadt, Traubenweg 108“ als Start gewählt. Obwohl diesmal nicht als Verbindungsstart mit der grünen Fahne markiert, erkennt man deutlich, dass ein anderer Zugang zum Bahnhof genutzt wurde, der offensichtlich den kürzesten Fußweg zum Gleis beinhaltet. Bei einer Verbindungsabfrage ab dem Bahnhof wird in der Regel ein Hauptzugang genutzt, der entsprechend attributiert werden kann. Sofern dieser nicht barrierefrei ist, wird bei entsprechenden Profileinstellungen ein Zugang gewählt, der den Anforderungen entspricht.

In *DYNAMO* wurde das logische Netz um die geographische Komponente erweitert. D.h. im Datenhaltungssystem wurde die Möglichkeit gegeben geographische und schematische Pläne zu hinterlegen auf denen im Anschluss die Knoten und Kanten geographisch verortet oder wie im Falle von schematischen Plänen modelliert werden können. Eine ausführliche Beschreibung hierzu erfolgt im folgenden Kapitel.

[6] http://www.rmv.de/baim/bin/jp/query.exe/dn

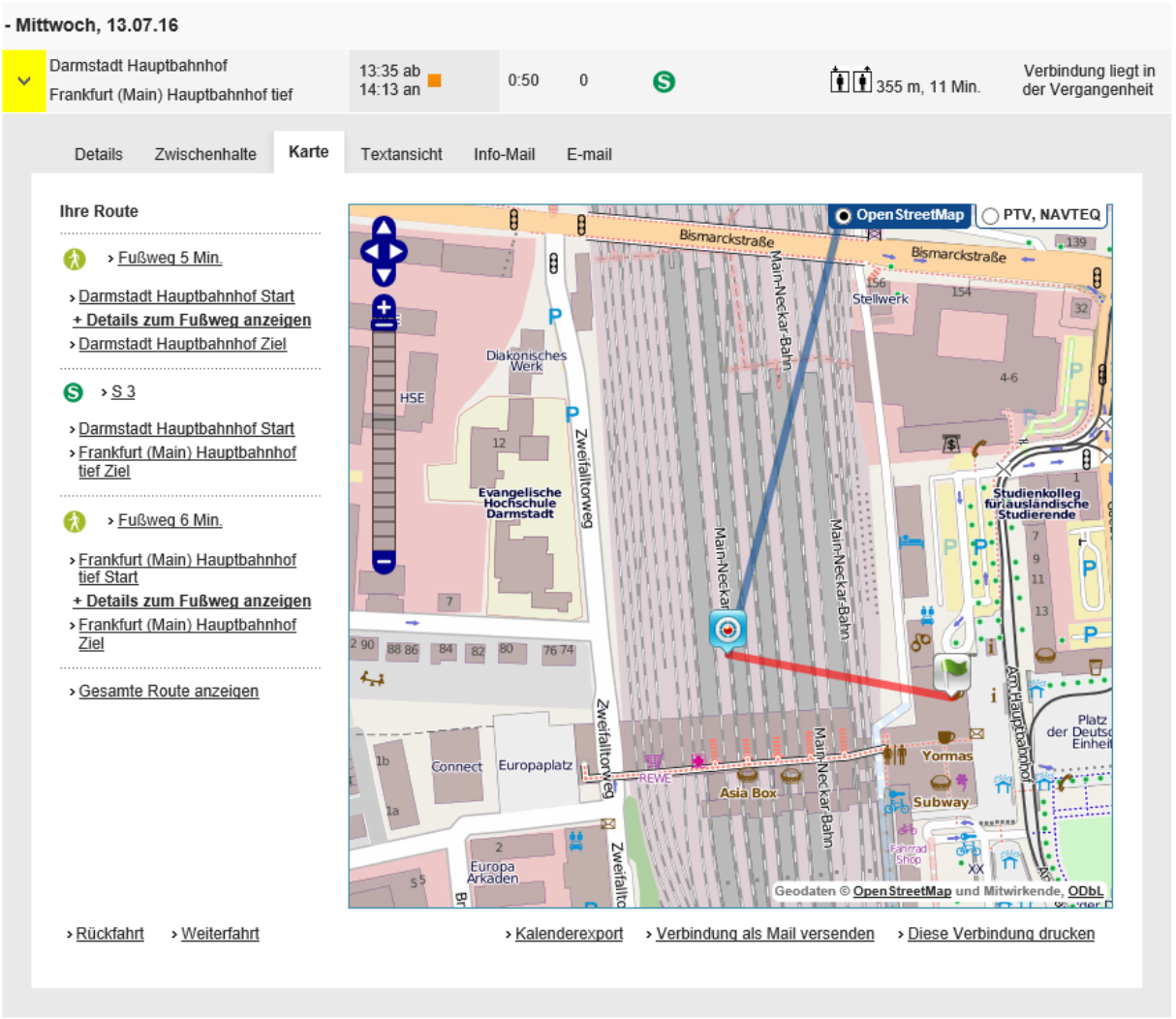


Abbildung 3, Stand 13.07.2016[7]

[7] http://www.rmv.de/baim/bin/jp/query.exe/dn

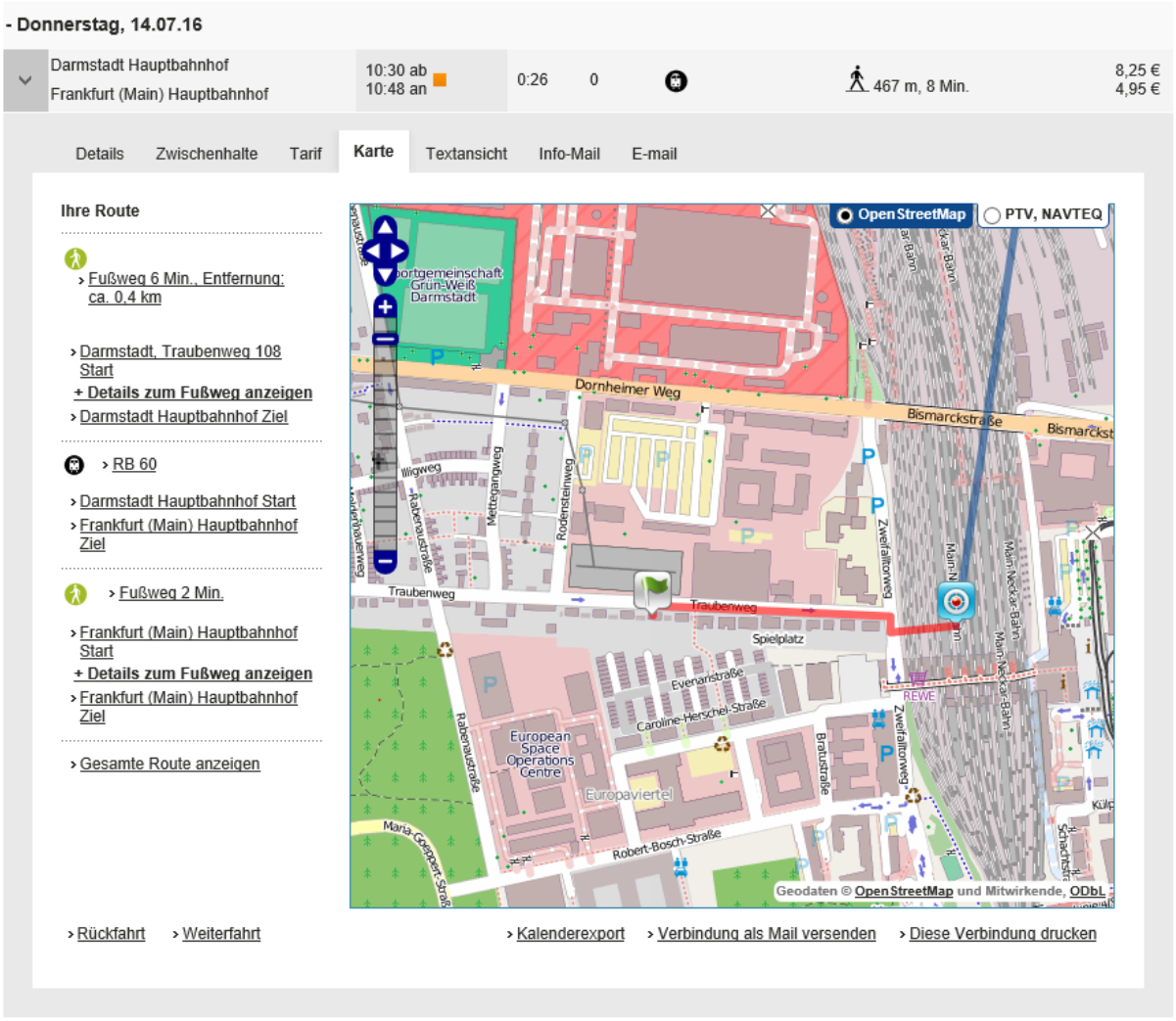


Abbildung 4, Stand 14.07.2016[8]

5.2.2. Indoorrouting in *DYNAMO*

Im Rahmen von *DYNAMO* wurde für die Gesamtroutenberechnung der HaCon auf das Indoorrouting im Rahmen von BAIM erhobenen Daten aufgebaut. Diese Daten wurden um geographische Informationen im Datenhaltungssystem IVU.pool erweitert. Zusätzlich wurde eine Indoornavigation durch das ifak implementiert, die auf einem eigenen Routingalgorithmus und einer eigenen Datengrundlage durchgeführt wurden.

5.2.2.1. Datengrundlage für Gesamtrouting

Das Routing der Gesamtroute wurde weiterhin mit HAFAS auf der in IVU.pool vorhanden Datenbasis durchgeführt. Dies war nötig um eine optimierte Gesamtroute zu berechnen. Start und Zielpunkte der Route wurden dann von HAFAS an die Indoorroutingkomponente des ifaks übergeben. Neben diesen Punkten war die Übergabe weiterer Wegepunkte über eine Schnittstelle vorgesehen. Hintergrund war, dass die Informationen zur Barrierefreiheit in der Datengrundlage von IVU.pool schon vorhanden

[8] http://www.rmv.de/baim/bin/jp/query.exe/dn

waren und von HAFAS bei der Routenfindung berücksichtigt werden konnten. Es wurden Wege über die dafür notwendigen Punkte (z. B. Aufzug oder Rampe beim Routing mit dem Profil eines Rollstuhlfahrers) berechnet. Auch diese Punkte sollten zusammen mit Start und Ziel über die Schnittstelle kommuniziert werden, um eine Sicherstellung exakt derselben Wege beim Routing und in der Navigation zu gewährleisten, Lediglich die Wege zwischen den Punkten über Flächen sollten von der Navigationskomponente vor Ort berechnet werden.
Da dies aus Zeitgründen nicht mehr umgesetzt wurde, konnte es vorkommen, dass die Routenplanung, die durch HAFAS auf Basis des Knoten-Kanten-Modells berechnet wurde und die die Mobilitätsansprüche des jeweiligen Nutzers berücksichtigte, ggf. von der Navigation, die mit Hilfe des geographischen Verfahrens berechnet wurde, abwich.

5.2.2.2. Datengrundlage für Indoorrouting

Für die Generierung eines geographischen Netzes zur Navigation wurden exemplarisch Indoordaten der Bockenheimer Warte aus OSM verwendet. Und zwar wurden die Gebäudeumrisse aus OSM extrahiert und in einem Geoinformationssystem (GIS) mit einem eigens dafür angelegten Hexagonnetz verschnitten (vgl. Czogalla 2015a und Czogalla 2015b). Dabei wurden die Zentroiden der Hexagone als Knoten gesetzt und mit den Zentroiden der Nachbarhexagone über Kanten verbunden. Im GIS wurden Hexagone für das Routing automatisch verworfen, wenn sich diese mit vorhandenen Barrieren der Gebäudeinfrastruktur überschnitten. D. h. die Hexagone, die Wände oder nicht begehbare Flächen (z. B. Möblierung) enthielten, wurden beim Verschneiden gesperrt und nur der Zugang/die Tür frei gelassen.
Neben den Gebäudeumrissen wurden zusätzlich die Ebenenwechsel wie Treppen und Aufzüge in das GIS importiert.
Anschließend wurden im Geoinformationssystem der Ifak Wegebeziehungen an der Bockenheimer Warte berechnet und statisch in der Indoorapp hinterlegt, welche innerhalb der Navigation aufgerufen durch den Nutzer identifiziert und aufgerufen werden konnten. Eine Kommunikation über die Schnittstelle, bzw. die Einbettung der Indoorapp als Bibliothek in die Gesamtapp waren vorgesehen wurden jedoch im Rahmen des Projektes nicht umgesetzt.

5.2.2.2.1. Navigation

Logische Knoten-Kanten-Modelle sind für die Navigation in der Fläche nicht geeignet. Um einen Abgleich der geographischen Nutzerposition im Rahmen der Navigation vornehmen zu können muss eine geographische korrekte Referenz zur Verfügung stehen. Diese geographische Referenz wurde in *DYNAMO* automatisch durch das ifak im Rahmen der Gebäudemodellierung geschaffen. Parallel wurde eine geographische Modellierung in IVU.pool implementiert, die durch einen Datenmanager händisch vorgenommen wurde.

5.2.2.2.2. Datenpflege

Bei der Modellierung in IVU.pool werden die logischen Kanten des Umsteigebauwerks auf eine im Informationssystem hinterlegte geographische Datengrundlage verortet. Bzw. werden Zwischenpunkte

auf der Karte verortet, deren Verbindungen Kanten darstellen. Mit diesem Verfahren ist es auch möglich gesperrte Flächen innerhalb eines Weges zu umgehen. Dennoch muss dies händisch durch einen Mitarbeiter vorgenommen werden.
Das Verfahren Kanten automatisch aus einem geographischen Gebäudemodell abzuleiten, bietet hier den Vorteil einen Großteil der Vorgänge zu automatisieren und ggf. Fehlerquellen innerhalb der Datenpflege zu minimieren.
Außerdem wird beim Ableiten von Kanten aus einem geographischen Gebäudemodell die Möglichkeiten geboten dynamisch auf wechselnde Gegebenheiten in der Infrastruktur der Gebäude zu reagieren. Wird eine Baustelle oder ein saisonaler Aufsteller im Gebäude als nicht begehbare Fläche hinterlegt werden diese bei der Kantenbildung automatisch berücksichtigt. Dieser Ansatz wurde in *DYNAMO* begonnen und wird in RadAR+ ausgebaut und im Konzept „(UAP) 2.4 Vorbereitung Stationsinfrastruktur Indoor-Routing“ ausführlich beschrieben.

5.2.2.3. Identifiziertes Weiterentwicklungspotential

Eine Erweiterung des Modells zur Entwicklung eines routingfähigen Netzes und eine Verwendung ein und derselben Datengrundlage sowohl für das Gesamtrouting als auch für das Indoorrouting in RadAR+ werden im Konzept „Vorbereitung Stationsinfrastruktur Indoor-Routing“ beschrieben. Eine gleiche Datengrundlage ist notwendig um keine Unterschiede im Gesamtrouting und anschließend bei der Indoornavigation zu erhalten.
Für die Kommunikation der Gesamtroute mit der Indoorkomponente ist die in *DYNAMO* konzipierte Schnittstelle zu verwenden.
Zusätzlich muss auch die Indoorkomponente im Rahmen der Navigation in der Lage sein Wege dynamisch vor Ort anzufordern und nicht statisch auf dem Endgerät zu hinterlegen. Diese Wege für alle Stationen des RMV-Gebietes auf dem Endgerät des Nutzers vorzuhalten ist nicht realisierbar.

5.2.3. Indoorrouting in RadAR+

Auch in RadAR+ erfolgt eine Arbeitsaufteilung Routing der Gesamtroute durch HaCon und Navigation im Indoorbereich durch Ubimax. Hier ist auf die in *DYNAMO* realisierte Schnittstelle zurückzugreifen. HaCon errechnet in einem ersten Schritt die Gesamtroute und übergibt Start-, Ziel- und Zwischenpunkte an Ubimax welche auf dieser Basis vor Ort das Routing in der Fläche und die Navigation durchführen.
Um den Nutzer nicht zu verunsichern, ist es wichtig, dass die in der Reiseplanung beschriebene Route auch für die Indoor-Navigation vor Ort verwendet wird. Das heißt neben der Übergabe der Zwischenpunkte über die Schnittstelle zwischen Indoorkomponente und Gesamtsystem, muss für Routing und Navigation dasselbe Netz zur Verfügung stehen. Dieses Netz soll sich aus dem geographischen Gebäudeplan ableiten. Eine Beschreibung des Verfahrens wird im Konzept „Vorbereitung Stationsinfrastruktur Indoor-Routing“ beschrieben.

5.2.3.1. Berechnung der in der Navigation frei verfügbaren Zeit

Menschen bewegen sich in der Realität nicht auf einer imaginären Kante über einen Platz sondern weichen je nach Gegebenheit anderen Menschen aus oder ändern ihre Laufrichtung, da sie in einem Geschäft in der Umgebung etwas Interessantes gesehen haben. Daher soll die Navigation nicht auf das Knoten-Kanten-Modell reduziert werden. Dennoch wird mit dem RAS die Zielerreichung verfolgt, was mit einer Information bei einer möglichen Gefährdung der Zielerreichung einhergeht und im äußersten Fall ein Neurouten einer gebrochenen Verbindung beinhaltet. Für dieses Verfahren ist die Identifikation der für die Navigation frei verfügbaren Zeit notwendig. Ein Umstieg setzt sich aus der reinen Wegezeit und Pufferzeiten zusammen. Die reine Wegezeit ist die Zeit welche aufgrund der Länge des Weges und der nutzerindividuellen Gehgeschwindigkeit berechnet wird.
Folgende Geschwindigkeiten werden in RadAR+ angenommen:

- Langsame Gehgeschwindigkeit: 3 km/h
- Normale Gehgeschwindigkeit: 4 km/h
- Schnelle Gehgeschwindigkeit 5 km/h

Pufferzeiten sind die Zeiten, die vom System berücksichtigt werden müssen, damit sie reale Verhältnisse vor Ort abbilden.
Pufferzeiten sind:

- Anforderungszeiten für Aufzüge (Hier sind die in BAIM definierten Anforderungszeiten zu verwenden)
- Umsteigezeiten zwischen Verkehrsmitteln. Hier ist zu berücksichtigen, dass auch wenn von einem Gleis auf das gegenüberliegende Gleis umgestiegen werden soll und dieser Weg in unter einer Minute bewältigt werden kann, der Kunde erst einmal aus dem Verkehrsmittel aussteigen und dann auch noch in das andere Verkehrsmittel einsteigen muss. Diese Umsteigezeiten zwischen Verkehrsmitteln wurden in *DYNAMO* speziell für Indoorgebäude definiert (auch intermodal) und müssen in RadAR+ berücksichtigt werden.

Beim Routing wird aufgrund der Fahrplanlage und der Dauer des Umstieges ein Weg berechnet. Nun kann die Zeit die rein rechnerisch vom System benötigt wird geringer sein als die tatsächliche Zeit, die aufgrund der Anschlüsse vorhanden ist. Diese zusätzliche Zeit kann vom RAS als frei verfügbare Zeit während der Navigation angesehen werden.

Je nachdem wie groß diese Zeit ist, können unterschiedliche Möglichkeiten während der Navigation angeboten werden. Sollte nur eine freie Zeit von 5 Minute vorhanden sein, ist die Empfehlung eines Cafés oder Restaurants nicht geeignet. Dafür hat der Nutzer keine Zeit. Jedoch kann der Kunde auf Bäcker oder Coffee-to-go Shop direkt an seinem Weg hingewiesen werden. Zeit um Umwege einzuplanen ist auch hier nicht vorhanden. Eine genaue Definition, welche Empfehlungen dem Kunden unter welchen Umständen gegeben werden, wird im Konzept „UAP 2.1 Konzeptentwicklung für die adaptive Nutzermodellierung“ differenziert dargestellt.

Für die Navigation bedeutet es jedoch, dass dem System ein Modell zugrunde liegt, welches darlegt, welche Informationen, bei welcher frei für die Navigation verwendbarer Zeit, gegeben werden können und ob diese die Berechnung eines Umweges innerhalb der Navigation zulassen.

5.2.3.2. Information des Kunden bei Gefährdung der Zielerreichung Indoor und Ablauf der frei verfügbaren Zeit

Der Kunde soll in der Navigation darauf aufmerksam gemacht werden, wenn eine Zielerreichung gefährdet ist. Läuft im System Indoor die Umstiegszeit aus Wegezeit und Pufferzeit ab und der Kunde befindet sich nicht planmäßig auf dem Weg so soll das RAS dies dem Kunden als Information zur Verfügung stellen. Dabei sind zwei Meldungen vorzusehen.

- „Die Zielerreichung ist gefährdet. Sie müssen sich beeilen."
- „Sie befinden sich nicht auf der geplanten Route. Bitte kehren Sie zu jener zurück. Oder haben Sie sich verlaufen und möchten ihren Weg zum Gleis (hier das Ziel der Indoornavigation eintragen) neu berechnen?

Auch wenn die Zeit für den Umstieg abgelaufen ist, soll weiterhin eine Navigation bis zum Ziel durchgeführt werden. Verkehrsmittel können sich im Zweifel auch verspäten und die Umsteigezeit ist für gewöhnlich nicht so lang, so dass es hier vielleicht nur um eine Minute geht. Erst wenn vor Ort das entsprechende Verkehrsmittel nicht erreicht werden konnte, erhält der Kunde die Möglichkeit zur Neuberechnung einer Gesamtverbindung ab dem aktuellen (Indoor-)Standort.
Befindet sich der Kunde an einem nicht für die Navigation vorgesehenen Ort und die Umsteigezeit läuft ab, so soll er wie im zweiten Punkt geschildert darauf hingewiesen werden mit der Möglichkeit ein Neurouten bis zum Indoorziel anzustoßen. Dies soll sowohl sprachlich als auch per Klick auf dem Smartphone möglich sein. Das RAS muss das jeweilige Indoorziel (z. B. Gleis 4, Gate 5, Bus) selbstständig in die Information an den Kunden einbauen.

Anders ist die Information bei Ablauf der für die Navigation frei verfügbaren Zeit vorzusehen. So soll der Kunde 5 Minuten vor Ablauf seiner frei verfügbaren Zeit daran erinnert werden, dass er sich in 5 Minuten wieder auf seinen Weg machen muss. In 5 Minuten erfolgt dann die Information, dass er jetzt loslaufen muss, bzw. soll die Zeit wann der Kunde durch das RAS erinnert wird und wie häufig dies geschehen soll individuell einstellbar sein.
Dabei sollen die 5 Minuten den aktuellen Standort des Kunden berücksichtigen. So soll das RAS für die Indoornavigation selbstständig berechnen, wie viel Zeit für die Bewältigung des Weges bis zum nächsten Punkt der im Vorfeld berechneten Indoorroute benötigt wird. Um nicht eine ständige Neuberechnung des Weges anzustoßen, können Gebiete mit entsprechenden Zeitdauern um den nächsten Punkt der Indoorroute gelegt werden. So soll das Navigationssystem selbständig berücksichtigen, dass der Kunde sich beispielsweise in einem Zwei-Minuten-Radius zu einem Punkt der eigentlichen Indoorroute befindet oder Fünf-Minuten-Radius. Die entsprechende Gehgeschwindigkeit des Nutzers, welche auch für die Gesamtroutenberechnung verwendet wurde, muss hierbei berücksichtigt werden.

5.2.3.3. Möglichkeit des Kunden innerhalb der Indoornavigation ein neues Routing anzustoßen

In RadAR+ muss es möglich sein, ein separates Indoorrouting anzustoßen. Hierfür können folgende Beispiele Auslöser sein:

1. Dem RAS liegen neue Daten vor, die die ursprüngliche Route nicht mehr möglich machen.

Neue Informationen, die dem Reisesystem vorliegen, können beispielsweise ein Gatewechsel oder ein Gleiswechsel sein oder aber dem Reisesystem vorliegende Störungen in der Gebäudeinfrastruktur. Ist z. B. ein in der Planung verwendeter Aufzug gestört und möchte der Nutzer keine festen Treppen oder Rolltreppen benutzen, muss der Kunde darüber informiert werden und die Möglichkeit eines Alternativrouting angeboten bekommen.

2. Der Nutzer ist vom Weg abgekommen und stößt ein Indoorrouting vom aktuellen Standort an.

Wie im vorigen Kapitel erläutert muss dem Kunden beim Feststellen einer Abweichung von der geplanten Indoorroute die Möglichkeit geboten werden, eine Berechnung des Weges von seinem aktuellen Standort zu seinem Indoorziel anzustoßen

3. Der Nutzer findet vor Ort Verhältnisse vor, die so nicht in der Planung berücksichtigt wurden.

Aktuell findet noch keine Verknüpfung der Informationen über den Zustand der Rolltreppen mit dem Auskunftssystem statt. Das heißt der Kunde ist vor Ort mit der jeweiligen Situation konfrontiert. Möchte die Mutter mit Kinderwagen nun einen Alternativweg zu ihrer ursprünglichen Planung ohne Treppen bekommen, wird ihr immer der gleiche Weg wie in der ursprünglichen Planung beauskunftet, da das Reisesystem keine Kenntnis von der gestörten Rolltreppe besitzt. Hier muss in RadAR+ die Möglichkeit gegeben werden die jeweilige Infrastruktur bei einer neuen Routenplanung auszuschließen.

5.2.3.4. Ausschluss von Indoorwegen innerhalb des Routings

Der Ausschluss von Indoorwegen kann über einen detaillierten Plan erfolgen oder muss direkt in der Reiseauskunft und hier in der Detailansicht anwählbar sein. Indoorwege sind neben den Infrastrukturelementen auch Wege, die aufgrund von Baustellen aktuell nicht mehr zu passieren sind.
Werden beispielsweise in der Detailansicht der Indoorroute auf dem Smartphone oder der Datenbrille die Treppen und Rolltreppen nacheinander aufgezählt, die beim Indoorweg berücksichtigt werden, muss die Möglichkeit bestehen das Piktogramm für das jeweilige Infrastrukturelement anzusteuern und für eine nachfolgende Routenberechnung nicht zu berücksichtigen.
Da das Reisesystem keinerlei Kenntnis vom Dauer der Sperrung hat, sollte dem Nutzer die Möglichkeit gegeben werden, auszuwählen ob die Sperrung der Rolltreppe nur einmalig oder für einen gewissen Zeithorizont, über die Eingabe des Enddatums der Baustelle durch den Nutzer, beim Routing mit berücksichtigt wird. Zeithorizonte sind dann wichtig, wenn an der jeweiligen Baustelle das Datum der Länge der Baustelle vermerkt ist.
Die Information zur Sperrung wird lokal auf dem RAS vorgehalten. Gleichzeitig kann die Information jedoch auch serverseitig ausgewertet werden wie im folgenden Kapitel beschrieben wird.

Für eine erfolgreiche Abwahl der Wege oder Infrastrukturelemente über einen Plan müssen jene in der Karte dargestellt und editierbar sein. Durch Klick in der Karte kann das jeweilige Infrastrukturelement wie z.B. der Aufzug ausgewählt und für ein anschließendes Routing ausgeschlossen werden.

5.2.3.5. Generierung Crowdsourcing basierter Echtzeitdaten zu Infrastrukturelementen

Findet durch einen Nutzer der Ausschluss eines Infrastrukturelements statt wird mit Hilfe der Überprüfung der Wegeketten anderer Nutzer eine Validierung dieser Information vorgenommen.
So wird mit Rolltreppen und Aufzügen ein Ebenenwechsel innerhalb eines Gebäudes ohne Schritte vorgenommen, was eine fehlende Schritterkennung mit gleichzeitiger Höhenüberwindung impliziert. Ausnahme ist, natürlich wenn alle Nutzer auf der Rolltreppe zusätzlich laufen. In diesem Fall ist die Anzahl der Schritte mit der Höhenüberwindung und einer Standard-Stufenhöfen abzugleichen. Dieses Verfahren funktioniert nur unter Voraussetzung einer genauen und funktionierenden Schritterkennung (siehe Kapitel „5.1.5.Ortung mittels Pedestrian Dead Reckoning (PDR)“). Sollte jedoch mit Sicherheit eine Höhenüberwindung des Nutzers ohne Schritterkennung festgestellt werden, so kann davon ausgegangen werden, dass das jeweilige Infrastrukturelement intakt ist. In diesem Fall erfolgt keine Information des RAS an andere Nutzer. Ansonsten wird die Infrastrukturstörung als Crowdsourcing basierte Information an andere Nutzer im Rahmen des Routings in der Planung oder während der Navigation zur Verfügung gestellt. Die Information dass es sich um eine Crodwsourcing- und keine Betreiberinformation handelt ist den RAS-Nutzern mitzugeben um jenen letztendlich die Entscheidung für ein Alternativrouting zu überlassen. Um eine Inbetriebnahme eines Infrastrukturelements nicht zu verpassen wird die Höhenüberwindung an einem gestört festgestellten Infrastrukturelement weiter überwacht. Sobald eine Information ohne Schritterkennung an diesem Weg vorliegt, verliert die Störung seine Gültigkeit und die Informationsweitergabe an andere Nutzer wird sofort eingestellt. Berücksichtigung von POIs während der Navigation im Rahmen des Aufenthaltsmoduls POIs, die dem Nutzer während der Navigation zur Verfügung stehen sollen sind Geschäfte, Cafés, Duty-Free Shops, Fahrkartenautomaten und Toiletten. Für den Flughafen sind POIs durch die Fraport erhoben. Eine Integration dieser Daten in das Indoorgebäudemodell ist vorgesehen. Die differenzierte Beschreibung erfolgt im Konzept „UAP 2.4 Vorbereitung Stationsinfrastruktur Indoor-Routing“. Das RAS verfügt über eine analoge Funktionsweise an Stationen und dem Flughafen, d.h. die POIs und ihre Verwendung innerhalb der Navigation sind in beiden Fällen gleich. Geschäfte und Cafés sind nicht an jeder Station gegeben. Daher werden sich Empfehlungen zur Aufenthaltsgestaltung nur auf größere Stationen mit entsprechender Infrastruktur beschränken. Die POIs, die im Rahmen der Navigation verwendet werden, stehen beim Routing der Gesamtroute im Vorlauf noch nicht zur Verfügung. Erst im Rahmen der Navigation bei vorhandener Zeit werden nutzeradaptiv POIs vorgeschlagen. Welche POIs bei welcher zur Verfügung stehenden Zeit und bei dem jeweiligen Nutzer vorgeschlagen werden sollen, wird im Konzept „UAP 2.1 Konzeptentwicklung für die adaptive Nutzermodellierung eingehend beschrieben.“ Gleichzeitig soll der Nutzer vor Ort die Möglichkeit haben nach entsprechenden POIs zu suchen und sich dahin navigieren zu lassen. Möchte der Nutzer vor Eintritt in das Flugzeug noch schnell den Duty-free-Shop aufsuchen, so muss dies über das Endgerät eingebbar sein und ihm im Ergebnis auf dem Weg zum Gate eine passende Möglichkeit aufgezeigt werden. Der Nutzer wählt auf

seinem Endgerät den jeweiligen POI aus und markiert in als neuen VIA in seiner aktuell navigierten Route. Die Koordinate des POIs mit einer hinterlegten oder durch den Nutzer festgelegten Verweildauer werden an das Gesamtroutingssystem übergeben, welches eine neue Routensuche anstößt.

Stellt das Gesamtsystem fest, dass eine Zielerreichung mit Hilfe dieses neuen Zwischenziels nicht gegeben ist, wird dies dem Kunden kommuniziert. Handelt es sich um eine Station, dann wird dem Nutzer die Auswahl der Beibehaltung der ursprünglichen Route oder eine Alternativroutenberechnung angeboten. Ist ein Gate das Ziel, steht eine Alternativroutenberechnung nicht zur Auswahl. Hier ist dem Nutzer die Information, dass der Flug unter Verwendung des neuen Zwischenziels nicht erreicht werden kann zur Verfügung zu stellen. Außerdem wird er gefragt, ob er die hinterlegte Navigation ohne das neue Zwischenziel fortführen möchte. Wird das Endziel auch mit dem neuen VIA erreicht wird dem Nutzer das Routingergebnis, wie bekannt, dargestellt mit der Frage ob die vorhandene Navigation durch die aktuelle Berechnung ersetzt werden soll. Bei Bestätigung wird die neue Route navigiert, bei Ablehnung bleibt die ursprüngliche Navigation erhalten.

6. Indoorortung

6.1. Stand der Technik/ Ortungsverfahren

Im Bereich der Indoorortung gibt es aktuell ein gesteigertes Forschungsinteresse. ÖPNV-Navigationssysteme möchten nahtlos auf der gesamten Reisekette navigieren. Outdoor kann hier die Positionsbestimmung mittels GNSS-Systemen verwendet werden. Indoor ist dies nicht der Fall, da für eine Positionsbestimmung mittels GNSS mindestens 4 Signale empfangen werden müssen. Die Sicht zu den Satelliten ist im Gebäude jedoch blockiert. Um dem Nutzer dennoch sagen zu können wie seine nächsten Schritte aussehen müssen, um zum Ziel zu gelangen, bzw. um ihm wie in RadAR+ mit Hilfe von Augmented Reality zu unterstützen ist eine genaue Orientierung im Raum notwendig, diese schließt sowohl die Ortsbestimmung als auch die Blickrichtung des Nutzers ein. Hinsichtlich der Indoor-Ortsbestimmung gibt es verschiedene Verfahren welche im Folgenden kurz angerissen werden.

6.1.1. Ortung mittels Received Signal Strength (RSS)

Hierbei handelt es sich um eine Gruppe von Verfahren, welche mittels Signalfeldstärken beispielsweise von Bluetooth, GSM und WiFi Positionierungen im Raum durchführen. Zusammenfassend für alle Verfahren gilt, dass sie mit dem Problem der schwankenden Signalstärken, sowohl bei der Bluetooth- als auch bei der WLAN-Ortung zu kämpfen haben. In vorangegangenen Forschungsprojekten wie beispielsweise *DYNAMO* variierte die Signalstärke ein und desselben Senders innerhalb kurzer Zeit; das Signal wird zudem durch anwesende Personen gedämpft, so dass sich – abhängig vom „Füllgrad“ der untersuchten Räume – die gemessenen Werte trotz gleicher Position im Raum ggf. deutlich unterscheiden können. Erschwerend für die Ortsbestimmung kommt hinzu, dass die empfangenen Signalstärken bei den eingesetzten Nutzer-Endgeräten (gängige Smartphones und Tablets) unterschiedlich bestimmt wurden. Das heißt die Qualität der Ortung wird

auch durch den Empfänger beeinflusst. All diese Aspekte sind bei der Bewertung der Ortungsgenauigkeit des Verfahrens zu berücksichtigen.

Zellortung

Bei dieser Form der Ortung erfolgt die Ortsbestimmung anhand der Zuordnung zu einer Zelle. Das Ortungssignal wird genau einer Zelle, üblicherweise der, deren Signal am stärksten empfangen wird, zugeordnet. Die Größe der Zelle wird durch den Strahlungsbereich des Senders bestimmt. Das heißt man kann bestimmen in welchem Gebiet sich die zu ortende Komponente aufhält aber nicht an welchem Punkt genau. Im vereinfachten Fall wird der zu ortenden Komponente die Koordinate des Senders zugewiesen. Die Ortungsgenauigkeit entspricht dann dem Durchmesser des Strahlungsbereiches des Senders. Der Strahlungsbereich ist jeweils abhängig von äußeren Einflüssen (Wände, Einbauten, Menschen) und kann somit je Sender unterschiedliche Zellgrößen überdecken.
Dieses Verfahren ist insbesondere durch die GSM-Ortung bekannt.

Trilateration

Die Trilateration beruht auf einem Messverfahren, bei dem mit Hilfe der Entfernung zu 3 bekannten Punkten eine Ortsbestimmung durchgeführt werden kann. D. h. es müssen bei diesem Verfahren immer mindestens 3 Sender „gehört“ werden, deren Standort bekannt ist und bei dem der Abstand zum Sender mit Hilfe der Feldstärke berechnet werden kann. Zu beachten ist, dass die Signalstärke aufgrund von äußeren Störungen, wie Wänden oder Einbauten bzw. auch durch Menschen verändert werden kann und es somit zu falschen Entfernungsberechnungen anhand der Signalstärke kommen kann.

Triangulation

Auch bei der Triangulation werden 3 Sender benötigt, deren Position bekannt ist und deren Abstand zum zu ortenden Objekt mit Hilfe der Feldstärke berechnet werden kann. Auch hier ist wieder zu beachten, dass die Signalstärke durch externe Faktoren beeinträchtigt sein kann. Im Gegensatz zur Trilateration beruht dieses Messverfahren jedoch auf der Winkelmessung innerhalb von Dreiecken.

Fingerprintverfahren

Dieses Verfahren basiert auf der Aufnahme von Fingerabdrücken mit Hilfe von Empfangsstärken von beispielsweise WLAN oder Bluetooth in einem Gebiet. Bei der anschließenden Ortung wird die gemessene Signalzusammensetzung gegen dieses vorher erhobene Referenzmaterial abgeglichen und damit eine Positionsbestimmung durchgeführt. Im Gegensatz zur Trilateration und Triangulation, haben Einbauten und Wände hier keinen Einfluss auf die Ortsbestimmung, da diese bei der Aufnahme des „Fingerabdruckes“ genauso schon vorhanden waren. Die Sender müssen jedoch so angebracht werden, dass die Signale nicht durch bewegliche Objekte, wie z.B. Menschen beeinflusst werden. Außerdem ist die zusammenfassende Problematik der unterschiedlichen Signalfeldstärken der Bluetoothsender zu beachten. D. h. der Fingerabdruck an einem Ort kann sich innerhalb eines kurzen Zeitfensters ändern, da die Signalstärken der Bluetoothbaken schwanken.

Die Gebiete in denen das Fingerprintingverfahren durchgeführt wird müssen zunächst aufgenommen werden. Ist das Referenzmaterial zu groß um es auf dem Ortungsendgerät vorzuhalten muss außerdem die Latenz bei der Abfrage zu einer serverbasierten Vorhaltung der Daten miteinberechnet werden. Ggf. fehlender Internetempfang macht eine Positionsbestimmung am Ende gar nicht möglich.

6.1.2. Ortung mittels Magnetfeldbestimmung

Im Forschungsprojekt m4guide[9] wurde unter anderem das Magnetfeld der Erde für die Lokalisierung in Indoorgebäuden verwendet. Das Fraunhofer Institut machte sich hierbei zu nutzen, dass größere metallische Strukturen wie Heizkörper und Stahlträger lokal die Richtung und Stärke des Magnetfeldes beeinflussen. Diese Anomalien wurden ausgemessen und später für die Positionsbestimmung genutzt (vgl.m4guide 2016). Auch in *DYNAMO* wurde die Verwendung des Magnetfeldes untersuchend betrachtet. Problematisch bei der Verwendung in ÖPNV-Gebäuden ist jedoch das sich verändernde Magnetfeld durch einfahrende Züge (vgl. Czogalla 2015b). Das Fraunhofer Institut hat sich diesem Problem gestellt und verwendet das Magnetfeld dennoch ergänzend bzw. in Kombination mit anderen Verfahren der Ortsbestimmung. Diese umfassen:

- Bluetooth Beacons zum Erkennen, ob ein bekanntes Indoor-Umfeld betreten oder verlassen wird
- Optische Marker, die mit der Smartphone-Kamera erfasst werden und über eine digitale Karte punktuell eine genaue Ortung ermöglichen (s.u.)
- Hochgenauer Schrittsensor zur Erfassung der zurückgelegten Entfernung (s.u.)
- Smartphone-Kompass
- Magnetfeld-Fingerprinting-Karte des Gebäudes

6.1.3. Ortung mittels visueller Verfahren

Hier sind unterschiedliche Verfahren der Ortung, welche einen unterschiedlichen Komplexitätsgrad der Implementierung bedingen, zu nennen.

Time of Flight (TOF)

Bei TOF-Verfahren werden mit Hilfe von Signallaufzeiten Distanzen gemessen. Hier gibt es z. B. optische Verfahren bei der eine Kamera mit einem Lichtpuls ein Objekt anstrahlt und für jeden zurückgeworfenen Bildpunkt die benötigte Zeit misst. Die benötigte Zeit ist direkt proportional zur Distanz. Die Kamera liefert somit für jeden Bildpunkt die Entfernung des darauf abgebildeten Objektes (vgl. Wikipedia TOF-Kamera). Time of Flight Kameras sind eine Klasse der laserlosen Light detection and ranging (LiDAR) Kameras. Beim LiDAR Verfahren werden Laserimpulse ausgesendet um Abstand und Geschwindigkeit zu messen.

Marker basierte Ortung

Bei diesem Verfahren werden zusätzliche Marker wie QR-Codes oder Strichcodes in der Infrastruktur angebracht. Die Position dieser Marker wird in einer Referenzliste hinterlegt mit Hilfe derer die Positionierung durchgeführt werden kann. Das Verfahren ist sehr genau und im Rahmen einer Ortung

[9] http://www.m4guide.de/

mit Hilfe von Datenbrillen sehr charmant, birgt jedoch den Nachteil, dass die Codes in die vorhandene Infrastruktur integriert werden müssen. Um die Eignung von QR-Codes zur Ortung durch Kameras in den Datenbrillen einschätzen zu können, ist zu prüfen, ob ein Scannen des Markers im Vorbeigehen realisiert werden kann. Das Verfahren muss als im Kontext von RadAR+ ungeeignet bewertet werden, wenn der Nutzer die Marker explizit anschauen muss, um eine Lokalisierung durchzuführen. Die Bereitschaft des Kunden bei der Navigation mitzuwirken wird als äußerst gering eingeschätzt. Aus Evaluationsgesprächen anderer Forschungsprojekte wie *DYNAMO* und namo ergab sich, dass der Kunde davon ausgeht, dass die App bzw. ein RAS ohne seine aktive Hilfe funktionieren muss. Die Akzeptanz bezüglich Rückfragen durch das RAS wie z. B. „Scannen Sie bitte einen QR-Code in Ihrer Nähe“ wird als äußerst gering eingeschätzt.

6.1.4. Ortung mittels Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

Das SLAM-Verfahren zeichnet sich dadurch aus, das ein autonomes Fahrzeug in einer unbekannten Umgebung an einem unbekannten Punkt startet und seine Umgebung mittels verschiedener Sensoren erfasst und mit rechentechnisch aufwendigen Verfahren eine Karte erstellt in welcher es ständig seine Position nachhält. Dabei werden von den Sensoren Landmarken erfasst und eine ständige relative Positionierung des Fahrzeuges zwischen diesen Landmarken vorgenommen. Die absolute Position dieser Landmarken ist nicht bekannt (vgl. Dissanayake 2006). Damit kann das Fahrzeug am Ende zu seiner Ausgangsposition oder an schon erhobene Punkte zurückkehren und es wird umfangreiches Kartenmaterial für ggf. weitere Verwendung erstellt. Google nutzt dieses Verfahren in seinem Projekt Tango[10] um mittels maschinellen Sehens von mobilen Geräten wie Tabletcomputern oder Smartphones deren relative Position zur Außenwelt ohne GNSS oder andere signalbasierte Ortungstechnologien zu ermitteln. Das maschinelle Sehen wird mit TOF Kameras gewährleistet. Mit dem Verfahren können Karten erzeugt werden, die dann für die Innenraum-Navigation oder Augmented Reality Anwendungen genutzt werden können. Die im Projekt favorisierte Hololens hat eine TOF-Kamera integriert und ist somit in der Lage Kartendaten für die Indoornavigation aufzunehmen. Problematisch ist jedoch der enorme Speicherbedarf.

Für das SLAM-Verfahren als Ortungsmöglichkeit in RadAR+ gibt es keinen Anwendungsfall. Die Nutzer werden auf ihrer Reise zwischen, für das Routingsystem, bekannten Orten navigiert. Das Kartenmaterial muss bei den exemplarischen Indoorrouten in RadAR+ schon bekannt sein. Jedoch kann das Verfahren betrachtet werden um nutzerbasiert noch nicht vorhandenes 3D-Kartenmaterial von weiteren Stationen außerhalb des Projektes zu erzeugen, welches in der Folge für Navigations- oder Augmented RealityAnwendungen im ÖPNV verwendet werden kann. Entweder wird hierfür direkt die Hololens verwendet oder mit dem Lenovo Phab 2 Pro[11] steht hierfür auch ein Smartphone mit TOF-Kamera zur Verfügung. Aktuell ist die Hololens noch nicht auf dem europäischen Markt erhältlich. D. h. das Kartenmaterial mit der Datenbrille kann ggf. erst sehr spät erhoben werden. Dennoch sollte diese Möglichkeit berücksichtigt werden, da zukünftig eine stärkere Verbreitung von Datenbrillen mit den technischen Möglichkeiten einer Hololense angenommen wird.

[10] https://get.google.com/tango/
[11] http://shop.lenovo.com/at/de/tango/index.html

6.1.5. Ortung mittels Pedestrian Dead Reckoning (PDR)

Dieses Verfahren setzt eine eindeutige Ortung mittels GNSS, RSS oder einem optischen Verfahren voraus. Basierend auf der Kombination verschiedener Inertialsensoren wie Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren, kann die Bewegung eines mobilen Gerätes oder Nutzers detektiert werden. Diese Informationen nutzt das Pedestrian Dead Reckoning Verfahren um mittels Schrittdetektion, Schrittweitenschätzung und Richtungsschätzung die Position des Nutzers nachzuführen

Das Verfahren der Positionsnachführung wird in verschieden Projekten untersucht, so z. B. in *DYNAMO*, Ko-FAS - KoTAG: Kooperative Transponder[12] oder navka[13] und sind dort von der Qualität der verbauten Sensoren abhängig. Im Projekt navka und in m4guide wurde ein zusätzlicher Sensor am Schuh der Testperson angebracht und Ko-FAS – KoTAG bediente sich eines Gürtels mit Sensoren. In *DYNAMO* wurde das Pedestrian Dead Reckoning-Verfahren verwendet, um zu testen, ob eine eher geringe Ausstattung einer Station mit Bluetooth-Baken durch dieses Verfahren ergänzt werden kann. Die Handhabbarkeit im täglichen Gebrauch wurde kritisch bewertet, da das Smartphone aufrecht in der Hand des Nutzers oder in einer Hemdtasche getragen werden musste, um die Bewegung, d.h. die Schritte und die Richtung zu detektieren. Dies konnte sonst nicht gewährleistet werden.

6.2. Bewertung der verschiedenen Verfahren der Indoorortung

Verfahren	Vorteile	Nachteile
RSS -Zellortung	• Einfache Zuordnung • Erhebung von Referenzmaterial nicht nötig > Strahlungsbereich einer Bake grundsätzlich bekannt – Störfaktoren sind möglich	• Genaue Positionsbestimmung innerhalb der Zelle nicht möglich > meist wird bei Ortung innerhalb der Zelle immer die Koordinate des Senders zugewiesen • Signalfeldschwankungen bei Bluetooth • Genauigkeit durch die Größe der Zelle vorgegeben • Externe Infrastruktur (Sender) notwendig
RSS-Trilateration	• Erhebung von Referenzmaterial nicht nötig	• Signalfeldschwankungen bei Bluetooth • Einbauten, die Auswirkungen auf die Signalstärke haben werden nicht berücksichtigt • Externe Infrastruktur (Sender) notwendig
RSS-Triangulation	• Erhebung von Referenzmaterial nicht nötig	• Signalfeldschwankungen bei Bluetooth • Einbauten, die Auswirkungen auf die Signalstärke haben werden nicht

[12] http://www.iis.fraunhofer.de/content/dam/iis/de/doc/lv/los/lokalisierung/20130225_Datenblatt%20Bewegungsklassifikation.pdf

[13] http://www.navka.de/index.php/de/77-projekt/211-autonomous-indoornavigation

		berücksichtigt • Externe Infrastruktur (Sender) notwendig
RSS-Fingerprinting	• Genaue Positionierung anhand eines „Fingerabdruckes“ möglich • Einbauten, die Auswirkungen auf die Signalstärke haben, sind bei der Ortung mittels Fingerabdruckes schon berücksichtigt, da sie bei der Erhebung des Referenzmateriales so auch schon vorlagen	• Erhebung von Referenzmaterial nötig • Abgleich des Referenzmaterials kann je nach Vorhaltung weitere Probleme nach sich ziehen > Vorhaltung im Internet setzt eine Internetverbindung während der Navigation voraus > Vorhaltung auf dem Endgerät setzt Speicherplatz für das Referenzmaterial und die notwendige Rechenleistung auf dem Endgerät voraus • Signalfeldschwankungen bei Bluetooth • Externe Infrastruktur (Sender) notwendig • Fingerprints werden von der Anzahl der umgebenden Personen und ggf. von Fahrzeugen innerhalb der Station verfälscht
Magnetfeldortung	• Magnetisches Feld eindeutig, sofern keine externen Störfaktoren hinzukommen (siehe Nachteile) • Positionsbestimmung bei vorhandenem Referenzmaterial eindeutig • Keine externe Infrastruktur (Sender) notwendig	• Erhebung von Referenzmaterial nötig • Magnetisches Feld abhängig von metallischen Gegenständen > d. h. Magnetfeld ändert sich bei ein- und ausfahrenden Zügen • Als alleiniges Verfahren nicht verwendbar, in Koppelung mit anderen Verfahren sinnvoll
Optische Ortung mittels TOF	• Kein Referenzmaterial notwendig • Prinzipielle Verortung im Raum möglich • Bestimmung des Abstandes zu Objekten möglich • Relative Positionierung möglich • Keine externe Infrastruktur (Sender) notwendig	• Absolute Positionierung mit dem Verfahren nicht möglich • Kamerabild muss verfügbar sein
Optische Ortung mittels Marker wie QR-Codes	• Eindeutige Ortung	• Externe Infrastruktur notwendig > QR-Codes müssen extra angebracht werden > Eingriff in die Infrastruktur • Marker müssen von einer Kamera des Geräts erfasst werden
Optische Ortung mittels Marker wie Schilder	• Schilder sind Teil der Infrastruktur • Keine externe Infrastruktur notwendig	• Informationen auf den Schildern kommen ggf. häufiger vor > keine eindeutige Ortung, bzw. Kombination mit weiteren Verfahren notwendig

		• Schilder müssen von einer Kamera des Geräts erfasst werden
Optische Ortung mittels SLAM	• Kein Referenzmaterial notwendig • Orientierung in unbekanntem Gebiet möglich • Keine externe Infrastruktur notwendig	• Rechenaufwendig • Speicherplatzaufwendig • Keine absolute Positionierung möglich, nur relative Positionierung zu aktuell erhobenem Kartenmaterial
PDR	• Ortung nicht permanent nötig > Position wird nachgeführt • Keine Externe Infrastruktur notwendig	• Absolute Positionierung mit dem Verfahren nicht möglich > Initiale Ortung notwendig > Positionsnachführung > kann als Ergänzung zu anderen Verfahren verwendet werden • Sensorik in Endgeräten häufig nicht ausreichend, bzw. mit Voraussetzungen nutzbar > beispielsweise muss das Handy für die Schritterkennung möglichst in der Hand gehalten werden oder zusätzliche Sensorik muss unterstützend verwendet werden

Aus der Tabelle lässt sich ableiten, dass keines der vorgestellten Verfahren für sich allein genommen zur Positionsbestimmung ausreichend genau genug ist. Vielmehr muss es sich um eine Kombination verschiedener Verfahren handeln. Die Voraussetzungen in RadAR+ werden im folgenden Kapitel dargestellt und am Ende ein Fazit mit möglichen Realisierungsstufen der Indoorortung in RadAR+ gezogen.

6.3. Ortungsvoraussetzungen am Flughafen Frankfurt und im Projekt RadAR+

In RadAR+ wird davon ausgegangen die Navigation des Kunden exemplarisch auf dem Weg vom Fern-, Regional- und Busbahhof zu ein oder zwei Gates mit Hilfe der Datenbrille Hololense zu realisieren. Dafür wird in diesen Korridoren eine Ortungsinfrastruktur benötigt.

Am Flughafen Frankfurt gibt es aktuell eine durch die Firma Cisco ausgerüstete WLAN-Infrastuktur die den Weg bis zum Fernbahnhof abdecken würde.

Der Busbahnhof ist nicht ausgestattet. D. h. dort müsste ggf. mit GNSS-Ortung gearbeitet werden.

Zusätzlich plant die Fraport mit der Firma Favendo den Aufbau einer Bluetoothinfrastruktur im Flughafen. Bis Ende 2016 werden eintausend Beacons, vorwiegend in Shoppingbereichen verbaut. Für die Shuttle-Bahn zwischen Terminal 1 und 2 ist ein Bluetoothausbau vorgesehen, jedoch nicht für den Busbahnhof, Übergänge und den Parkbereich.

Die bevorzugte Verbauung in Shoppingbereichen soll hier eine Genauigkeit von 10 Metern zur Folge haben. In langen Korridoren wird hingegen nur eine Genauigkeit von 45 Metern erwartet. Für RadAR+

ist dies insofern nicht problematisch, da in langen Korridoren keine Navigationsentscheidungen getroffen werden müssen.
Auch ein Ortungsverfahren ist durch die Fraport in Auftrag gegeben. Innerhalb der Fraport-App wird auf eine fusionierte Ortung aus WLAN, Bluetooth, und GPS-Ortung gesetzt. Zusätzlich wird die Sensorik des Endgerätes für die Positionsnachführung des Nutzers verwendet.
Im Rahmen von RadAR+ wurde angefragt, die entwickelte Ortungssoftware von Infsoft zu nutzen. Ist dies nicht möglich so wurde zumindest um die Nutzung bzw. den Zugang zur WLAN- und Beaconinfrastruktur gebeten.

Zusätzlich zur RSS Positionierung kann in RadAR+ eine visuelle Positionierung mittels Hololense sowie eine Positionsnachführung durch das PDR-Verfahren realisiert werden. Bezüglich der optischen Ortung ist zu berücksichtigen, dass die zu erkennenden Objekte, wie z. B. Schilder zunächst erst erhoben und Marker sogar noch angebracht werden müssen. Da die Anbringung von Markern, wie z.B. QR-Codes, immer einen Eingriff in die Infrastruktur bedeutet, sollte im Sinne einer später handhabbaren Lösung eine optische Ortung mittels schon vorhandener Infrastruktur, wie den Schildern, bevorzugt werden. Erst wenn sich dieses Verfahren als nicht ausreichend erweist, kann auf Marker zurückgegriffen werden. Mögliche Probleme bei der Ortung werden schon jetzt angenommen, da in einem visuell herausfordernden Umfeld geortet werden muss. So gibt es am Flughafen Frankfurt viele große und hohe Räume mit unterschiedlicher Tageslichtbeleuchtung, starken Spiegelungen und vielen dynamische Objekten (wie z. B. Menschen). D.h. eine optische Ortung sollte ergänzend zu den andern Verfahren funktionieren bzw. sind unterschiedliche Realisierungsstufen vorstellbar. Ziel ist natürlich eine automatische visuelle Ortung ohne Mithilfe des Nutzers. Um dahin zu gelangen können verschiedene Realisierungsschritte nacheinander abgearbeitet werden.

6.4. Realisierungsschritte einer Ortung in RadAR+

In einem ersten Schritt soll die RSS-Ortungsinfrastruktur am Flughafen für eine Ortung verwendet werden. Dafür ist eine Nutzungserlaubnis für die WLAN-Router und Bluetoothbaken Voraussetzung. Ggf. sind einzelne Baken oder WLAN-Router im Bereich der Bahnhöfe (Fern-und Regionalbahnhof) nachzurüsten. Diese Gebiete liegen nicht im Fokus der Fraport und sind somit nicht ausreichend ausgestattet. Ggf. kann direkt auf die Ortungssoftware Infsoft zugegriffen werden, die eine Nutzung der Sensorik im Handy beinhaltet. Damit wäre eine Ortung über das Handy vorausgesetzt.
Bei alleiniger Nutzung der Infrastruktur und Entwicklung einer Ortungssoftware, kann die Ortung auf der Hololense stattfinden. Entsprechende Sensorik steht auf der Brille zur Verfügung, zudem kann um die optische Ortung erweitert werden. Auch hier gibt es unterschiedliche Realisierungsstufen. Optimal wäre eine optische Ortung, die durch die automatische Erkennung der Gebäudeinfrastruktur realisiert wird. Dafür ist Referenzmaterial notwendig. Bei Nutzung der Hololense ist eine Erhebung des entsprechenden Materials tendenziell möglich. Jedoch benötigt das erhobene Referenzmaterial einen umfangreichen Speicherbedarf und die Möglichkeit der Nutzung entfällt aktuell allein aufgrund dieser Problematik.

Die weitere beschriebene Möglichkeit der optischen Ortung ist die Markererkennung. Dabei wird in diesem Konzept zwischen einer eindeutigen QR- und Strichcodeerkennung und einer Schilderkennung unterschieden. Die Wegeanweisungen auf den Schildern können ggf. auch häufiger im Flughafen vorkommen. Eine eindeutige Positionierung ist dann nur in Kombination mit weiteren Verfahren der Ortsbestimmung mittels RSS-Verfahren und der Positionsnachführung möglich.
Optimal wäre eine Erkennung der Schilder beim Vorbeilaufen durch den Nutzer. Eher unerwünscht ist ein exaktes Scannen des Schildes, da jenes eine Nutzerinteraktion nach sich zieht, die in diesem Konzept eher problematisch/durch den Nutzer eher nicht gewünscht angesehen wird.
Somit lässt sich zusammenfassend festhalten:

1. Eine Indoorortung auf Grundlage von RSS-Verfahren und der Sensorik des Ortungsendgerätes muss implementiert werden.
2. Optische Ortung sollte ergänzend hinzugezogen werden. Wünschenswert ist die Implementation einer automatischen Schilder- oder Markerkennung. Schilder werden in diesem Konzept favorisiert, da sie schon vorhanden sind. Zusätzliche Marker sind ein Eingriff in die vorhandene Infrastruktur und für eine spätere Umsetzung somit mit mehr Abstimmungs- und Arbeitsaufwand verknüpft. Ansonsten sollte durch aktives „Scannen“ (also mit der Datenbrille anschauen) des Nutzers eine Optische Ortung realisiert werden.
3. Im Besten Fall kann eine Optische Ortung anhand der Gebäudeinfrastruktur durch die Datenbrille vorgenommen werden, die dann durch RSS-Ortungsverfahren ergänzt wird.

Literatur

Arte, 2005: Leitsysteme für Menschen - Im Reich der Schilder (https://www.youtube.com/watch?v=upypLIcMSns, Abruf am 29.06.2016)

Beauregard, S. and Haas, H. (2006): Pedestrian Dead Reckoning: A Basis for Personal Positioning School of Engineering and Science, International University Bremen. (http://wpnc.net/fileadmin/WPNC06/Proceedings/33_Pedestrian_Dead_Reckoning.pdf, Abruf am 29.07.2016)

Bigler, Stephany, et al. (2014): "Up, Down, Turn Around: Assisted Wayfinding Involving Level Changes." International Conference on Spatial Cognition. Springer International Publishing, 2014. (http://www.zora.uzh.ch/99071/1/2014%20RichterKF_biglerbrueggerutzingerrichter.pdf, Abruf am 13.07.2016)

CEN/TS 15531-5 (E) (2011): Public transport — Service interface for real-time information relating to public transport operations — Part 5: Functional service interfaces: Situation Exchange. (https://www.vdv.de/cen-ts-15531-5-nk04-md-wb20141120a.pdfx?forced=true, Abruf am 19.07.2016)

Czogalla, O.; Michels, H.; Schmidt, D.; Stegemann, M.; Wiegand, A. (2015): Ein Navi für den ÖPV. In: Der Nahverkehr - Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region 33(12):18-23, 2015 (https://www.mentz.net/fileadmin/user_upload/PDF_Dokumente/mdv_in_der_Fachpresse/Beitrag_12-15.pdf, Abruf am 29.07.2016)

Czogalla, O. (2015a): Indoor Ortung und Navigation für die Führung von Fußgängern in Gebäuden des öffentlichen Verkehrs. 11. Tagung des ViMOS - Kompetenzzentrum für operatives Verkehrsmanagement, Dresden, TU Dresden. (http://vimos.org/cms/data/uploads/vimos2015/6_czogalla_vimos2015.pdf, Abruf am 29.07.2016)

Czogalla, O. (2015b): Smart phone based indoor navigation for guidance in public transport facilities. CESCIT 2015 - 2nd IFAC Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control, 22.-24.06.2015, Maribor, Slovenia, IFAC, 2015 http://ac.els-cdn.com/S2405896315010046/1-s2.0-S2405896315010046-main.pdf?_tid=25ed5422-5570-11e6-be5d-00000aacb35d&acdnat=1469785264_fab7f8f2ba41db9ef2c477f68a09c56a, , Abruf am 29.07.2016)

Dissanayake, M.W.M.G., Newman, P., Clark, S., Durrant-Whyte H.F. and Csorba, M. (2006): A Solution to the Simultaneous Localisation and Map Building (SLAM) Problem. Australian Centre for Field Robotics, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, The University of Sydney Australia http://www.cs.cmu.edu/~16899/notes/slam_ieee.pdf, Abruf am 29.07.2016)

Dr.-Ing. Busch, Fritz (2013): „Betrachtungen zur Intermodalität Intelligenter Verkehrssysteme“. In: Nationale IVS-Konferenz im BMVBS, Berlin, 26.02.2013.

(https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/ivs-betrachtung-intermodalitaet.pdf?__blob=publicationFile, Abruf am 29.06.2016)

Hölscher, Christoph, and Martin Brösamle (2007): "Capturing indoor wayfinding strategies and differences in spatial knowledge with space syntax." Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul. (http://www.spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers%5Clongpapers%5C043%20-%20H%C3%B6lsher%20Br%C3%B6samle.pdf, Abruf am 13.07.2016)

Hölscher, Christoph, et al. (2007): "Signs and maps–cognitive economy in the use of external aids for indoor navigation." Proceedings of the 29th annual cognitive science society. Austin, TX: Cognitive Science Society, S. 377-382. (http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/fileadmin/user_upload/files/publications/CogSci2007-377_4777[0].pdf, Abruf am 13.07.2016)

Hölscher, Christoph, et al. (2006): "Up the down staircase: Wayfinding strategies in multi-level buildings." Journal of Environmental Psychology 26.4, S. 284-299. https://www.uni-giessen.de/fbz/fb06/psychologie/abt/kognition/dateien/HMVBK_JEP.pdf, Abruf am 13.07.2016)

Hölscher, Christoph, et al. (2006): "The floor strategy: Wayfinding cognition in a multi-level building." Proceedings of the 5th International Space Syntax Symposium. Vol. 2. (http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/fileadmin/user_upload/files/publications/Space-Syntax-5-Hoelscher.pdf, Abruf am 13.07.2016)

Hund, Alycia M., and Amanda J. Padgitt (2010): "Direction giving and following in the service of wayfinding in a complex indoor environment." Journal of Environmental Psychology 30.4, S. 553-564. (http://psychology.illinoisstate.edu/amhund/Publications/Hund_Padgitt_JEnvP.pdf, Abruf am 13.07.2016)

Leitinger, S., Steiger, S., Schmidt, M., Rehrl, K., Krampe, S., Steinmann, S. und Weber, M. (2011): Augmented Reality, sprachbasierte Navigation und digitale Karte – Fußgängernavigation unter Verwendung von OpenStreetMap. In: J. Strobl et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2011 - Beiträge zum 23. AGIT-Symposium (AGIT 2011), Wichmann Verlag Berlin, S. 164-169. (http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gisopen/AGIT_2011/537508059.pdf, Abruf am 29.06.2016)

Li, Rui and Klippel, Alexander (2016): Wayfinding Behaviors in Complex Buildings: The Impact of Environmental Legibility and Familiarity. University of Münster, The Pennsylvania State University. (http://www.cognitivegiscience.psu.edu/pdfs/liXXXXwayfinding.pdf, Abruf am 04.08.2016)

M4guide (2016): 3. Ortung und Indoor–Navigation. (http://www.m4guide.de/files/Zusatzinfo%203%20Projekt%20m4guide.pdf, Abruf am 27.07.2016)

Münzer, Stefan, and Christoph Stahl (2007): "Providing individual route instructions for indoor wayfinding in complex, multi-level buildings." GI-Days 2007 Young Researchers Forum. (https://www.dfki.de/web/forschung/publikationen?pubid=5374, Abruf am 13.07.2016)

Padgitt, Amanda J., and Alycia M. Hund (2012): "How good are these directions? Determining direction quality and wayfinding efficiency." Journal of Environmental Psychology 32.2, S. 164-172. (http://psychology.illinoisstate.edu/amhund/Publications/Padgitt_Hund_2012.pdf, Abruf am 13.07.2016)

Wikipedia: „TOF-Kamera“ (https://de.wikipedia.org/wiki/TOF-Kamera, Abruf am 27.07.2016)

Wikipedia: „Projekt Tango“ (https://de.wikipedia.org/wiki/Project_Tango, Abruf am 29.07.2016)

„Ergebnisbericht der rms GmbH - RadAR+ “

28. Mai 2019

Projektbeteiligung – rms GmbH (10% des Fördervolumen)

Mit folgenden Aufgaben (im Lead) betraut:

- Technische Leitung
- Indoor- und Fernrouting (Konzept)
- Infrastruktur Indoorrouting (Ausrüstung)

Weiterer Fokus:

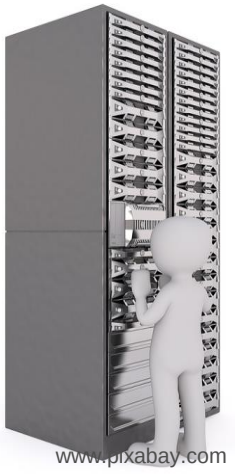
- Von den Anforderungen, über die Konzeption, zum wissenschaftlich evaluierbaren Demonstrator mit technischem Support (Unterstützungsleistungen in weiteren UAP´s)

Förderung inkl. Verlängerung:
01.01.2016 – 30.06.2019
Fördervolumen
4.2 m EUR

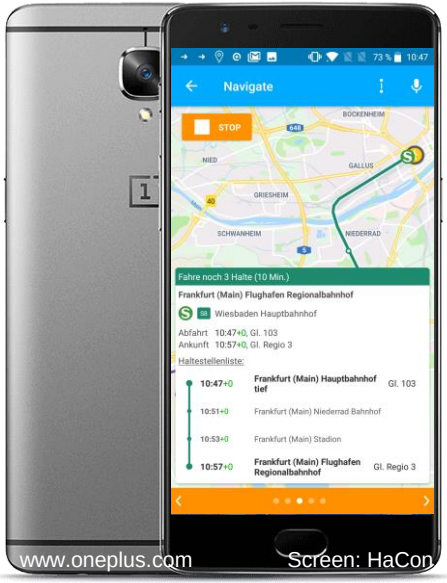
© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 0 Projektleitung

- Technische Leitung



www.pixabay.com



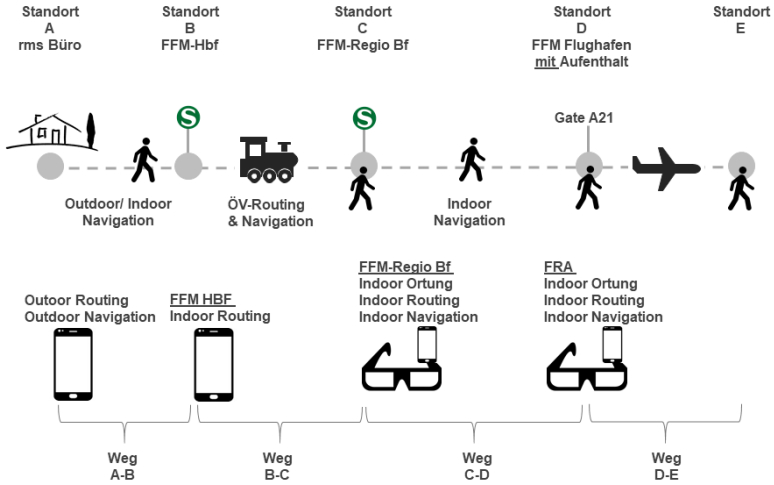
www.oneplus.com Screen: HaCon

Foto: rms GmbH

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 1 Anforderungsanalyse

- Einbringen der Erfahrungen aus anderen Forschungsprojekten z.B. DYNAMO; BAIM; IP-KOM-ÖV
- Nutzungskontext; Test- Anwendungsszenarien; Anforderungen; Profile; Systemkonzept
- Fokus Technik: Red Case zur Umsetzung



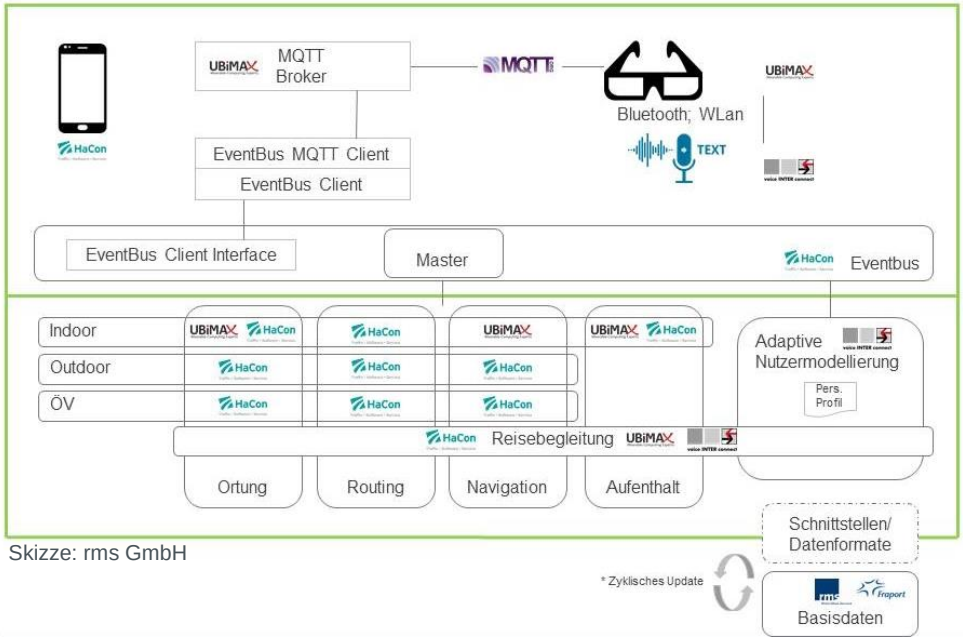
Skizze: rms GmbH

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 2 Konzeption und Konzeptevaluation

- adaptive Nutzermodellierung
- Interaktion AR/ Smartphone
- Teilmodularisierung Gesamtsystem

www.pixabay.com



Skizze: rms GmbH

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

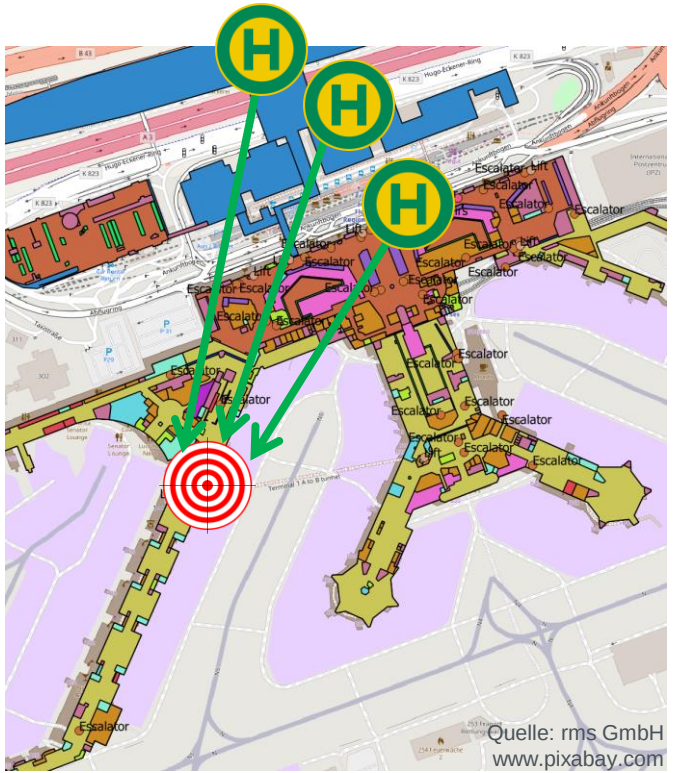
AP 2 Konzeption und Konzeptevaluation

Konzept Indoor- und Fernrouting

- Arbeitsschritte
  - Grobkonzept Indoor- und Feinrouting Regional-, Fern-, Busbahnhof mit Umsteigebauwerk (UBW)
  - Detailierung/ Feinkonzept Indoorrouting Verknüpfungen und Wege im UBW

… angestrebte Vision der rms GmbH:

automatisierte Wegenetzmodellierung auf Basis vorhandener Bestandsflächen (Ebenen übergreifend)

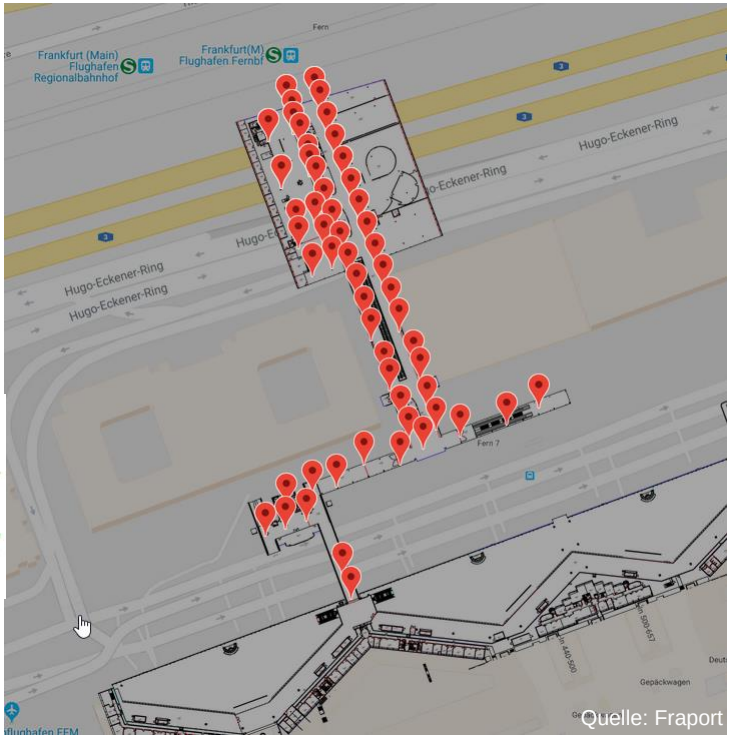


© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 2 Konzeption und Konzeptevaluation

Vorbereitung Infrastruktur Indoorrouting

- Hardwarebeschaffung Bluetooth Beacon
- Beauftragung Ausrüstung
- Problemstellungen durchgängige Ortung (DB Fern; DB Regional; Fraport; Übergang)
- Nachhaltige Nutzung Fraport



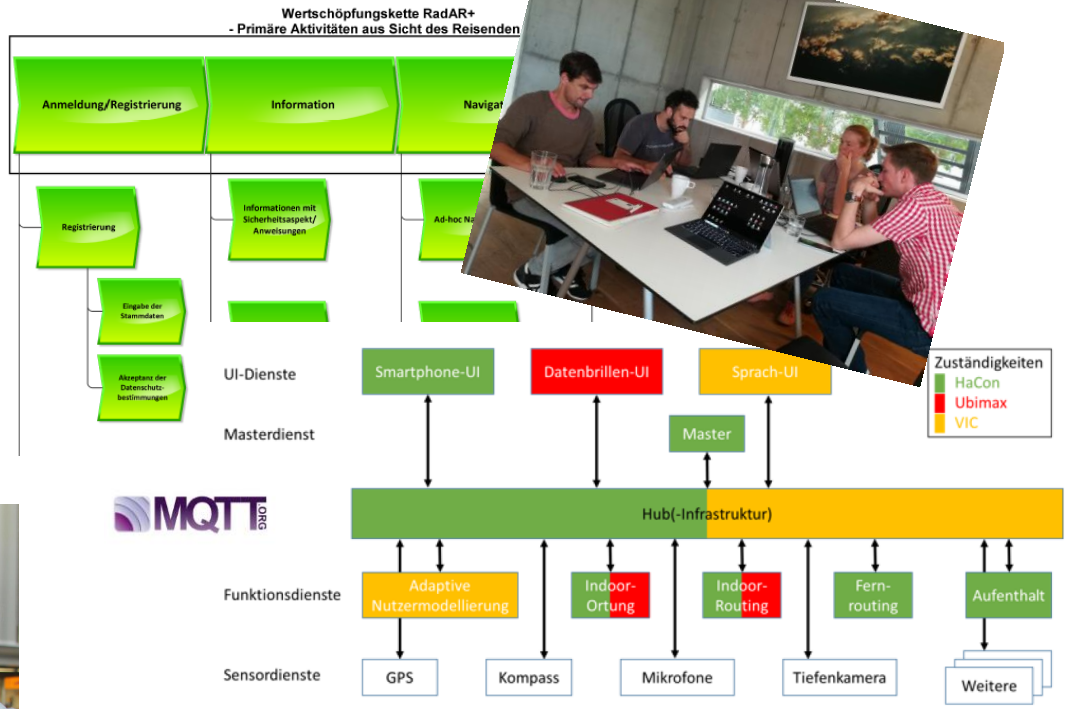
Quelle: Fraport

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 3 Demonstrator

rms GmbH

- Koordinierender Ansprechpartner
- Moderation
- Telko´s; Hackathon



Quelle: Konsortium

Quelle: vgl. Folie 3

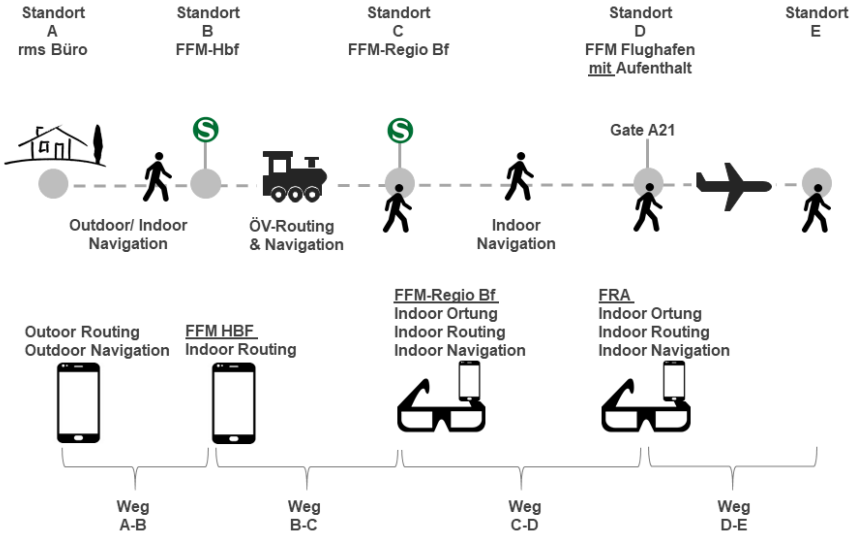
© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

AP 4 Empirische Evaluation & AP 5 ELSI

- technischer Support
- organisatorische Unterstützung

www.rmv.de

Foto: rms GmbH



Skizze: rms GmbH

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

Öffentlichkeitsarbeit – „tue Gutes und rede darüber“

Vorträge und Publikation (Auszug aktuell mit rms Beteiligung)

- ALS Abschlusstreffen Bonn 04/2018
- Bayern innovativ Nürnberg 10/2018
- POSNAV Berlin 10/2018
- ÖPNV Lab Eröffnung 02/2019
- FA Internationales Verkehrswesen 05/2019

- Mobilitätskongress
- FA Nahverkehr 09/2019

Fazit

- Wissenschaftlicher und/ oder technischer Erfolg

  - Fußgängerrouting und –navigation
    Erweiterte Wissensbasis in komplexen Umsteigebauwerken
    (Umsetzung im Demonstrator)
  - technisch unterstützende Mittel
    adaptiv Lernend; sprachliche Interaktion → Nutzer interessiert an unterstützenden Technologie

Zusammenfassend:

Erkenntnis was -Stand heute- umsetzbar ist und was nicht
(Detailverweis – Vorträge der Partner)

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

Fazit

- Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans
  - Die rms GmbH konnte den Finanzierungs- und Zeitenplan (unter Berücksichtigung der Verlängerung) einhalten

- Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit
  - Sprachinteraktion
  - Weitere Detailierung Indoorortung/ automatisierte Wegenetzmodellierung in Umsteigebauwerke
  - adaptive Nutzermodellierung (personalisierte Auskunft)

www.pixabay.com

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Benjamin Kolbe Dipl.-Ing. (FH)
Teamleitung Informationsdienste

Bereich Informationsdienste & Datenmanagement
Tel.: +49 (0)69 / 2 73 07 - 535
Fax: +49 (0)69 / 2 73 07 – 478
bkolbe@rms-consult.de

Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH

Am Hauptbahnhof 6
60329 Frankfurt am Main

House of Logistics & Mobility (HOLM)
Bessie-Coleman-Straße 7
60549 Frankfurt am Main

Am Hamburger Bahnhof 4
10557 Berlin

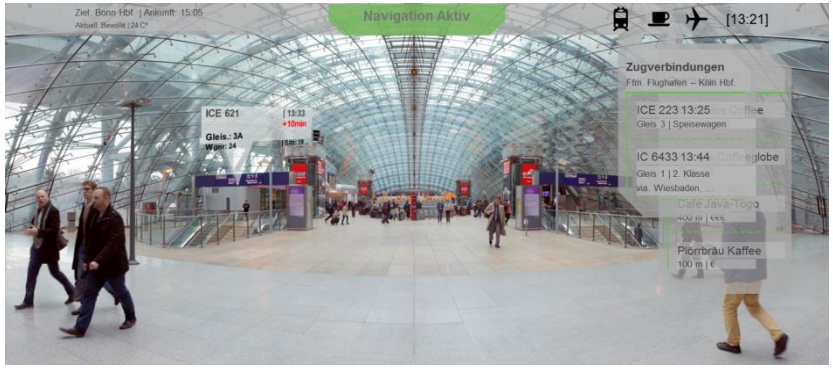
www.rms-consult.de
info@rms-consult.de

© 2019 Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms GmbH)

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

ABSCHLUSSPRÄSENTATION



Bent Nowack (HOLM)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt (UNI)

Benjamin Kolbe (rms)

Frankfurt am Main, 28.05.2019

Veranstaltungsort: HOLM GmbH

3. TEIL: DER DEMONSTRATOR (BENJAMIN KOLBE)

TECHNIK - DER DEMONSTRATOR

DER DEMONSTRATOR

Technikpartner

ubimax

- AR-Visualisierung
- Wearable Computing

HaCon

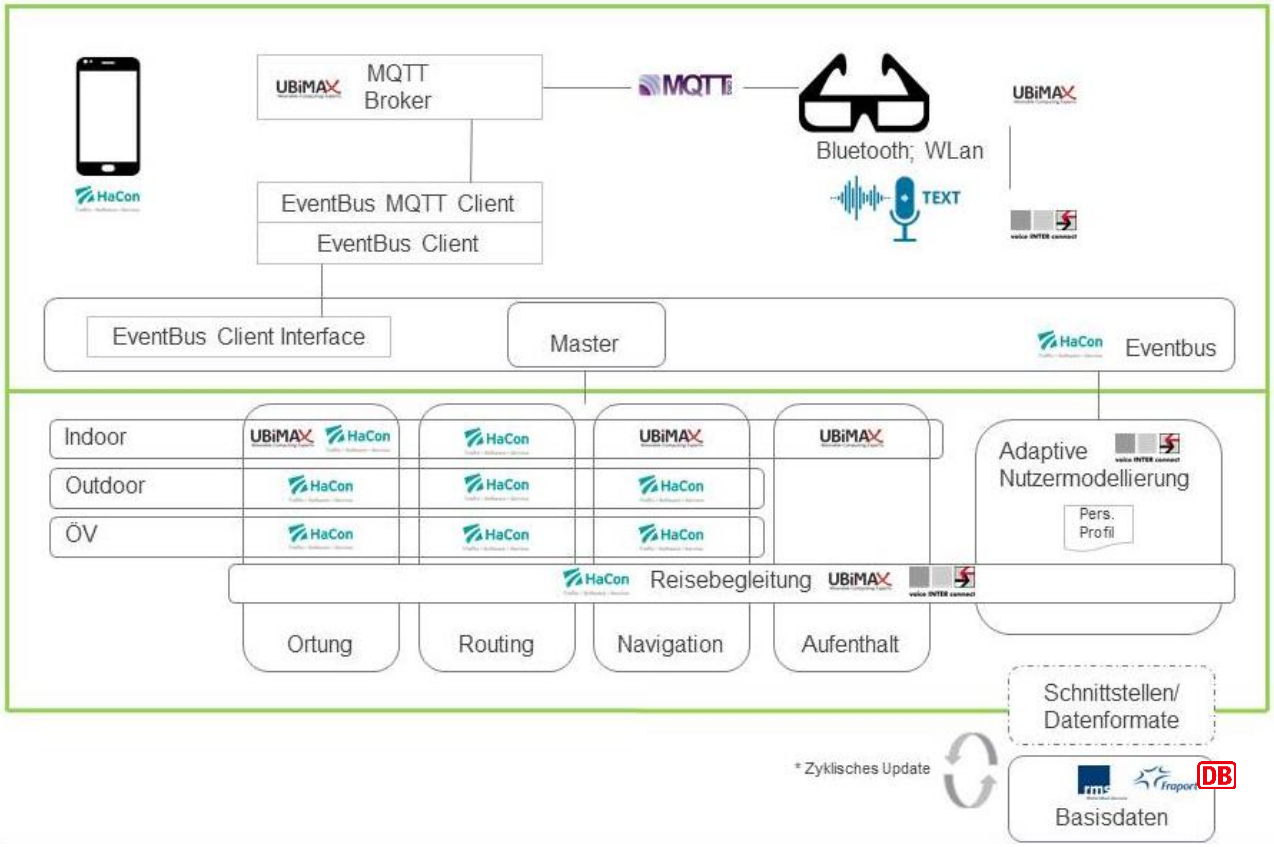
- Reiseauskunft
- Hintergrundsystem

VIC

- Sprachsteuerung
- Individueller Nutzerkontext

rms GmbH

- Technische Projektleitung
- Echtzeit- und Geoinformation



DER DEMONSTRATOR

Von der „Idee“ in die Praxis!

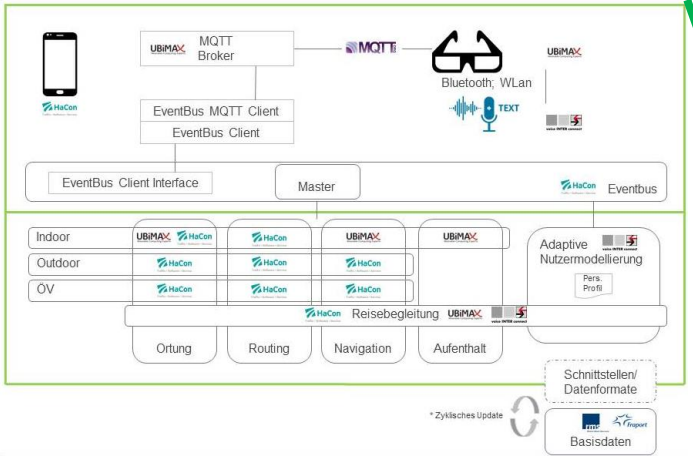
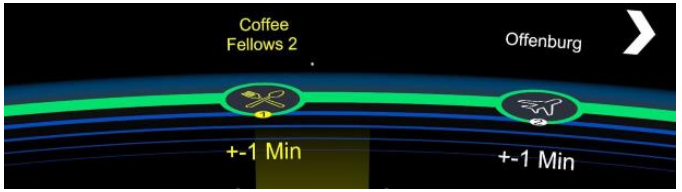
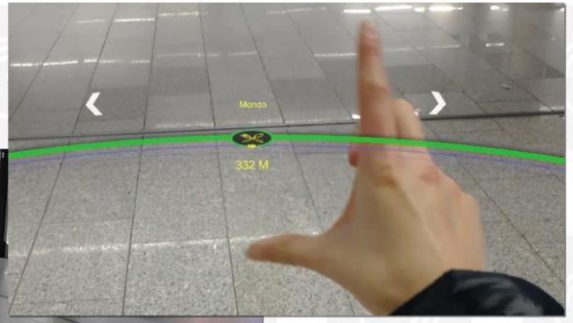


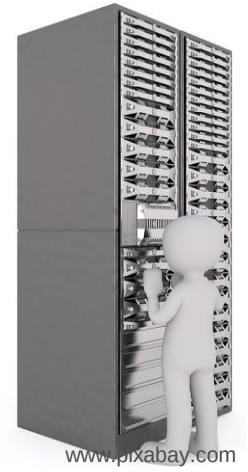
Foto: rms GmbH

DER DEMONSTRATOR

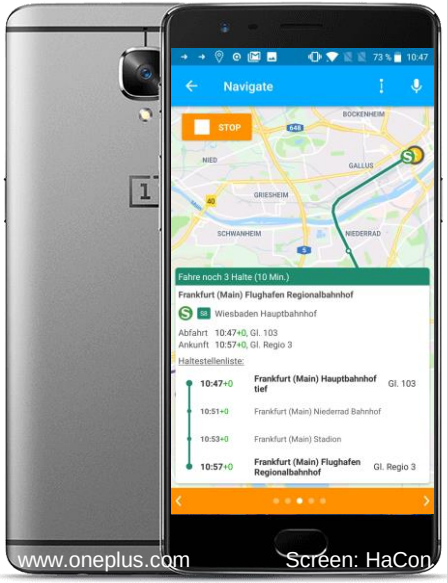




DER DEMONSTRATOR



www.pixabay.com

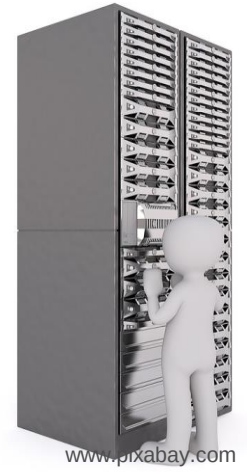


www.oneplus.com Screen: HaCon

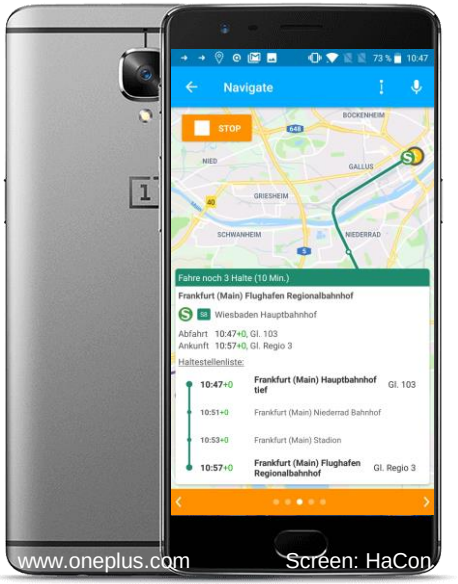
Foto: rms GmbH

DER DEMONSTRATOR

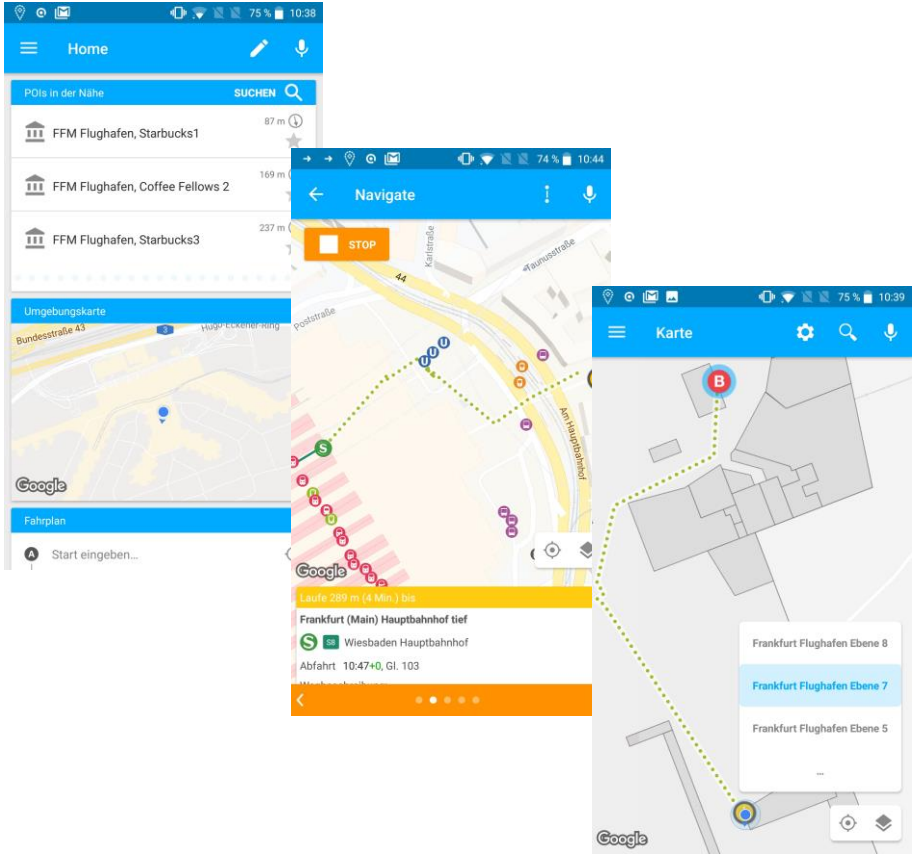
- Reiseauskunft
- POI´s in der Nähe
- Routing Indoor- Outdoor



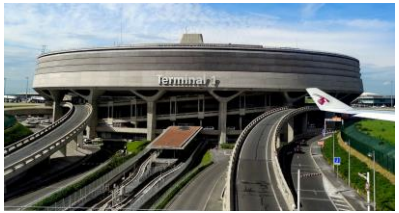
www.pixabay.com



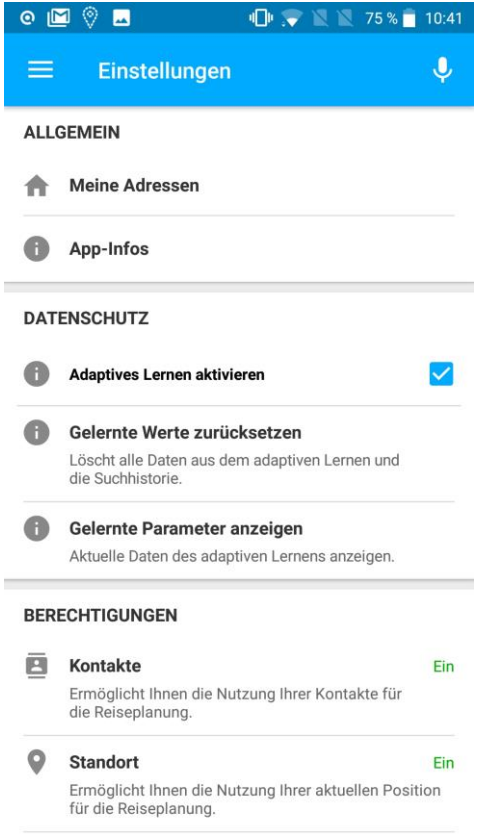
www.oneplus.com Screen: HaCon



DER DEMONSTRATOR



Bring mich zum Flughafen
“Paris-Charles-de-Gaulle”



DER DEMONSTRATOR

Technisches Fazit/ Verwertbarkeitspotentiale

- POI in der Nähe
- Ebenen Routing/ Routing in Umsteigebauwerken
- Indoor Ortung
- Adaptive Nutzermodellierung
- Standardverwendung MQTT/ Einbindung weiterer Hardware

→ Der Demonstrator (Video)

→ HANDS ON TECHNIK

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)
---	Schlussbericht

3. Titel
RadAR+ „Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf der Basis von Augmented Reality“

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens
Stegemann, Martina Kolbe, Benjamin	30.06.2019
	6. Veröffentlichungsdatum 12/2019
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH Am Hauptbahnhof 6 60329 Frankfurt am Main	--- 10. Förderkennzeichen 16SV7399
	11. Seitenzahl 22
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)	13. Literaturangaben
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	--- 14. Tabellen --- 15. Abbildungen 8

16. Zusätzliche Angaben

---

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

Technische Informationsbibliothek (TIB), Welfengarten 1 B, 30167 Hannover

18. Kurzfassung

Das Vorhaben RadAR+ „Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf der Basis von Augmented Reality“, sah die praxisnahe Konzeption und Entwicklung eines Demonstrators für einen Mobilitätsagenten vor, der Reisende mit aktuellen Hinweisen zur Verbindung und beim effizienten Wechsel der Verkehrsmittel entlang einer Reisekette unterstützt. Dazu sollen die benötigten Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der notwendigen Tiefe bereitgestellt werden, indem Planungskomponenten wie das Fernrouting, Indoor-Routing und der Aufenthalt intelligent miteinander verknüpft werden.

Die Evaluation des technisch umgesetzten Demonstrators RadAR+ konnte die Akzeptanz von Informationsdiensten mittels AR-Technologie unter Verwendung einer Datenbrille nachweisen. Mit den Erfahrungen aus RadAR+ wird erhofft, dass dies dazu beitragen kann, dem ÖV-Kunden zeitgemäße, innovative, komfortable, adaptiv lernende Informationsdienste anzubieten, welche Nutzungshemmnisse im ÖV mittel- bis langfristig abbauen kann.

19. Schlagwörter
Augmented Reality; Adaptive, lernende Reiseassistenz

20. Verlag	21. Preis
---	---

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication)
---	final report

3. title
RadAR+ „Reiseassistenzsystem für dynamische Umgebungen auf der Basis von Augmented Reality“

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project
Stegemann, Martina Kolbe, Benjamin	30.06.2019
	6. publication date 12/2019
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH Am Hauptbahnhof 6 60329 Frankfurt am Main	9. originator’s report no. ---
	10. reference no. 16SV7399
	11. no. of pages 22
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references ---
	14. no. of tables ---
	15. no. of figures 8

16. supplementary notes
---

17. presented at (title, place, date)
Technische Informationsbibliothek (TIB), Welfengarten 1 B, 30167 Hannover

18. abstract
The project RadAR + "Augmented Reality Dynamic Travel Assistance System" provided a hands-on concept and development of a Mobility Agent demonstrator that will provide travelers with up-to-date guidance on how to connect and efficiently change transportation along a travel chain. For this purpose, the required information is to be provided at the right time and to the required depth, by intelligently linking together planning components such as remote routing, indoor routing and residence.

The evaluation of the technically implemented demonstrator RadAR + proved the acceptance of information services by means of AR technology using data glasses. With the experience from RadAR + is hoped that this can help the public transport customer to offer contemporary, innovative, comfortable, adaptive learning information services, which can reduce barriers to public transport in the medium to long term.

19. keywords
Augmented reality; Adaptive, learning travel assistance

20. publisher	21. price
---	---