



Schlussbericht – öffentlicher Teil

Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte

InMoBS

Teilvorhaben: Technische Universität Braunschweig
Förderkennzeichen: 19P12001A



erstellt von der ITS Niedersachsen GmbH und dem InMoBS-Team:



(Konsortialführer)



SIEMENS



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DBSV





Dokumenten-Information

Projekt:	Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte			
Projektkurztitel:	InMoBS			
Dokumententitel:	InMoBS Schlussbericht – öffentlicher Teil			
Dokument ID:	InMoBS_SB-pu			
Vertraulichkeit:	<input type="checkbox"/> CO Projektteam-intern	<input type="checkbox"/> RE Team, Auftraggeber, Projektträger	<input checked="" type="checkbox"/> PU öffentlich	
Version:	1.0	Datum:	02.04.15	Seitenanzahl: 62
Dateiname:	InMoBS_Partnerschlussbericht-public_v1.0_.docx			

Autoren:

Firma/Institut	Autor
TUBS-IV	Prof. Mark Vollrath
TUBS-IV	Dr. Kathrin Leske
TUBS-IVS	Prof. Bernhard Friedrich
TUBS-IVS	Steffen Axer



Inhalt

Dokumenten-Information	2
Inhalt	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
1 Einleitung	5
1.1 Zuwendungsempfänger	5
1.2 Dokumentenübersicht.....	5
2 Kurzdarstellung/Projektüberblick	6
2.1 Aufgabenstellung.....	6
2.2 Voraussetzungen.....	7
2.3 Planung und Ablauf	7
2.3.1 Allgemeiner Projektablauf.....	7
2.3.2 Teilprojekt TU Braunschweig.....	9
2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	11
2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
2.5.1 Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V.....	13
2.5.2 Ifak Magdeburg e.V., im Unterauftrag	14
2.5.3 ITS Niedersachsen GmbH, im Unterauftrag	14
3 Eingehende Darstellung der Projektumsetzung.....	15
3.1 Arbeitspaketbezogene Ergebnisdarstellung.....	15
3.1.1 InMoBS System im Überblick.....	15
3.1.2 AP 2000 - Anforderungsanalyse.....	16
3.1.3 AP 3000 - Systemdefinition/Spezifikation.....	27
3.1.4 AP 4000/6000 - Infrastrukturkomponenten – Entwicklung und Aufbau.....	43
3.1.5 AP 5000 - Mobile Endgeräte Entwicklung und Aufbau	45
3.1.6 AP 6000 - Systemintegration.....	49
3.1.7 AP 7000 - Demonstration und Bewertung.....	50
3.2 Finanzen.....	54
3.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	54
3.4 Nutzen und Verwertbarkeit	54
3.5 Abgrenzung von anderen Projekten.....	55
3.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	56
4 Referenzen.....	57
4.1 Bezugsdokumente aus dem Projekt InMoBS	57
4.2 Bezugsdokumente	58
4.3 Verzeichnis zu weiteren Online-Quellen	61



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Arbeitspaketstruktur des Forschungsprojekts	8
Abbildung 3-1: Entwurf des Systemkonzept mit verantwortlichem Projektpartner	15
Abbildung 3-2: Lage des Testfeldes „Nördliches und östliches Ringgebiet“ (grün = Knotenpunkte, rot = unmittelbares Testfeld, gelb = Umgebungsbereich digitale Karte)	23
Abbildung 3-3: Systemarchitektur und Schnittstellen	29
Abbildung 3-4: Use Case 1: Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde	30
Abbildung 3-5: Use Case 2: Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde	31
Abbildung 3-6: Use Case 3: Querung einer nicht signalisierten Furt	32
Abbildung 3-7: Use Case 5: Routenplanung allgemein (ohne Details zur Routenberechnung)	33
Abbildung 3-8: Use Case 6: Routenplanung am PC (ohne Details zur Routenberechnung)	34
Abbildung 3-9: Systemverhalten bei Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde	35
Abbildung 3-10: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde	37
Abbildung 3-11: Teilsystemarchitektur Forschungs-LSA	39
Abbildung 3-12: Protokollstack	40
Abbildung 3-13: Generierung ASN.1 Library	41
Abbildung 3-14: Kodierung/Dekodierung SPAT und TOPO	41
Abbildung 3-15: Routing Architektur	43
Abbildung 3-16: Systemkomponenten SIGNOS Set-Top-Box	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Arbeitspaketbezogene Aufgaben der TU Braunschweig	9
Tabelle 3-1: Systemverhalten bei Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde	30
Tabelle 3-2: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde	31
Tabelle 3-3: Systemverhalten bei Querung einer nicht signalisierten Furt	32
Tabelle 3-4: Systemverhalten bei der allgemeinen Routenplanung via PC oder mobiles Endgerät	33
Tabelle 3-5: Systemverhalten bei Routenplanung am PC	34
Tabelle 3-6: Systemverhalten bei Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde	36
Tabelle 3-7: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde	38
Tabelle 3-8: Kommunikation mit LSA	39
Tabelle 3-9: Routingrelevante Sicherheitsmerkmale	42
Tabelle 3-10: Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen	56



1 Einleitung

1.1 Zuwendungsempfänger

Zuwendungsempfänger	Technische Universität Braunschweig
Förderkennzeichen	19P12001A
Projektlaufzeit	01.01.2012 – 31.12.2014
Berichtszeitraum	01.01.2012 – 31.12.2014 (Schlussbericht)

1.2 Dokumentenübersicht

Dieses Dokument enthält den Schlussbericht – öffentlicher Teil für das F&E-Vorhaben Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte (InMoBS), Teilvorhaben Technische Universität Braunschweig.

Kapitel 2 gibt eine Einordnung in Aufgabenstellung, Voraussetzungen des Projektes, Planung und Ablauf, den wissenschaftlich-technischen Stand, an den bei Projektbeginn angeknüpft wurde, sowie die Zusammenarbeit mit anderen Stellen. Eine eingehende Darstellung des Projektablaufs und der Erlangung der Ergebnisse bietet Kapitel 3.



2 Kurzdarstellung/Projektüberblick

2.1 Aufgabenstellung

Blinde und sehbehinderte Menschen orientieren sich heute auf gelernten Wegen an taktilen Bodenindikatoren und akustischen Signalen. Insbesondere das Queren von Straßen stellt eine besondere Herausforderung mit großem Gefährdungspotenzial und ein Mobilitätshemmnis für diese Personengruppen dar. Innerstädtische Verkehrsknotenpunkte mit Lichtsignalanlagen (LSA) sind daher häufig mit technischen Zusatzeinrichtungen versehen, die blinden und sehbehinderten Fußgängern eine Orientierungs- und „Rot-/Grün“-Information akustisch und/oder taktil verfügbar machen. Diese Einrichtungen haben allerdings eine Reihe von Nachteilen. So müssen die Systeme durch den Nutzer gefunden und die akustischen Signale, maskiert durch laute Hintergrundgeräusche, überwacht werden. Weiterhin müssen die akustischen Informationen der korrekten Fußgängerfurt zuordnen werden. Detailinformationen über die Gestaltung der Fußgängerfurt, wie z. B. die Beschaffenheit von Bordstein oder kreuzende Radwege, stehen nicht zur Verfügung. Außerdem werden die akustischen Signale der Querungshilfen von Anwohnern häufig negativ bewertet und tragen zusätzlich zu der hohen Geräuschbelastung an Kreuzungen bei.

Ziel des Forschungsprojektes InMoBS (Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte) ist es deshalb, blinden und sehbehinderten Menschen mit Hilfe einer Smartphone-Applikation die sichere und komfortable Querung von Straßen an Lichtsignalanlagen zu ermöglichen. Dabei bettet sich die beschriebene Unterstützungsfunktion in eine durchgängige akustisch-haptische Fußgängernavigation auf innerstädtischen Wegen ein. Das auf ein Testfeld begrenzte Vorhaben konzentriert sich primär auf Knotenpunkte mit LSA, da diese durch ein hohes Verkehrsaufkommen und große Komplexität besondere Anforderungen an die betroffenen Verkehrsteilnehmer stellen. Das aufzubauende System wird dabei in vorhandene Technologien integriert, so dass finanzielle oder bedienungstechnische Hemmnisse seitens der Nutzergruppe möglichst minimiert werden. Das Smartphone kann darüber hinaus bei Bedarf auch als reguläres Mobiltelefon genutzt werden. Die in InMoBS entwickelten Unterstützungsfunktionen sollen zur Erlangung einer möglichst großen Nutzerakzeptanz sicher, einfach und zuverlässig funktionieren.

Zur Umsetzung des allgemein beschriebenen Forschungsziels war die Technische Universität Braunschweig mit zwei Instituten am Projekt InMoBS beteiligt. Dabei erfüllte das Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (TUBS-IVS) zum einen die zentrale Aufgabe der fachlichen und terminlichen Gesamtkoordination. Zum anderen wurden durch das TUBS-IVS entscheidende Bausteine im Kontext der Anforderungsanalyse, Systemspezifikation, Implementierung sowie in der Erprobung und Bewertung geliefert. Zu Beginn des Projekts sollte in Zusammenarbeit mit der Nutzergruppe sowie mit dem technischen Partner Siemens AG (SIE) Anforderungen an eine WLAN-gestützte Datenkommunikation zwischen Smartphone und LSA identifiziert werden, um eine komfortable und sichere Querung blinder und sehbehinderter Fußgänger an signalisierten Verkehrsknotenpunkten zu ermöglichen. Weiterhin hatte das TUBS-IVS zusammen mit dem Partner OECON Products & Services GmbH (OPS) die Aufgabe, eine Gesamtsystemarchitektur bestehend aus den Komponenten Smartphone-Applikation, Webportal, zentraler Serverplattform sowie der WLAN-gestützten LSA Kommunikation zu komponieren. Im Zuge der Gesamtsystementwicklung sollten darüber hinaus Lösungsansätze für ein barrierefreies Fußgängerouting sowie eine dafür geeignete Kartenlösung identifiziert und implementierungsnahe beschrieben werden. Gegen Ende des Projekts sollte die Evaluierung des Gesamtsystems sowie die wissenschaftliche Bewertung in Kooperation mit dem Institut für Ingenieur- und Verkehrspsychologie durchgeführt werden.

Die Arbeitsschwerpunkte der TUBS-IV umfassten die Durchführung von Nutzerstudien zur Anforderungsanalyse sowie die Gestaltung und Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Im Rahmen der Anforderungsanalyse führte die TUBS-IV verschiedene Nutzerstudien (Tiefeninterviews, Kreuzungsbeobachtungen und Fokusgruppen) durch. Diese stellten die Grundlage für



die Beschreibung und Entwicklung der Funktionen des HMI des mobilen Endgeräts sowie der Routenplanungssoftware und des Webportals dar. Tiefeninterviews bzw. Fokusgruppen wurden zum Themenbereich Mobilität, Probleme und Lösungsansätze organisiert. Die Probandenakquise erfolgte in Zusammenarbeit mit dem DBSV.

Im Rahmen des AP 5000 (Mobile Endgeräte Entwicklung und Aufbau) wurde seitens der TUBS-IV in Zusammenarbeit mit dem DBSV eine deutschlandweite Onlineumfrage durchgeführt. Darüber hinaus erfolgten Tiefeninterviews und verschiedene Interviews und Anwendungstests zum mobilen Endgerät und zum Webportal. Aus den Ergebnissen der Fragebogenaktion und der Telefoninterviews wurden Anforderungen an das mobile Endgerät und an die Routenplanung sowie an die Bedienbarkeit des Internetportals abgeleitet und mit den Projektpartnern TRANSVER und DLR-TS abgestimmt.

Im AP 6000 wurden im Hinblick auf die Gesamtsystemevaluation die Barrierefreiheit und Zuverlässigkeit des InMoBS-Systems seitens der TUBS-IV in Zusammenarbeit mit dem DLR-TS durch sehende Hilfskräfte der TUBS-IV getestet. Im AP 7000 führte die TUBS-IV die Gesamtsystemevaluation mit blinden und sehbehinderten Probanden durch.

2.2 Voraussetzungen

Die im Projekt InMoBS vertretenen Partner bildeten ein Konsortium, in dem die einzelnen Partner ihre Kernkompetenzen einbringen und hierdurch die Arbeiten in interdisziplinären Arbeitsgruppen bearbeitet werden konnten. Zu den Partnern im Projekt InMoBS gehörten:

- Technische Universität Braunschweig
Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (TUBS-IVS)
Institut für Psychologie, Ingenieur- und Verkehrspsychologie (TUBS-IV)
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
- OECON Products & Services GmbH (OPS)
- Siemens AG (SIE)
- Transver GmbH (TRV)

Im Unterauftrag

- Deutscher Blinden und Sehbehindertenverband e.V. (DBSV)
- Ifak Magdeburg e.V. (Ifak)
- ITS Niedersachsen GmbH, im Unterauftrag (ITSN)

In der skizzierten Zusammensetzung des Projektes InMoBS bot sich der TU Braunschweig, vertreten durch das Institut für Verkehr und Stadtbauwesen sowie dem Institut für Psychologie, Ingenieur- und Verkehrspsychologie, unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Ziele die Möglichkeit, vorhandenes Wissen und Kompetenzen einzubringen, zu stärken und weiterzuentwickeln. Basierend auf den Erfahrungen ähnlicher Projekte im Umfeld der Fahrerassistenz und anderer erfolgreich bearbeiteter Forschungsprojekte haben die beiden Institute das Projekt wissenschaftlich begleitet und zur Systementwicklung beigetragen. Durch die beiden beteiligten Institute wurden Untersuchungen zur Anforderungsanalyse, Funktionsentwicklung sowie zur wissenschaftlichen Bewertung des Systems durchgeführt. Darüber hinaus war auch die Koordination und Leitung des Gesamtprojektes (projektinterne und –externe Steuerung) Aufgabe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen.

2.3 Planung und Ablauf

2.3.1 Allgemeiner Projektablauf

Zur Realisierung des Projekts wurden für InMoBS sieben vorwiegend konsekutive Arbeitspakete definiert (siehe Abbildung 2-1), wobei der Kern der Arbeitspakete sich an die technisch-funktionale Struktur des Systems orientiert. Das Arbeitspaket (AP) 1000 diente als Querschnittsfunktion und koordinierte primär Aktivitäten zwischen dem Projektteam, Projektträger



Abbildung 2-1: Arbeitspaketstruktur des Forschungsprojekts

sowie dem Fördergeldgeber. Weitere zentrale Aufgaben des Arbeitspaketes waren die Organisation des Berichtswesens sowie die Abstimmung und Ausrichtung öffentlichkeitswirksamer Aktivitäten. Um sicherstellen zu können, dass das entwickelte System für die Nutzergruppe einen möglichst großen Mehrwert bietet, erfolgte im Arbeitspaket 2000 eine detaillierte Anforderungsanalyse. Unter der intensiven Einbeziehung Betroffener wurden Probleme der Mobilität insbesondere beim Queren von Kreuzungen mit LSA identifiziert und systematisch beschrieben. Abgeleitet aus diesen Informationen wurde der Unterstützungsbedarf der Applikation definiert. Die identifizierten Anforderungen und gewünschten Systemfunktionen wurden im Arbeitspaket 3000 zu einer umfassenden Systemspezifikation inklusive einer Hard- und Softwarearchitektur komponiert und aufeinander abgestimmt. Die Arbeitspakete 4000 und 5000 verfolgten das Ziel einer schrittweisen Umsetzung der Systeminfrastruktur sowie der Smartphone-Applikation. Dabei wurden mehrfach Feedback-Schleifen mit der Nutzergruppe abgehalten, um sicherzustellen, dass die Ansprüche Blinder und Sehbehinderter bestmögliche Beachtung fanden. Im Anschluss an die Systementwicklung wurden im AP 6000 umfangreiche Funktionstests einzelner Systemkomponente sowie Integrationstests des Gesamtsystems durchgeführt. Im Zuge des Arbeitspakets 7000 erfolgten abschließend die explorative Erprobung des Systems durch die Nutzergruppe sowie die abschließende wissenschaftliche Bewertung.



2.3.2 Teilprojekt TU Braunschweig

Unter Berücksichtigung der geschilderten Ziele und Inhalte der verschiedenen Arbeitspakete wurden für die beiden am Projekt beteiligten Institute der TU Braunschweig die in der nachfolgenden Tabelle 2-1 aufgelisteten Aufgaben definiert.

Tabelle 2-1: Arbeitspaketbezogene Aufgaben der TU Braunschweig

Arbeitspaket	Institut	Personalaufwand [MM]	Unter-aufträge [T€]	Aufgaben
AP1000	TUBS-IVS	0		<p>Leitung des Steuerkreises</p> <p>Ansprechpartner für Projektträger und Fördermittelgeber</p> <p>Teilnahme und Mitarbeit in Arbeitstreffen mit dem Ziel des Wissenstransfers,</p> <p>Prüfung von Ergebnisdokumenten anderer APs,</p> <p>Teilnahme an AP-übergreifenden Besprechungen und Workshops</p> <p>Wissenschaftliche Repräsentanz des Projektes In-MoBS nach außen.</p>
AP1000	TUBS-IV	0		<p>Mitarbeit im Steuerkreis, fachliche und organisatorische Vertretung von AP 2000 und AP 7000, wissenschaftliche Repräsentanz des Projektes nach außen</p>
AP1000			ITSN: 36	<p>Planung von Projekt- und Steuerkreissitzungen, Planung und Durchführung von Workshops und Projektpräsentationen, Pressearbeit,</p> <p>Erstellung von Dokumenten- und Berichtsvorlagen, Dokumentenverwaltung,</p> <p>Monitoring des Gesamtarbeits- und Zeitplans und ggf. Vorschläge geeigneter Maßnahmen zur Zielerreichung,</p> <p>Formale Vorbereitung, Organisation und Durchführung der Abschlusspräsentation,</p>
AP2000	TUBS-IVS	5,5		<p>Zusammentragen von rechtlichen Bestimmungen und vorhandenen Regelungen und Hilfsmitteln zur Erreichung von Barrierefreiheit,</p> <p>Ableitung von Anforderungen aus den vorhandenen Regelungen und Bestimmungen,</p> <p>Anforderungen an das Routing von Fußgängern auf städtischen Wegen unter Berücksichtigung von Echtzeit-LSA-Informationen,</p> <p>Erarbeitung der Anforderungskriterien für die Infrastruktur unter Berücksichtigung der im Testfeld (AIM) vorhandenen Technik sowie für einen generellen nicht systemspezifischen Einsatz,</p> <p>Unterstützung bei der Anforderungsanalyse an das Ortungssystem. Begutachtung der abgeleiteten Anforderungen sowie des entwickelten Ortungssystems. Unterstützung bei der technischen Umsetzung von Tests zur Sensoranalyse.</p>



Arbeitspaket	Institut	Personalaufwand [MM]	Unter-aufträge [T€]	Aufgaben
AP2000	TUBS-IV	14		<p>Recherche formaler Randbedingungen, Erhebung der Mobilitätsmuster von Blinden und Sehbehinderten mit Interviews und Datenaufzeichnungen, Erhebungen der Probleme beim Zurücklegen der Wege, insbesondere Querungen von Kreuzungen mit LSA, durch Verhaltensbeobachtungen und Interviews, Beschreibung relevanter Szenarien und der daraus folgenden Anforderungen, Durchführung von Fokusgruppen zur Ermittlung des Gestaltungsspielraums, Ermittlung möglicher Lösungen in abstrakter Interaktion mit Nutzern, Abstimmung der Anforderungen für das mobile Endgerät mit den Entwicklern, Durchführung von Fokusgruppen zur Ermittlung des Bedarfs an Unterstützung bei Routenplanung, Abstimmung möglicher Lösungen durch abstrakte Interaktion von Nutzern mit vorgestellten Systemen, Abstimmung der Anforderungen für die Routenplanung mit den Entwicklern, Unterstützung bei der Definition der Messgrößen.</p>
AP3000	TUBS-IVS	8		<p>Unterstützung der Erstellung der funktionalen Definition des Gesamtsystems Systemdefinition und Spezifikation der Gesamt-Architektur inklusive aller Schnittstellen unter Berücksichtigung von ITS-Standards Unterstützung bei der Erarbeitung der Detailspezifikation der Verkehrsinfrastruktur und Definition der Erweiterungskomponenten Definition der Routingalgorithmen für das Routing von Fußgängern auf städtischen Wegen unter Einbeziehung von Echtzeit-LSA-Informationen</p>
AP4000	TUBS-IVS	9	lfak: 20	<p>Anbindung der Kommunikationshardware an Forschungs-LSA (basierend auf freier, herstellerunabhängiger Schnittstelle) Implementierung der spezifizierten Schnittstellen Bereitstellen der definierten verkehrstechnischen Inhalte in der Forschungs-LSA</p>
AP5000	TUBS-IVS	5		<p>Entwicklung der Routingalgorithmen für das Routing von Fußgängern auf städtischen Wegen unter Einbeziehung von Echtzeit-LSA-Informationen</p>
AP5000	TUBS-IV	23		<p>Unterstützung bei der Integration der Anforderungen in die Entwicklung des mobilen Endgeräts Durchführung von Nutzerstudien mit „Lautem Denken“ zur Optimierung der Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle des mobilen Endgeräts Durchführung von Usability-Studien mit Endnutzern zur Optimierung der Gebrauchstauglichkeit des mobilen Endgeräts Durchführung von Nutzerstudien mit „Lautem Denken“ zur Optimierung der Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle der Routenplanung Durchführung von Usability-Studien mit Endnutzern zur Optimierung der Gebrauchstauglichkeit der Rou-</p>



Arbeitspaket	Institut	Personalaufwand [MM]	Unter-aufträge [T€]	Aufgaben
				tenplanung Unterstützung bei der Anbindung von Verhaltensdaten an das Messkonzept
AP6000	TUBS-IVS	4,5		Integration der Hard und Softwarekomponenten in Forschungs-LSA Funktionstests der definierten Funktionalitäten der LSA unter den zuvor bestimmten maßgebenden Randbedingungen Begleitung der Durchführung und Auswertung der System-Funktionstests
AP6000	TUBS-IV	3		Durchführung und Auswertung von System-Funktionstests mit Hilfe von sehenden Nutzern
AP7000	TUBS-IVS	16		Beratung bei der Vorbereitung der interaktiven Workshops zur Gestaltung & Entwicklung Vertretung Themengebiet Lichtsignalanlage im Rahmen von interaktiven Workshops Durchführung der Versuchsplanung, insbesondere der subjektiven und Verhaltensdaten, und Mitwirkung bei der Festlegung der Erfolgskriterien sowie hinsichtlich technischer Aspekte Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung einer In-Depth-Explorationsstudie zur Bewältigung ausgewählter Kreuzungen mit dem System und zur Routenplanung Durchführung und Auswertung einer Feldstudie zur Nutzerevaluation unter Einbezug der Routenplanung Auswertung und Präsentation der Ergebnisse der Bewertung des Systems durch die Nutzer Entwicklung von ganzheitlichen Handlungsempfehlungen
AP7000	TUBS-IV	18,5		Präsentation der Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstellen, von den daraus resultierenden Spezifikationen und von den entwickelten Schnittstellen vor dem Feldtest, Aufzeichnung der Expertenreaktionen Durchführung der Versuchsplanung, insbesondere der subjektiven und Verhaltensdaten, und Mitwirkung bei der Festlegung der Erfolgskriterien Durchführung und Auswertung einer In-Depth-Explorationsstudie zur Bewältigung ausgewählter Kreuzungen mit dem System und zur Routenplanung Durchführung und Auswertung einer Feldstudie zur Nutzerevaluation unter Einbezug der Routenplanung Auswertung und Präsentation der Ergebnisse der Bewertung des Systems durch die Nutzer Ableitung von Handlungsempfehlungen aus psychologischer Sicht

2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Seitens der TUBS-IV wurde Literatur zu den Themenbereichen Usability und HMI sowie Blinde und Mobilität und diesbezüglichen formalen Anforderungen recherchiert und verwendet. Verschiedene allgemeine und spezifische Informationsblätter und Broschüren konnten den Online-seiten verschiedener Verbände Blinder und Sehbehinderter entnommen werden und flossen



ebenfalls in die Auswahl relevanter Literatur. Folgende Literatur und Informationsmaterial folgender Onlineseiten fanden Verwertung:

- Baryna, W., Ambroszkiewicz, S., Faderewski, M., Jakubowski, S., Kocieliński, D., Mikułowski, D. & Terlikowski, G. (2005). Blind-enT: Making objects visible for blind people. International Congress Series, 1282, 974-979.
- Blinden Hilfsmittel Vertrieb Dresden. Zugriff <http://www.bhvd.de/>
- Cattaneo, Z., Vecchi, T., Cornoldi, C., Mammarella, I., Bonino, D., Ricciardi, E. & Pietrini, P. (2008). Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 32, 1346-1360.
- Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V. (DBSV), URL www.dbsv.org
- DIN 18024 Barrierefreie Umwelt, Beuth Verlag, Berlin 1998
- DIN 18024-1 Deutsches Institut für Normung: Barrierefreies Bauen – Teil 1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze; Planungsgrundlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- DIN 18025 Barrierefreies Wohnen – Wohnungen für Rollstuhlnutzer; Planungsgrundlagen, Beuth Verlag, Berlin 1992
- DIN 32977-1 Behinderungsgerechtes Gestalten; Begriffe und allgemeine Leitsätze, Beuth Verlag, Berlin 1992
- DIN 32981 Deutsches Institut für Normung: Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA) – Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002
- DIN 32984 Deutsches Institut für Normung: Bodenindikatoren im öffentlichen Raum, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011
- DIN EN ISO 80000-1. Größen und Einheiten – Teil 1: Allgemeines (ISO 80000-1:2009 + Cor 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 80000-1:2013. Berlin: Beuth Verlag. 2013.
- DIN-Fachbericht 124 Gestaltung barrierefreier Produkte, Beuth Verlag, Berlin 2002
- Dziekan, K., Ahrend, C. & Schreiber, A. (Hrsg.). (2011). easy.going - Herausforderung barrierefreie Mobilität, Wirtschaft trifft Wissenschaft. Berlin: LIT. Zugriff <https://books.google.de/books?isbn=3643111215>
- Eberenz, K. (2008). Lesen mit Händen und Ohren: Punktschriftbücher und Hörbücher für Blinde und Sehbehinderte. In C. Haug & G. Jäger (Hrsg.), Buchhandel der Zukunft – Aus der Wissenschaft für die Praxis. Band 10. München: Peniopo. Zugriff <http://dnb.info/990406830/34> (URN: urn:nbn:de: 0184-97839366093634 URL: <http://www.peniopo.de/9783936609363.htm>).
- fluSoft Spezial Computer Technik. Zugriff <http://www.flusoft.de/>
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg): Richtlinien für Lichtsignalanlagen. ISBN 978-3-939715-91-7, FGSV Verlag, Köln, 2010.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Leitfaden für Verkehrsplanungen, (116). Köln, 2001
- Heller, M. A. (2002). Research report. Tactile picture perception in sighted and blind people. Behavioural Brain Research, 135, 65-68.
- INCOBS (informiert über Technologien für Blinde und Sehbehinderte). Zugriff <http://www.incobs.de/>
- Juris (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz). Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen. Zugriff: <http://www.gesetze-im-internet.de/bgg/>
- Khlaikhayai, R., Pavaganun, C., Mangalabruks, B. & Yupapin, P. (2010). An Intelligent Walking Stick for Elderly and Blind Safety Protection. Procedia Engineering, 8, 313-316.



- Knust, M. & Struck, S. (2012). Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte (InMoBS): Eine erste Anforderungsanalyse. Unveröffentlichte Masterarbeit, Technische Universität Braunschweig.
- Lamnek, S. (2005). Qualitative Sozialforschung (4. Aufl.). Weinheim und Basel: Beltz-PVU.
- Länger, C. (2002). Im Spiegel von Blindheit: eine Kultursoziologie des Sehannes. Stuttgart: Lucius & Lucius. Zugriff <https://books.google.de/books?isbn=3828202233>
- Ludwig-Mayerhofer, W. (n.d.). Methoden der empirischen Sozialforschung I – Qualitative Interviewverfahren. Zugriff <https://www.uni-siegen.de/>
- Mayering, P. (2002). Einführung in die qualitative Sozialforschung (5. Aufl.). Weinheim und Basel: Beltz.
- Mpitiopoulos, A., Konstantopoulos, C., Gavalas, D. & Pantziou, G. (2011). A pervasive assistive environment for visually impaired people using wireless sensor network infrastructure. Journal of Network and Computer Applications, 34, 194-206.
- Sainarayanan, G., Nagarajan, R. & Yaacob, S. (2007). Fuzzy image processing scheme for autonomous navigation of human blind. Applied Soft Computing, 7, 257-264.
- Schmidt-Atzert, L. & Amelang, M. (2012). Psychologische Diagnostik und Intervention (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- SDI-Research: Befragung, Zugriff URL www.sdi-research.at/lexikon/befragung.html, 20.07.2012.
- SDI-Research: Die qualitative Befragung, Zugriff URL www.sdi-research.at/lexikon/qualitative-befragung.html, 20.07.2012.
- Seh-Netz e.V. Infoportal für Blinde und Sehbehinderte. Zugriff <https://www.seh-netz.info/>
- SIGNOS: Standardisierte Interfaces, Geräte und Netzwerke zur Steuerung von Lichtsignalanlagen auf der Basis von OCIT-Schnittstellen – Teil OTS-Control. Schlussbericht zum Innonet-Verbundprojekt SIGNOS, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Förderkennzeichen 16 IN 0293), Hannover, 2007
- Zhu, S., Kuber, R., Tretter, M. & O'Modhrain, M. S. (2011). Identifying the effectiveness of using three haptic devices for providing non-visual access to the web. Interacting with computers, 23, 565-581.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

2.5.1 Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V.

Eine enge Zusammenarbeit erfolgte während der gesamten Projektzeit mit dem DBSV. Gemeinsam wurden Probanden für Nutzerstudien (Tiefeninterviews, Fokusgruppen) akquiriert und eine bundesweite Fragebogenaktion zum Mobilitätsverhalten Blinder und Sehbehinderter durchgeführt. Hierfür wurde eine Telefonsprechstunde zur Bearbeitung des Fragebogens vorbereitet und eine web- und schwarzschriftgestützte Umfrage realisiert. Einen Braunschweiger „Technik-Treff“ moderierten Vertreter der regionalen Gruppe Blinder und Sehbehinderter, dem DLR-TS, der TUBS-IV und dem DBSV gemeinsam.

Während der gesamten Projektzeit bestand ein kontinuierlicher Informationsaustausch mit Vertretern und Mitgliedern der regionalen Gruppe Blinder und Sehbehinderter in Braunschweig, dem Blinden- und Sehbehindertenverein e. V. Dieser Kontakt war sehr wertvoll, da beispielsweise Anregungen und Wünsche hinsichtlich des mobilen Endgeräts und des Webportals in projektinternen Anforderungsanalysen aufgegriffen und umgesetzt werden konnten. Zusätzlich bot dieser Kontakt sehenden Mitarbeitern die Möglichkeit einen Einblick in den Alltag blinder und sehbehinderter Menschen zu erhalten, insbesondere hinsichtlich spezifischer Herausforderungen im Straßenverkehr.

Die Deutsche Blindenstudienanstalt e. V. (blista) wurde mit der Anfertigung taktiler und kontrastreicher Routenkarten, die bei den Versuchen ohne Navigations-App eingesetzt wurden, beauf-



trägt. Auch dieser Kontakt bot hilfreiche Hinweise und Erfahrungsberichte, insbesondere darüber, wie blinde und sehbehinderte Menschen spezifische Umgebungsmerkmale wahrnehmen und Wege erinnern.

2.5.2 Ifak Magdeburg e.V., im Unterauftrag

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekts „SIGNOS – Standardisierte Interfaces, Geräte und Netzwerke zur Steuerung von Lichtsignalanlagen auf der Basis von OCIT-Schnittstellen“ wurde am Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg (ifak) ein Prototyp für eine Set-Top-Box für LSA-Steuergeräte auf Linux- und PC104-Basis entwickelt. Die flexible Soft- und Hardwarebasis des Gerätes wurde für die Realisierung einer innerstädtischen Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte für das Projekt InMoBS angepasst und erweitert. Dabei wurde durch das Ifak Magdeburg in Zusammenarbeit mit dem TUBS-IVS die bestehende Set-Top-Box mit einer WLAN Kommunikationsschnittstelle erweitert. Die Entwicklung und Umsetzung durch das Ifak Magdeburg ermöglichte dabei den unidirektionalen Datenaustausch von Signalzustandsinformationen zwischen kompatiblen LSA-Steuergeräten und einem handelsüblichen Android Smartphone über WLAN.

2.5.3 ITS Niedersachsen GmbH, im Unterauftrag

Der Unterauftrag an die ITSN umfasste die Abwicklung von Projektmanagementaufgaben, das heißt die Organisation, Koordination und Dokumentation aller Projektaktivitäten sowie die Vorbereitung der Abschlusspräsentation und anderer Aktivitäten zur Verbreitung der Projektergebnisse.



3 Eingehende Darstellung der Projektumsetzung

3.1 Arbeitspaketbezogene Ergebnisdarstellung

3.1.1 InMoBS System im Überblick

Die Systemkomponenten von InMoBS können grundlegend in Infrastrukturkomponenten bestehend aus Lichtsignalanlage und Component Server Platform und Nutzerkomponenten bestehend aus Internetportal und Endgerät unterschieden werden. Auf der Component Server Platform (CSP) werden mehrere zu entwickelnde Softwaremodule zusammengeführt. Diese Module sind u. a. der Web-, Karten-, Routing-, Nutzerdaten- und NAV-Daten-Server.

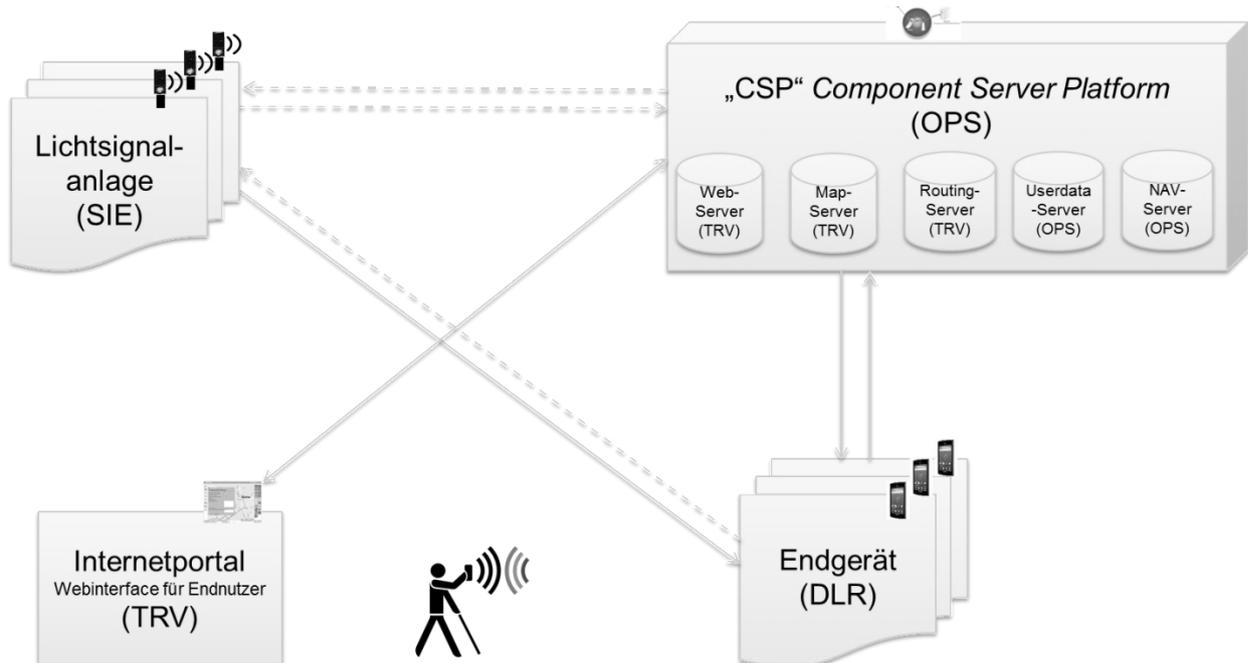


Abbildung 3-1: Entwurf des Systemkonzept mit verantwortlichem Projektpartner

Internetportal

Die Nutzung des Internet- bzw. Webportals ermöglicht Blinden, Sehbehinderten oder Dritten bereits im Vorfeld der Navigation zuhause die eigenständige Planung und Speicherung möglichst sicherer Routen. Zur Berechnung der Routen, Visualisierung von Karteninhalten und Speicherung nutzerspezifischer Informationen ist das Webportal mit zentralen Servermodulen der Component Serverplatform verbunden.

Component Server Platform

Die Component Serverplatform (CSP) stellt Systemfunktionen, wie z.B. das Hosting des Webportals, die Bereitstellung des Karten- und Routingdienstes sowie die Speicherung nutzerspezifischer Informationen bereit. Darüber hinaus fungiert die CSP als Lieferant notwendiger Integritäts- und Korrekturdaten zur Verbesserung GNSS-basierter Ortung auf dem mobilen Endgerät. Weiterhin können auf der CSP Informationen über gelaufene Routen oder am mobilen Endgerät durchgeführte Eingaben gespeichert und für Evaluationszwecke ausgewertet werden.

Mobiles Endgerät

Mit Hilfe des mobilen Endgeräts erhalten die Anwender die Möglichkeit, eigenständig sichere Wege zu planen oder bereits mittels Webportal gespeicherte Routen abzurufen. Die bereitge-



stellten Routendaten liefern die Grundlage für den Navigationsprozess des Nutzers im öffentlichen Straßenraum.

Lichtsignalanlage

Im Zuge des Navigationsprozesses bietet die WLAN Kommunikation der Lichtsignalanlage (LSA) die Möglichkeit zu zyklischen Übertragung von Signalzuständen und Schaltzeitinformationen einzelner Signalgruppen. Dies ermöglicht dem mobilen Endgerät die taktile oder akustische Ausgabe des Freigabezustands einer Fußgängerfurt. Im Forschungsprojekt InMoBS wurde neben einer produktnahen WLAN Kommunikationseinheit des Projektpartner Siemens auch eine Laboranlage zur WLAN Kommunikation durch die TU Braunschweig entwickelt und erprobt. Im nachfolgenden Dokument wird die Laboranlage der TU Braunschweig als Forschungs-LSA, die produktnahe Kommunikationseinheit als Siemens-LSA bezeichnet.

3.1.2 AP 2000 - Anforderungsanalyse

Mobiles Endgerät

Die TUBS-IV führte im Rahmen der Anforderungsanalyse Tiefeninterviews und Beobachtungen des Querungsverhaltens an Kreuzungen durch. Hierdurch sollten insbesondere Merkmale des Mobilitätsverhaltens und Anforderungen und Wünsche blinder und sehbehinderter Menschen an ein Fußgänger-Navigations-System identifiziert werden.

Grundsätzlich zeigten sich in diesen Studien Unterschiede in der Mobilität Blinder und Sehbehinderter, insbesondere zentrale Mobilitätsschwierigkeiten, im Vergleich zur Mobilität Sehender. Insbesondere zeigte sich, dass vor allem das Queren von Kreuzungen ohne Unterstützung eine problematische Situation darstellt. Blinde und Sehbehinderte fühlten sich hierbei häufig unsicher und mitunter auch ängstlich und beklommen. Hierfür wurde als zentrale Ursache eine unzureichende Orientierung genannt, die einerseits auf häufig fehlende oder schlecht zu ertastende Begrenzungen von Wegen oder Teilen dieser und fehlenden Aufmerksamkeitsfeldern, andererseits auf hohe Geräuschpegel und unerwartete Hindernisse (z. B. Schienen), zurückzuführen ist.¹

Tiefeninterviews

Tiefeninterviews wurden zwischen 02/12 und 05/12 mit $N = 24$ Blinden und Sehbehinderten aus der Region Braunschweig durchgeführt. Mit Interviewleitfäden [BD-16] wurden Anforderungen und Wünsche an ein auf ein mobiles Endgerät installiertes Fußgänger-Navigations-System für Blinde und Sehbehinderte erfragt. Die Antworten bezogen sich hauptsächlich auf Funktionen, Bedienbarkeit und Einsatzspektren.

Während der Tiefeninterviews wurden Anforderungen an die Routenplanung (pre-trip) und an die Bewertung der Route nach Beendigung der Route (post-trip) erhoben. Die Möglichkeit, bereits bei der Routenplanung markante Wegepunkte zu setzen, die beim wiederholten Laufen der Wege angesagt werden, wünschten 58 % der Pb ($n = 14$). Weitere Anforderungen waren die Ankündigung von Straßennamen ($n = 11$ Pb, 46 %), das Ansagen von Fußgängerfurten und deren Ausstattung (z. B. das Vorhandensein von LSA mit oder ohne Querungshilfe) sowie die Ausgabe der Distanz bis zur nächsten Fußgängerfurt ($n = 8$ Pb, 33 %). Häufig wurden ebenfalls die Möglichkeit der Speicherung von Routen ($n = 6$ Pb, 25 %) und die Möglichkeit der Routenbewertung ($n = 6$ Pb, 25 %) genannt.²

¹ Die Ergebnisse sind detailliert in Kapitel 3.1 des Abschlussberichts aufgeführt.

² Die Ergebnisse sind detailliert im Kapitel 3.3.2 des Abschlussberichts aufgeführt.



Kreuzungsbeobachtungen

Zur Analyse des Unterstützungsbedarfs an Kreuzungen wurde das Mobilitätsverhalten bzw. das Querungsverhalten Blinder und Sehbehinderter zwischen 07/12 und 08/12 an Kreuzungen beobachtet und Befragungen zu Usability und HMI mit $N = 10$ Pb durchgeführt. Hierfür wurde ein standardisierter Leitfaden [BD-17] eingesetzt.

Sehende Mitarbeiter der TUBS-IV suchten mit den Pb die Kreuzungen auf und querten diese mit ihnen. Die Querungssituationen wurden per Kamera, Diktiergerät und Protokoll dokumentierte. Hierbei sollten Aspekte, die dort subjektiv als (un-)problematisch wahrgenommen werden, erfasst werden. Mit der Methode des „Lauten Denkens“ wurde erhoben, wie die Pb beim Queren vorgehen. Weiterhin wurden Aufgaben, die sich während des Querungsvorgangs stellten, ggf. vorhandene allgemeine/spezielle Querungsphasen, insbesondere die per mobilem Endgerät benötigten Informationen zum sichereren Queren sowie der Zeitpunkt/die Stelle und die Art der entsprechenden Informationsvermittlung, erfragt.

Aufgaben, die sich den Pb in Orientierungsphasen besonders häufig stellten, waren das Anfordern des Freigabesignals per Knopfdruck ($n = 10$; 100 %) und das Finden des Ampelmastes mit Hilfe des Gehörs/Langstocks/Blindenführhundes ($n = 9$; 90 %). Wartephasen gingen primär mit dem Warten auf das Freigabesignal ($n = 4$; 40 %) sowie anhand des Langstocks mit dem Ertasten des Höhe des Bordsteins und der Ausrichtung an selbigem ($n = 1$; 10 %) einher. Während der Querungsphasen wurde die Fußgängerfurt nach Ertönen des Freigabesignals überquert ($n = 9$; 90 %) und der gegenüberliegende Ampelmast geortet und angesteuert ($n = 4$; 40 %).

Die Pb wurden gefragt, welche Funktionen des mobilen Endgeräts vor und während der Querungsphase wichtig für sie als Nutzer wären. Am häufigsten wurden die Ansage von Straßenschienen/Busspuren ($n = 7$; 70 %), die Ansage von Rot- und Grünphasen und deren Dauer ($n = 6$; 60 %), die Ansage von Mittelinseln ($n = 6$; 60 %), die Ansage von LSA-Positionen und LSA-Ausstattung ($n = 4$; 40 %), und Bordsteinen und deren Höhe ($n = 5$; 50 %) genannt. Die Informationsvermittlung des HMI wünschten fast alle Pb ($n = 9$, 90 %) als Sprachausgabe.

Fokusgruppe

Im November 2012 wurde ein Treffen mit einer Fokusgruppe ($N = 14$; $n = 8$ (57 %) sehbehinderte und $n = 6$ (43 %) blinde Pb) im Zuge eines einmal monatlich in der Region Braunschweig zu technischen Themen stattfindenden Treffens Blinder und Sehbehinderter („Technik-Treffs“) durchgeführt. Dieser „Technik-Treff“ wurde von Vertretern der Betroffenen, dem DLR-TS, der TUBS-IV und dem DBSV moderiert. Der damalige Entwicklungsstand des InMoBS-Projekts wurde vorgestellt. Aufgrund des Geräuschpegels war es den Pb bei dieser Veranstaltung nicht ausreichend möglich, das System zu testen. Deshalb erfolgten an drei weiteren Terminen im Dezember 2012 Einzelbefragungen ($N = 3$), an denen die interviewten Pb die Navigations-App umfangreich testen konnten. Informationen zu den Einzelterminen können im Detail [BD-15] entnommen werden.

Während des „Technik-Treffs“ und der Einzeltermine aufgezeigte Argumente, Anregungen und Kritikpunkte, insbesondere hinsichtlich der Bedienung, der Funktionen, des Hauptmenüs der App und der Berücksichtigung von Informationen des ÖPNV,³ flossen in die weitere Entwicklung des InMoBS-Systems bzw. in die Ableitung von Anforderungen an das HMI des mobilen Endgeräts und an die Routenplanungssoftware ein. Die Anforderungen wurden mit den Entwicklern abgestimmt.

Lichtsignalanlage

Seitens des TUBS-IVS wurden im AP 2000 Anforderungen an eine WLAN-gestützte Übertragung von Schaltzeitinformationen einer Lichtsignalanlage (LSA) an das in InMoBS verwendete mobile Endgerät analysiert und definiert. Die in InMoBS angestrebte WLAN Kommunikation

³ Die Ergebnisse sind detailliert im Kapitel 3.2.6 des Abschlussberichts aufgeführt.



zwischen LSA und mobilen Endgerät sollte dabei neben einer labortechnischen Forschungsanlage des TUBS-IVS auch im realen städtischen Umfeld durch Siemens installiert und erprobt werden. Im Kontext der Anforderungsanalyse wurde zunächst der grundlegende Interaktionsprozess zwischen dem Anwender, Endgerät sowie der LSA definiert. Nachfolgend wird dieser Interaktionsprozess am Beispiel einer LSA mit und ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde differenziert dargestellt.

Interaktionsprozess an LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde

Im Falle einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde muss dem Blinden der Querungsvorgang aufgrund des Fehlens von Querungshilfen mittels InMoBS erleichtert werden. Als Zusatzeinrichtungen gemäß DIN 32981 [BD-50] zählen:

- Akustische Signalgeber (Orientierungs- und Freigabesignal),
- Anforderungstaster,
- Taktile Signalgeber (Freigabesignal).

Folglich muss das Endgerät in diesem Fall Informationen der LSA auswerten und dem Blinden ein akustisches/taktiler Freigabesignal so mitteilen, als wäre die LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde ausgestattet. Der nachfolgende Interaktionsprozess basiert dabei auf dem typischen Wechselspiel zwischen Orientierungssignal, Anforderungstaster und Freigabesignal gemäß DIN 32981 [BD-50] und RiLSA [BD-56].

Virtuelles Orientierungssignal

An der Lichtsignalanlage ist kein Orientierungssignal vorhanden. Über das Endgerät erhält der Blinde die Information, dass eine LSA in Kürze im Verlauf der Route folgt. Dies bietet dem Blinden zunächst die Möglichkeit, sich auf das Vorhandensein der LSA einzustellen. Das virtuelle Orientierungssignal hat nun die Aufgabe, den Blinden sicher zu einem definierten Wartebereich zu führen. Innerhalb des Wartebereichs befindet sich auch der LSA-Mast. Grundvoraussetzung zum Auffinden des Wartebereichs ist eine hochgenaue Ortung. Im Rahmen durchgeführter Mobilitätsbefragungen wurde festgestellt, dass Blinde mittels Langstock einen Radius von ca. 1 m erfassen. Führt das Ortungssystem den Blinden um mehr als einen Meter am Mast vorbei, kann der Nutzer diesen nicht auf Anhieb auffinden. Demnach wird mindestens im Umfeld des Knotenpunktes eine Ortungsgenauigkeit von ≤ 1 m benötigt. Für die Gestaltung des Orientierungssignals kommen unterschiedliche akustische oder taktile Verfahren in Frage. Insbesondere das Geiger-Zähler-Prinzip findet häufig bei der Zielführung bzw. Navigation Blinden und Sehbehinderter Anwendung [BD-61]. Bei diesem Verfahren erhöht sich die Frequenz eines wiederkehrenden Sinus-Tons oder einer Vibration, je stärker der Nutzer vom Zielkurs (Winkel bzw. Heading) abweicht.

Virtueller Anforderungstaster für akustisches/taktiler Signal

An der LSA ist kein Anforderungstaster vorhanden. Folglich kann der Blinde kein akustisches bzw. taktiler Freigabesignal anfordern. Dieser Prozess muss über das Endgerät realisiert werden. Hinsichtlich der Anforderung müssen zwei grundlegende Varianten differenziert werden:

Fall 1: Anforderung eines akustischen und taktilen Freigabesignals für Blinde bei FZ (Festzeit)

Fall 2: Anforderung eines akustischen und taktilen Freigabesignals für Blinde bei VA (Verkehrsabhängigkeit)

Im Fall 1 (Festzeitsteuerung) erfüllt der Anforderungstaster lediglich die Funktion, neben dem herkömmlichen optischen Freigabesignal des Signalgebers ein akustisches/taktiler Freigabesignal anzufordern, welches dem Blinden über einen entsprechenden Signalgeber mitgeteilt wird. Da der taktile und/oder akustische Signalgeber bei einer LSA ohne Zusatzeinrichtung nicht vorhanden ist, muss das Endgerät dieses Signal emittieren. Wird der Anforderungstaster während einer bestehenden Grünzeit vom Blinden betätigt, darf eine akustische und/oder taktile Freigabe für den Blinden erst bei der nächsten Grünzeit ausgegeben werden (siehe DIN



32981). Das InMoBS-Endgerät hat demnach die Aufgabe, beim Erreichen des LSA-Mastes bzw. der Fußgängerfurt selbst als virtueller Anforderungstaster zu agieren und den beschriebenen Prozess durch Auswertung der LSA-Informationen selbstständig durchzuführen. Neben der LSA-Information (Signalzustand) muss demnach auch die Position des Blinden in Relation zum LSA-Mast bestimmt werden. Beim Unterschreiten eines zu definierenden Abstandsgrenzwertes (z. B. 2 m) erkennt das Endgerät die Ankunft des Blinden am Mast. Ab diesem Zeitpunkt kann bei Erhalt der nächsten Grünzeit der Furt ein virtuelles Freigabesignal emittiert werden (siehe virtuelles Freigabesignal).

Im Fall 2 (Verkehrsabhängigkeit) kann das mobile Endgerät um eine weitere Funktionalität erweitert werden. In diesem Fall muss eine bidirektionale Kommunikation zwischen LSA und Endgerät zur Verfügung stehen, die eine Grünzeitanforderung des InMoBS-Endgeräts über die RSU (Roadside Unit) bis zum Steuergerät ermöglicht. Da dieser Prozess nicht im Fokus des Forschungsprojekts InMoBS liegt, wurde eine mögliche bidirektionale Kommunikation als optionale Anforderung definiert. Ohne bidirektionale Kommunikation wird der virtuelle Anforderungstaster der verkehrsabhängigen LSA analog zur Festzeitsteuerung (Fall 1) realisiert.

Virtuelles Freigabesignal

Bei einer LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde existiert kein akustisches oder taktiles Freigabesignal. Folglich muss dem Blinden ein entsprechendes Signal über das InMoBS-Endgerät mitgeteilt werden. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, darf die Freigabe erst dann erfolgen, wenn gewährleistet ist, dass der Nutzer volle Grünzeit erhält (siehe DIN 32981). Dieser Prozess kann jedoch bei einer LSA ohne Zusatzeinrichtung nicht durch das Steuergerät bzw. dessen Software überprüft werden. In diesem Fall muss das Endgerät durch Auswertung des Signalzustands des regulären Fußgängersignalgebers sowie der Ortungsinformationen sicherstellen, dass der Nutzer ein Freigabesignal erst bekommt, wenn er sich unmittelbar vor der Furt aufhält. Ein Freigabesignal für den Blinden darf nur zu Beginn einer Grünzeit ausgegeben werden.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass bei Lichtsignalanlagen mit Zusatzeinrichtung für Blinde die Mindestfreigabezeit i. d. R. so bemessen wird, dass ein Queren der gesamten Furt auch bei geringerer Durchschnittsgeschwindigkeit möglich ist. Bei LSA ohne Zusatzeinrichtungen kann bei Verwendung der Mindestfreigabezeit die vollständige Querung der Furt nicht sichergestellt werden. In diesem Fall muss der Nutzer im Voraus vom InMoBS-Endgerät entsprechend informiert werden.

Interaktionsprozess an LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde

Im Falle der LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde stellt das InMoBS-Endgerät eine gegenüber der Zusatzeinrichtung redundante Information zur Verfügung. Der nachfolgende Interaktionsprozess basiert dabei auf dem typischen Wechselspiel zwischen Orientierungssignal, Anforderungstaster und Freigabesignal gemäß DIN 32981 [BD-50] und RiLSA [BD-56].

Virtuelles Orientierungssignal

An der LSA ist ein Orientierungssignal vorhanden. Dieses bietet dem Blinden bei ausreichender Lautstärke die Möglichkeit, den LSA-Mast bzw. die Fußgängerfurt aufzufinden. Neben dem Orientierungssignal der LSA erzeugt das Endgerät, wie im Falle der LSA ohne Zusatzeinrichtung, ein virtuelles Orientierungssignal.

Virtueller Anforderungstaster für akustische/taktilen Signal

An der LSA ist ein Anforderungstaster vorhanden. Folglich kann der Blinde ein akustisches bzw. taktiles Freigabesignal anfordern. Die Anforderung dieses Signals sollte in diesem Fall *ausschließlich* durch manuelle Betätigung des Anforderungstasters getriggert werden. Durch Betätigung des Anforderungstasters werden die Signalgruppen für akustische und taktile Signalgeber aktiv geschaltet. Das InMoBS-Endgerät empfängt die Information über alle Signalgruppen am Knotenpunkt auf Basis der SPAT-Nachricht (Signal Phase and Timing). Durch Auswertung



der SPAT-Nachricht ermittelt das InMoBS-Endgerät den Signalzustand der relevanten Signalgruppe.

Virtuelles Freigabesignal

Bei einer LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde existiert ein akustisches oder taktiles Freigabesignal. Dieses wird wie beschrieben nach Betätigung des Anforderungstasters und Erreichen der nächsten Grünzeit für den Blinden geschaltet. Das InMoBS-Endgerät hat nun die Aufgabe, nach der manuellen Betätigung des Anforderungstasters durch Auswertung der SPAT-Nachricht das Freigabesignal für den Nutzer über die Funkschnittstelle (WLAN b/g/n) zu erhalten und als virtuelles Freigabesignal am Endgerät zu emittieren. Da es sich um eine Anlage mit Freigabesignal für Blinde handelt, müssen keine weiteren Restriktionen beachtet werden, da das ohnehin für Blinde ausgelegte Signal unverändert an das Endgerät weitergeleitet wird.



Anforderungen an die Datenkommunikation der LSA-Infrastruktur

Nach Festlegung des Interaktionsprozesses wurden in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Siemens funktionale und technische Anforderungen an die WLAN Kommunikation definiert und nach Muss- und Kann-Anforderungen differenziert. Nachfolgend wird in diesem Abschlussbericht eine Liste der wichtigsten technisch-funktionalen Anforderungen an die Datenkommunikation zwischen LSA und mobilen Endgerät dokumentiert. Dabei gelten die beschriebenen Anforderungen sowohl für die im Testfeld zu installierenden und produktiv zu nutzenden RSU (Road Side Unit), als auch für die Forschungs-LSA des TUBS-IVS:

Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Unidirektionale Schnittstelle zwischen LSA-Steuergerät und RSU (intern)	m
Die Schnittstelle zwischen LSA-Steuergerät und RSU muss eine unidirektionale Datenkommunikation zwischen LSA-Steuergerät und RSU ermöglichen.	
Bidirektionale Schnittstelle zwischen LSA-Steuergerät und RSU (intern)	o
Die Schnittstelle zwischen LSA-Steuergerät und RSU sollte als bidirektionale Datenkommunikation realisiert werden. Bei einem möglichen Datenverkehr in Richtung LSA-Steuergerät müssen insbesondere die Anforderungen „Integration in die AIM-Infrastruktur“ (Anwendungsplattform Intelligente Mobilität) und „Verträglichkeit mit bestehenden Systemen“ berücksichtigt werden.	
Versenden von Daten aus dem LSA-Steuergerät an die RSU (intern)	m
Das LSA-Steuergerät muss die folgenden Informationen an die RSU weiterleiten können: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aktueller Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Nächster Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Zeit bis zum nächsten Signalwechsel aller Fußgängersignalgruppen ▪ Möglichkeit zur Querung an allen Fußgängersignalgruppen ▪ Betriebszustand des LSA-Steuergeräts 	
Empfangen von Daten in der RSU von LSA-Steuergerät (intern)	m
Die RSU muss die folgenden Informationen vom LSA-Steuergerät empfangen können: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aktueller Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Nächster Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Zeit bis zum nächsten Signalwechsel aller Fußgängersignalgruppen ▪ Möglichkeit zur Querung an allen Fußgängersignalgruppen ▪ Betriebszustand des LSA-Steuergeräts 	
Versenden einer Grünzeitanforderung aus der RSU an das LSA-Steuergerät (intern)	o
Die RSU sollte eine Grünzeitanforderung für eine Fußgängerfurt an das LSA-Steuergerät weiterleiten können.	
Empfangen einer Grünzeitanforderung seitens des LSA-Steuergeräts (intern)	o
Das LSA-Steuergerät sollte eine Grünzeitanforderung für eine Fußgängerfurt von der RSU empfangen können.	



Anforderungsname	Anforderungstyp (muss = m / kann = o)
Verarbeitung einer Grünzeitanforderung (intern)	o
Das LSA-Steuergerät sollte eine Grünzeitanforderung für eine Fußgängerfurt von der RSU verarbeiten können.	
Schnittstelle zwischen RSU und InMoBS-Endgerät (extern)	m
Die RSU der InMoBS-LSA muss eine Datenkommunikation gemäß IEEE 802.11b/g/n mit dem Endgerät (Consumer WLAN) ermöglichen.	
Schnittstelle zwischen RSU und anderen externen Geräten (z. B. Fahrzeugen) (extern)	o
Die RSU der InMoBS-LSA sollte eine Datenkommunikation gemäß IEEE 802.11 p ermöglichen. Dies ist für das Forschungsprojekt InMoBS nicht zwingend notwendig, da Consumer WLAN in der Regel auf Grundlage von IEEE 802.11b/g/n kommuniziert.	
Funkreichweite der RSU (extern)	m
Die Reichweite der WLAN-Kommunikation mittels IEEE 802.11b/g/n und p muss mindestens 100 m in jeden Kreuzungsarm betragen.	
Versenden von SPAT-Nachrichten aus der RSU an das InMoBS-Endgerät (extern)	m
Die RSU der InMoBS-LSA muss SPAT-Nachrichten an das InMoBS-Endgerät versenden können.	
Versenden von TOPO-Nachrichten aus der RSU an das InMoBS-Endgerät (extern)	m
Die RSU der InMoBS-LSA muss TOPO-Nachrichten an das InMoBS-Endgerät versenden können.	
Notwendige Inhalte der SPAT-Nachricht	m
Die SPAT-Nachricht muss mindestens die folgenden Informationen beinhalten: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aktueller Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Nächster Signalzustand aller Fußgängersignalgruppen ▪ Zeit bis zum nächsten Signalwechsel aller Fußgängersignalgruppen ▪ Möglichkeit zur Querung an allen Fußgängersignalgruppen ▪ Betriebszustand des LSA-Steuergeräts 	
Notwendige Inhalte der TOPO-Nachricht	m
Die TOPO-Nachricht muss mindestens die folgenden Informationen beinhalten: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Knotenpunkttopologie und Geometrie inklusive aller Fußgängerfurten 	
Format der SPAT-Nachricht	m
Die SPAT-Nachricht muss nach dem CEN/ISO-Standard ausgerichtet sein.	
Format der TOPO-Nachricht	m
Die TOPO-Nachricht muss nach dem CEN/ISO-Standard ausgerichtet sein.	
Empfangen einer Grünzeitanforderung seitens der RSU (extern)	o
Die RSU sollte eine Grünzeitanforderung vom InMoBS-Endgerät empfangen können.	



Definition des Testfeldes

Innerhalb des Testfelds sollte die technische Funktion des Gesamtsystems bei Nutzung aller Systemkomponenten erprobt werden. Auf Basis erster Nutzerbewertungen sollte das Gesamtsystem für die spätere Systembewertung mit Blinden und Sehbehinderten vorbereitet und optimiert werden. Bei der Auswahl des Testfeldes war das Projektkonsortium auf das Areal der zum Projektzeitpunkt bestehenden AIM-Infrastruktur des DLR (Anwendungsplattform Intelligente Mobilität) beschränkt. Innerhalb des definierten Testfelds liegen drei signalisierte Knotenpunkte, welche sich hinsichtlich der Zusatzeinrichtungen für Blinde teils deutlich unterscheiden. Zu den Knotenpunkten gehören:

- Rebenring/Pockelsstraße (keine Zusatzeinrichtungen),
- Rebenring/Hagenring/Hans-Sommer-Straße (Teils akustische und taktile Hilfen),
- Hagenring/Gliesmaroder Straße (Teils akustische und taktile Hilfen).



Abbildung 3-2: Lage des Testfeldes „Nördliches und östliches Ringgebiet“ (grün = Knotenpunkte, rot = unmittelbares Testfeld, gelb = Umgebungsbereich digitale Karte)

Digitale Straßenkarte und barrierefreies Routing

Zentrale Datenbasis der umzusetzenden Routenplanung auf dem mobilen Endgerät sowie dem Webportal stellt eine umfassende vektorbasierte und routingfähige digitale Straßenkarte dar. Das zu entwickelnde Graphenmodell beschreibt dabei ein möglichst realitätsnahes und präzises Gehwegenetz, mit dessen Hilfe eine Fußgängernavigation Sehbehinderter und Blinder umgesetzt werden soll. An das Kartenmaterial werden entsprechend hohe Anforderungen gestellt, welche im nachfolgenden Abschnitt zusammengefasst werden. Zur Wahrung des Umfangs werden optionale Anforderungen nicht aufgelistet. Sofern Anforderungen als Informationsgrundlage für das umzusetzende Routing genutzt werden, wird dies explizit gekennzeichnet.



Allgemeine Anforderungen an digitales Kartenmaterial

Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Dateninhalte des Knoten- und Kantenmodells	m
<ul style="list-style-type: none"> Das digitale Kartenmaterial muss Gehwege und Verkehrsknotenpunkte inkl. deren Querungsanlagen (mit und ohne LSA) abbilden können. 	
Zusätzliche Dateninhalte neben Knoten und Kantenmodell	m
<ul style="list-style-type: none"> Neben dem für Routing und Navigation notwendigen Knoten- und Kantenmodell müssen zusätzliche Informationsinhalte (Attribute) mit Bezug zu Knoten und Kanten in der digitalen Karte abgespeichert werden können. 	
Einfache Aktualisierung und Erweiterbarkeit	m
<ul style="list-style-type: none"> Das verwendete digitale Kartenmaterial muss die Möglichkeit bieten, bestehende Inhalte einfach zu aktualisieren oder diese mit geringem Aufwand zu erweitern. 	
Verschneidung digitaler Karten	m
<ul style="list-style-type: none"> Das Kartenmaterial muss mit anderen digitalen Karten, z. B. ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem), OSM (OpenStreetMap) etc. verschnitten werden können. Das bedeutet, dass auf Basis unterschiedlicher Datengrundlagen eine neue InMoBS-taugliche digitale Karte erstellt werden kann. 	
Anwendungsspezifische geometrische Kartengenauigkeit	m
<ul style="list-style-type: none"> Das verwendete Kartenmaterial muss eine Genauigkeit besser oder gleich 10 cm bieten. 	
Räumliche Verfügbarkeit	m
<ul style="list-style-type: none"> Im Rahmen von InMoBS muss das definierte Testfeld in der digitalen Karte abgedeckt werden. 	
Skalierbarkeit des Kartenmaterials	m
<ul style="list-style-type: none"> Das verwendete Kartenmaterial sowie die Methodik zur Erzeugung bzw. Erweiterung des Kartenmaterials müssen so beschaffen sein, dass eine Übertragbarkeit auf den innerstädtischen Verkehrsraum anderer deutscher Städte möglich ist. 	
Sicherheit von Kanten	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Die digitale Karte muss objektbezogene Informationen über die Sicherheit einer Kante abspeichern. Auf Grundlage dieser Information bestimmt der Routing-Algorithmus für den Nutzer sichere kürzeste Routen. 	

Straßenraum und sonstige Objekte

Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Wege/Pfade	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Innerhalb der digitalen Karte müssen Wege bzw. Pfade, auf die der Nutzer während der Navigation geführt wird, abgebildet werden. Als Wege gelten grundsätzlich: Gehwege, Radwege, Rad- und Gehwege, Fußgängerüberweg, Fahrbahnteiler sowie Verkehrsinseln. Für die Abbildung von Wegen/Pfaden gelten die folgenden Anforderungen. <ul style="list-style-type: none"> Wege/Pfade müssen separat nach Straßenseite abgebildet werden können. 	
Länge von Kanten	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Jegliche Kanten innerhalb der digitalen Karte müssen mit einer Längenangabe in der Einheit [m] attribuiert werden. 	



Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Straßenverkehrsanlagen	o/informativ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neben Wegen/Pfaden können auch Straßenverkehrsanlagen innerhalb der digitalen Karte abgelegt werden. Hierbei handelt es sich um besondere Anlagen des Straßenverkehrs. <ul style="list-style-type: none"> – Fahrbahnen – Straßenbahn – Zufahrten 	
Plätze	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innerhalb von Plätzen (Marktplatz etc.) müssen klar definierte Kanten verlaufen, auf denen Routing und Navigation durchgeführt werden können. Kanten innerhalb eines Platzes sind mit hohem Gefährdungspotenzial abzubilden. 	
Routingfähige Kanten	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Kanten (Wege oder Querungsstellen) innerhalb der digitalen Karte müssen von einem Routingalgorithmus verarbeitet werden können. 	
Leitlinie – vgl. DIN 32984	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die digitale Karte muss Informationen über die Gestaltung oder das Vorhandensein einer Leitlinie besitzen. Sie ermöglicht dem Blinden eine bessere Orientierung im Straßenraum. Die Leitlinie muss innerhalb der digitalen Karte wie folgt modelliert bzw. charakterisiert werden können: <ul style="list-style-type: none"> – Innere Leitlinie: durchgehende Häuserfront, eine Mauer oder Rasenkantensteine – Äußere Leitlinie: der Bordstein, welcher dem Blinden den Übergang zum „unsicheren“ Bereich signalisiert und zwecks guter ertastbarkeit mindestens 6 cm hoch sein sollte – Leitsysteme: Sind äußere und/oder innere Leitlinie nicht vorhanden und werden durch ein Leitsystem (gemäß DIN 32984) aus Bodenindikatoren ersetzt, dann muss dieses ebenfalls in der digitalen Karte attribuiert werden. – Das Fehlen einzelner Leitlinien muss ebenfalls innerhalb der digitalen Karte gekennzeichnet werden können. 	
Eingänge von Objekten	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Eingang eines betretbaren bzw. begehbaren Objekts muss innerhalb der digitalen Karte abgespeichert sein. Betretbare Objekte können im Einzelnen sein: <ul style="list-style-type: none"> – Eingang eines Platzes – Eingang einer öffentlichen Toilette – Grundstückseingänge – Abfahrtszone des ÖV – Eingang eines Spielplatzes – Eingang einer Grünanlage – Gebäudeeingang – Haupteingang – Nebeneingang – Ort von Interesse – Sackgasse eines Gehweges 	
Trennung von Radweg und Gehweg – vgl. DIN 18024-1	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Kartenmaterial muss Aufschluss über die Trennung von Geh- und Radweg geben. Dementsprechend muss die Karte die folgenden Ausführungen von Geh- und Radwegen differenzieren: <ul style="list-style-type: none"> – Kombiniertes Geh- und Radweg – Getrennter Geh- und Radweg 	



Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Gehwegbreite	m/informativ
<ul style="list-style-type: none"> Das digitale Kartenmaterial muss eine Attributierung der Gehwegbreite ermöglichen. Diese kann der Nutzer bei Bedarf abrufen. 	
ÖPNV-Haltestellen – vgl. DIN 32984	o/informativ
<ul style="list-style-type: none"> Innerhalb des Kartenmaterials sollten ÖPNV-Haltestellen abgespeichert werden können. Besitzt die Haltestelle Bodenindikatoren, muss dies ebenfalls innerhalb der Karte gespeichert werden. 	
Hindernisse	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Das Kartenmaterial muss die Möglichkeit bieten, Gehwegabschnitte, die häufig von Hindernissen betroffen sind, entsprechend zu kennzeichnen. Mögliche Hindernisse können z. B. Warenauslagen, Fahrräder und/oder Fahrradständer etc. sein. Der von einem Hindernis betroffene Gehwegsabschnitt kann ggf. durch Angabe des Hindernistyps näher charakterisiert werden. 	

Verkehrsknotenpunkte und Querungsanlagen

Anforderungsname	Anforderungstyp (muss =m / kann = o)
Verkehrsknotenpunkte	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Einzelne Verkehrsknoten (Kreuzungen) müssen innerhalb der digitalen Karte detailliert abgebildet werden können. Dies bedeutet im Detail: <ul style="list-style-type: none"> Abbildung des gesamten Knotenpunktes nicht über einen einzelnen Punkt Abbildung des Gehwegs im Nahbereich bzw. Umfeld des Knotenpunkts über ein eigenes Knoten- und Kantenmodell Abbildung von Fußgängerfurten über ein eigenes Knoten- und Kantenmodell 	
Querungsanlagen	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Die digitale Straßenkarte muss Anlagen zur Querung von Straßen beinhalten. Querungsanlagen sind im Folgenden: <ul style="list-style-type: none"> Fußgängerüberwege Fußgängerüberwege im Nahbereich eines Kreisverkehrs Signalisierte Fußgängerfurten Nicht-signalisierte Fußgängerfurten 	
Verortung von Wartebereichen	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Die Positionen von Wartebereichen vor Querungsstellen müssen innerhalb des digitalen Kartenmaterials abgespeichert werden. 	
Gestaltung von Wartebereichen	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> Hierbei muss der Wartebereich innerhalb der digitalen Karte durch eine Fläche geeigneter Größe charakterisiert werden. 	
Auffinden der Querungsanlage – vgl. DIN 32984	m/informativ
<ul style="list-style-type: none"> Das Fehlen oder Vorhandensein von Bodenindikatoren zum Auffinden der Querungsanlagen muss in der digitalen Straßenkarte modelliert werden können. 	



Anforderungsname	Anforderungstyp (muss = m / kann = o)
Verlauf der Querungsanlage	m/informativ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Querungsrichtung von signalisierten und nicht-signalisierten Straßenquerungen muss in der digitalen Karte abgebildet werden können. 	
Gestalt der Querungsanlage	m/informativ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Innerhalb der digitalen Karte muss die Ausprägung der Bordabsenkung gekennzeichnet werden können. Dies betrifft alle im Verlauf der Querung liegenden Borde. Hierbei müssen die folgenden Bordsteinausprägungen unterschieden werden können: <ul style="list-style-type: none"> – Nullabsenkung ohne taktile Testkante – Nullabsenkung mit taktile Testkante – Bordsteinkante 	
Querungsanlage mit Lichtsignalanlage – vgl. DIN 32981	m/routingrelevant
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Querungsanlagen mit Lichtsignalanlage müssen innerhalb der digitalen Karte hinsichtlich der Barrierefreiheit gekennzeichnet werden können. ▪ Barrierefreiheit liegt vor, wenn die folgenden Aspekte an der LSA erfüllt werden: <ul style="list-style-type: none"> – Orientierungssignal – Freigabesignal (taktil/akustisch, deutlich vom Orientierungssignal unterschieden) – Anforderungstaster mit einem „deutlichen mechanischen Druckpunkt“ – Richtungspfeile (evtl. mit Zusatzinformationen) – Bodenindikatoren im Nahbereich ▪ Alle für den Fußgänger relevanten Signalgeber des Knotenpunktes müssen innerhalb der digitalen Straßenkarte abgespeichert werden können. 	

3.1.3 AP 3000 - Systemdefinition/Spezifikation

Innerhalb dieses Kapitels werden die Grundzüge der Systemdefinition am Beispiel der Systemchnittstellen sowie durch Use Case Definitionen erläutert. Die dargestellten Use Case Definitionen veranschaulichen dabei das gewünschte Systemverhalten auf einem allgemein gehaltenen Abstraktionsniveau. Ergänzend dazu wird die Teilsystemkomponente der Lichtsignalanlage am Beispiel der Forschungs-LSA des TUBS-IVS bzgl. der Funktionalität und der technischen Architektur vertiefend dargestellt.

Grundlegende Systemschnittstellen

Die Abbildung 3-3 gibt einen Überblick zu den realisierten Schnittstellen der Infrastruktur- und Nutzerkomponenten. Durch das abgestimmte Zusammenwirken der LSA mit WLAN-Kommunikationstechnik, des mobilen Endgeräts und der CSP zur Routenplanung und Ortungsunterstützung werden die vorgesehenen Anforderungen an die Mobilitätsunterstützung erreicht.

▪ LSA → Endgerät

Die Lichtsignalanlage dient innerhalb des Projekts zur Übermittlung der Signalzustandsinformationen an das mobile Endgerät. Zentraler Bestandteil dieser Schnittstelle stellt dabei die von Siemens entwickelte WLAN-Erweiterung SCALANCE dar, welche durch Anbindung an das LSA-Steuergerät über eine UDP-Schnittstelle Restzeiten und Signalzustände jeder Signalgruppe erhält. Über die WLAN-Erweiterung sendet die LSA sekundlich, unidirektional und an den signalzustand angepasste SPAT-Nachricht (Signal Phase and Timing) sowie die statische Knotenpunkttopologie in Form einer TOPO/MAP-Nachricht.



▪ **Karten- /Routing Server ↔ Endgerät**

Zur Anfrage eines Routensatzes werden PostgreSQL-kompatible SQL-Abfragen genutzt, welche über eine HTTP-GET-Methode serverseitig generiert werden. Der grundlegende Aufbau einer Routenanfrage richtet sich nach dem verwendeten Routingalgorithmus und kann in der Beschreibung von pgRouting [BD-115] nachvollzogen werden. Zur Ausgabe eines Routingsatzes wandelt der Routing Server die georeferenzierten Informationen über den Routenverlauf sowie weitere Metainformationen in ein geoJSON Datenformat. Für die Spezifikation dieses Datensatzes wird auf das offizielle Spezifikationsdokument von geoJSON [BD-100] verwiesen. Neben der Kerninformationen des Routensatzes stellt der Karten- /Routing Server auch Ausschnitte der digitalen Karte von InMoBS in Form eines Web Map Service (WMS) zur Verfügung, um diese zum Beispiel auf dem Webportal zu visualisieren. Zur Erstellung der Kartenausschnitte kommt die Software Geoserver [BD-127] zum Einsatz. Die erläuterte HTTP-GET-Methode zur Kommunikation zwischen Karten- /Routing Server und Endgerät kann analog ebenfalls vom Webportal aus genutzt werden.

▪ **Datenbank-Server ↔ Endgerät**

Das Endgerät überträgt während der Routenführung nutzerspezifisch erhobene Trajektorien und Nutzerfeedback an den Datenbank-Server, der diese zur späteren Systemevaluation aufzeichnet. Weiterhin können vom Nutzer während der Navigation gesetzte POIs oder Hindernisse an den Datenbank-Server übermittelt werden. Dem Anwender zugeordnete Informationen, wie z.B. das Registrierungsprofil, sind ebenfalls Bestandteil des Datenbank-Servers und werden mittels HTTP-GET-Methode übertragen. Auch diese Kommunikationsverbindung kann sowohl vom mobilen Endgerät, als auch vom Webportal in Anspruch genommen werden.

▪ **NAV-Daten-Server ↔ Externer Empfänger**

Die Kernfunktion des NAV-Daten-Servers besteht darin, das mobile Endgerät mit GNSS-Korrekturdaten und (EGNOS-)Integritätsdaten zu versorgen. Die benötigten Korrekturdatensätze zur Steigerung der Positionsgenauigkeit des GNSS-Empfängers sind über externe Datenquellen an den NAV-Daten-Server angebunden. Die Daten werden dann gefiltert dem GNSS-Empfänger zur Verfügung gestellt.

▪ **externer Empfänger → Endgerät**

Für die Ortung ist ein externer GNSS-Empfänger vorgesehen, welcher über Bluetooth (positionskorrigierte) NMEA-Datensätze überträgt.



Schnittstellenupdate „AP3000“ v1.2
07.03.2013

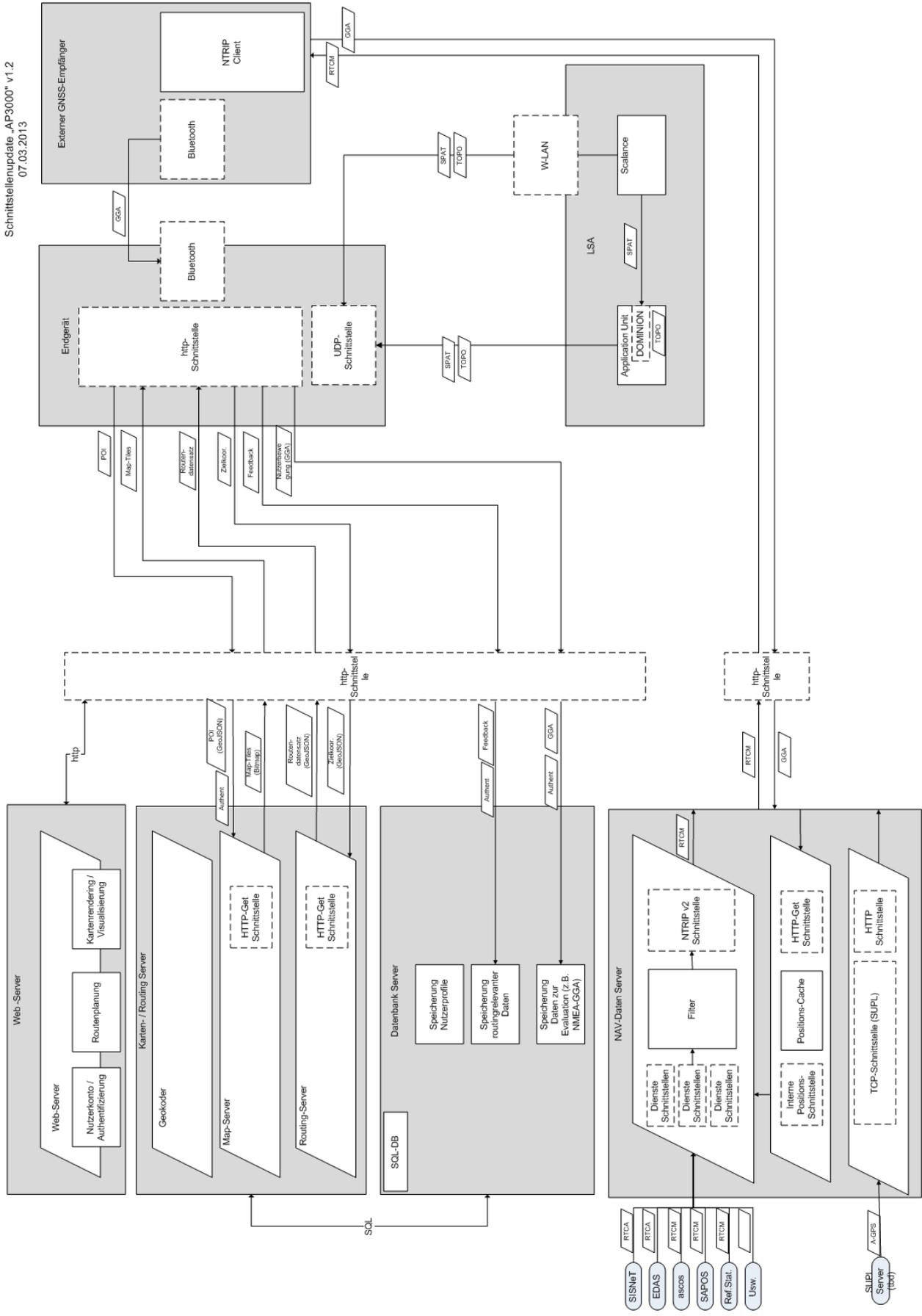


Abbildung 3-3: Systemarchitektur und Schnittstellen



High-Level Use Case

- Use Case 1: Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde

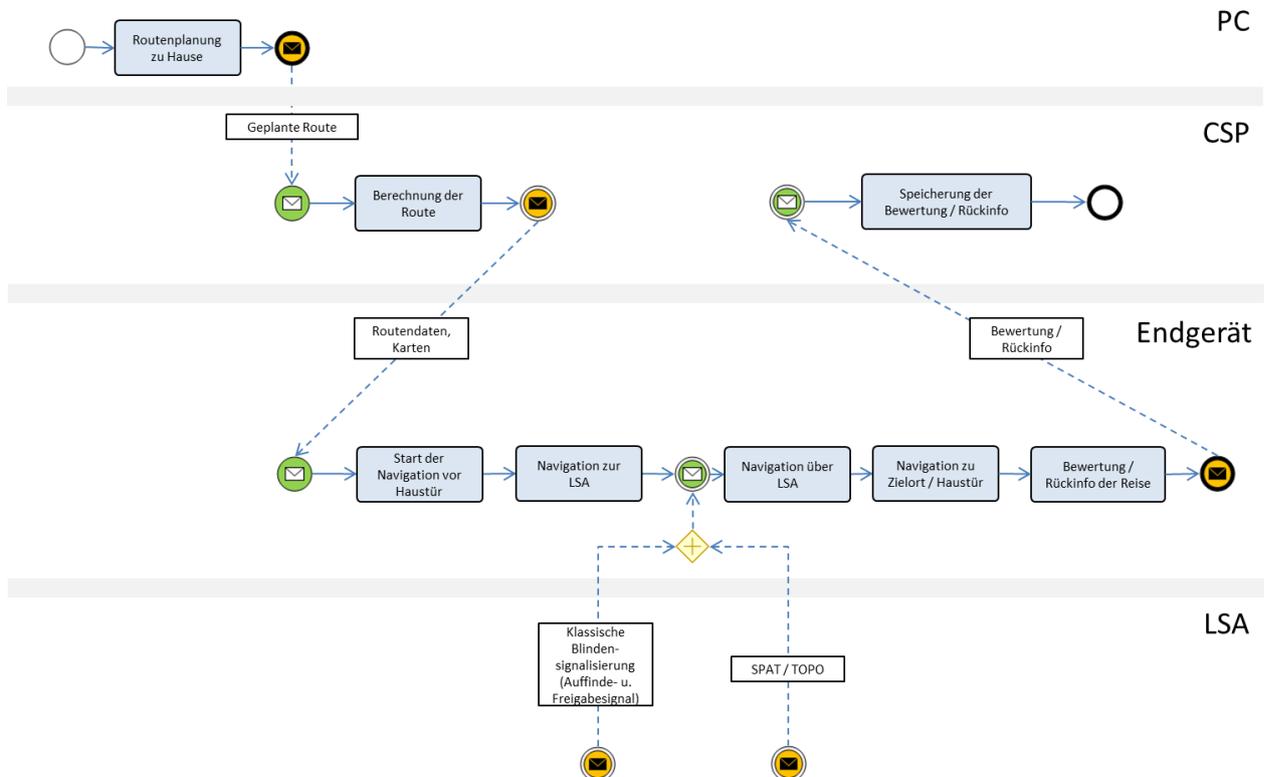


Abbildung 3-4: Use Case 1: Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtungen für Blinde

Use Case ID:	2.3.-1
Beschreibung:	Nutzer plant Route am PC und überträgt die Daten zum Endgerät. Die Navigation startet vor der Haustür und führt über eine LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde und mit WLAN-Kommunikationstechnik zum Zielort. Nach Zielerreichung wird die aufgezeichnete Route (Trajektorie) der CSP zur Verfügung gestellt.
Auslöser:	Nutzer möchte zu einem Ziel geführt werden
Vorbedingung:	1. LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde 2. LSA mit WLAN-Kommunikationstechnik
Nachbedingung:	1. Eine LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde wurde gequert 2. Bewertung ist gespeichert
Normales Systemverhalten:	1. Planung der Route am PC (InMoBS home) 2. Berechnung der Route 3. Übertragung der Route aufs Endgerät 4. Start der Navigation (InMoBS mobile) 5. Navigation zur LSA 6. Nutzer erhält an LSA SPAT/TOPO-Nachrichten und orientiert sich zusätzlich an den Zusatzeinrichtungen für Blinde 7. Navigation über LSA 8. Navigation zum Zielort 9. Möglichkeit der Routenbewertung am Endgerät 10. Übertragung der aufgezeichneten Route (Trajektorie) 11. Speicherung der Route auf CSP

Tabelle 3-1: Systemverhalten bei Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde



▪ Use Case 2: Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde

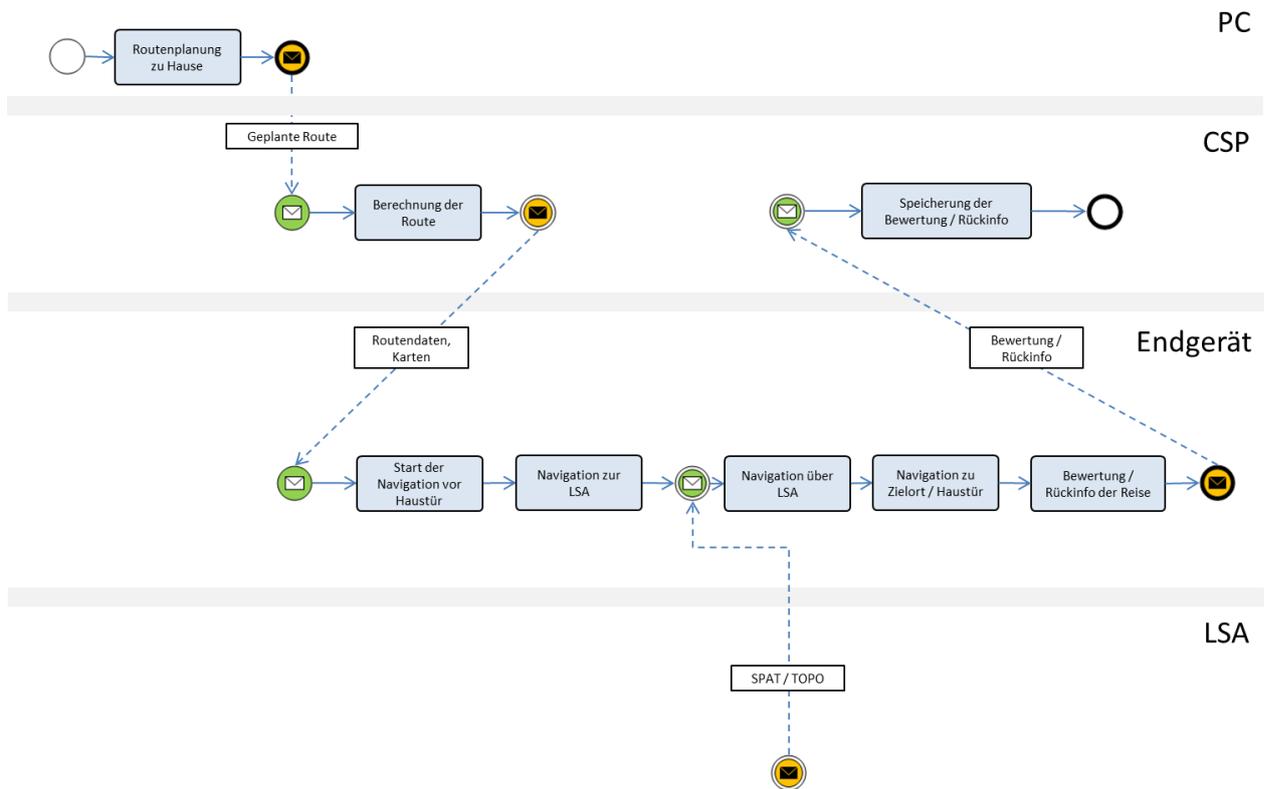


Abbildung 3-5: Use Case 2: Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde

Use Case ID:	2.3.-2
Beschreibung:	Nutzer plant Route am PC und überträgt die Daten zum Endgerät. Die Navigation startet vor der Haustür und führt über eine LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde, aber mit WLAN-Kommunikationstechnik zum Zielort. Nach Zielerreichung wird die aufgezeichnete Route (Trajektorie) der CSP zur Verfügung gestellt.
Auslöser:	Nutzer möchte zu einem Ziel geführt werden
Vorbedingung:	1. Keine Zusatzeinrichtung für Blinde an LSA (nur WLAN-Kommunikationstechnik)
Nachbedingung:	1. Eine LSA ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde wurde gequert 2. Bewertung ist gespeichert
Normales Systemverhalten:	Entsprechend Use Case ID 2.3.-1 mit Änderung an Punkt 6 6. An LSA erhält Nutzer nur SPAT/TOPO-Nachrichten

Tabelle 3-2: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde



▪ Use Case 3: Querung einer nicht signalisierten Furt

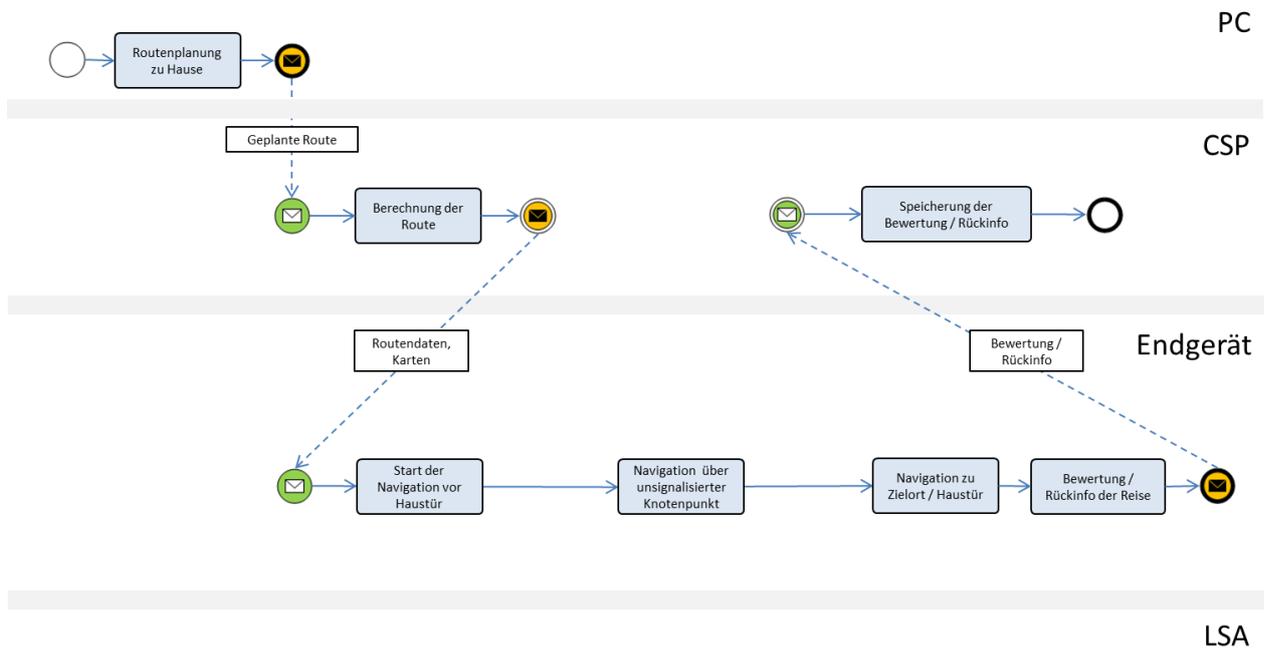


Abbildung 3-6: Use Case 3: Querung einer nicht signalisierten Furt

Use Case ID:	2.3.-3
Beschreibung:	Nutzer plant Route am PC und überträgt die Daten zum Endgerät. Die Navigation startet vor der Haustür und führt über eine Kreuzung ohne Zusatzeinrichtung für Blinde zum Zielort. Nach Zielerreichung wird die aufgezeichnete Route (Trajektorie) der CSP zur Verfügung gestellt.
Auslöser:	-
Vorbedingung:	1. Keine Zusatzeinrichtung für Blinde vorhanden
Nachbedingung:	-
Normales Systemverhalten:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planung der Route am PC (InMoBS home) 2. Berechnung der Route 3. Übertragung der Route aufs Endgerät 4. Start der Navigation (InMoBS mobile) 5. Navigation zur Kreuzung 6. Navigation über nicht signalisierten Knotenpunkt 7. Navigation zum Zielort 8. Möglichkeit der Routenbewertung am Endgerät 9. Übertragung der aufgezeichneten Route (Trajektorie) 10. Speicherung der Route auf CSP

Tabelle 3-3: Systemverhalten bei Querung einer nicht signalisierten Furt



▪ Use Case 5: Routenplanung allgemein

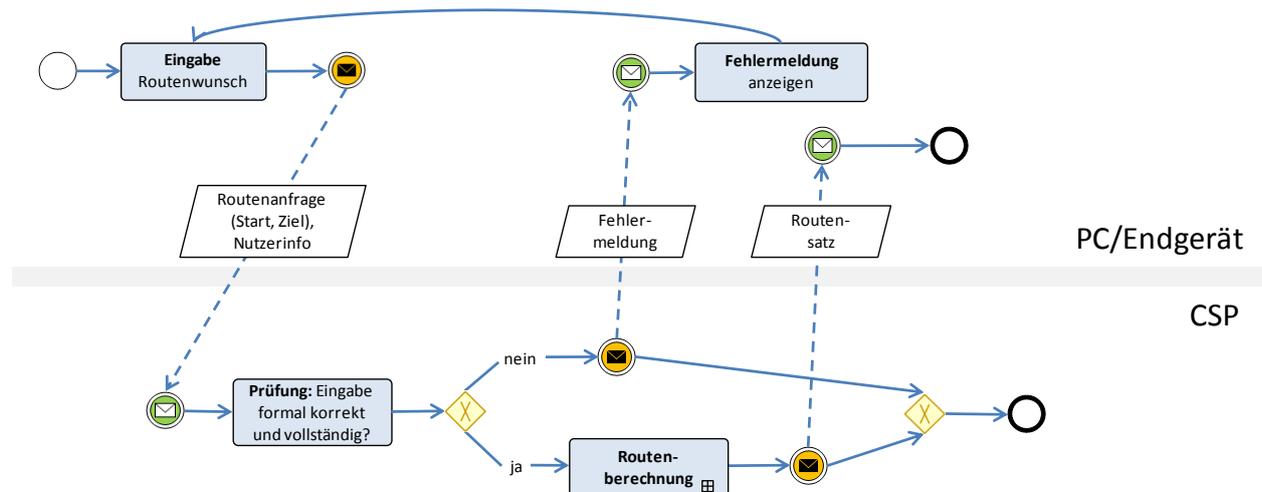


Abbildung 3-7: Use Case 5: Routenplanung allgemein (ohne Details zur Routenberechnung)

Use Case ID:	2.3.-5
Beschreibung:	Der Nutzer plant eine Route am PC oder am mobilen Endgerät. Hierzu sind Informationen zum Routenwunsch mittels PC über das Webportal oder mittels des mobilen Endgerätes einzugeben und zur CSP zu übertragen. Dort erfolgen eine Prüfung der Eingaben und bei Bedarf Fehlermeldungen zur Korrektur/Anpassung der Nutzereingaben. Die komplexe Routenberechnung liefert dem Nutzer einen Routensatz, der dem Nutzer am PC oder dem mobilen Endgerät zur Verfügung gestellt wird. Die Vorarbeiten zur Routenberechnung sind in Abschnitt AP 2400 (Recherche und Analyse bestehender Routingsoftwarelösungen) ausführlich dargestellt.
Auslöser:	Nutzer (via PC oder via mobiles Endgerät)
Vorbedingung:	1. Der Nutzer benötigt zur Routenplanung mittels InMoBS-Webportal einen InMoBS-Account.
Nachbedingung:	1. Eine vom Nutzer ausgewählte Route steht zur Verwendung im mobilen Endgerät oder am PC zur Verfügung.
Normales Systemverhalten:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eingabe Routenwunsch via Webportal am PC oder via mobiles Endgerät 2. Übertragung der Routenanfrage an die CSP 3. Prüfung der Nutzereingaben hinsichtlich formaler Korrektheit und Vollständigkeit: <ol style="list-style-type: none"> a. ohne Auffälligkeiten: weiter bei 4) 4. Berechnung der Route anhand der nutzergenerierten Routenanfrage 5. Versand des Routensatzes an PC oder mobiles Endgerät

Tabelle 3-4: Systemverhalten bei der allgemeinen Routenplanung via PC oder mobiles Endgerät



▪ Use Case 6: Routenplanung via PC und Webportal

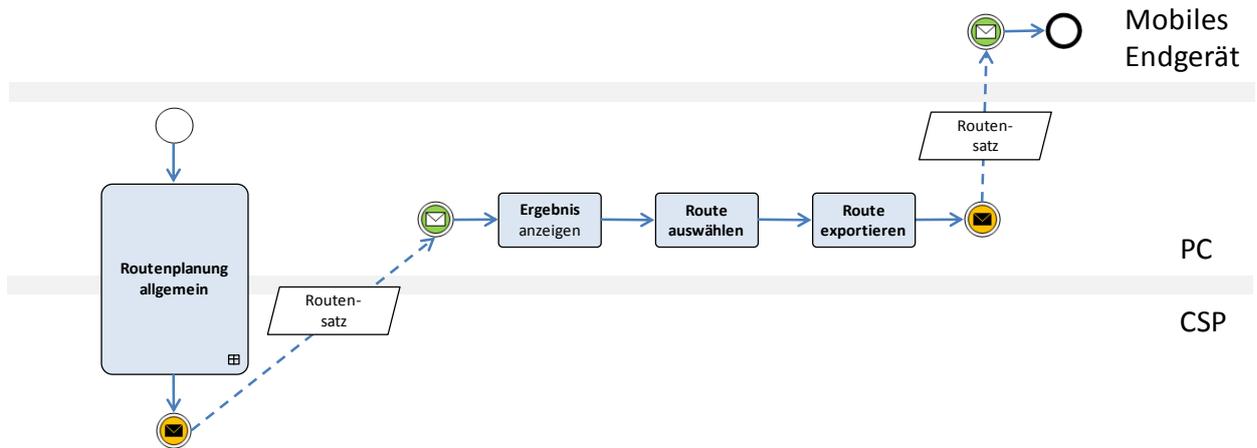


Abbildung 3-8: Use Case 6: Routenplanung am PC (ohne Details zur Routenberechnung)

Use Case ID:	2.3-6
Beschreibung:	Der Nutzer plant eine Route am PC. Gemäß den Nutzereingaben (vgl. Use Case ID 2.3.-5) wird ein Routensatz generiert und von der CSP zum PC übertragen. Dieser wird dem Nutzer via Webportal angezeigt. Aus i. d. R. mehreren Alternativen kann der Nutzer eine Route auswählen und den Routensatz zur weiteren Verwendung auf das mobile Endgerät exportieren.
Auslöser:	Nutzer am PC
Vorbedingung:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer benötigt zur Routenplanung mittels InMoBS-Webportal einen InMoBS-Account. 2. Erfolgreiches Ausführen des Use Case ID 2.3.-5 „Routenplanung allgemein“
Nachbedingung:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eine vom Nutzer ausgewählte Route steht auf dem mobilen Endgerät zur Verfügung.
Normales Systemverhalten:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Anhand der nutzergenerierten Routenanfrage berechnete Route wird an PC übertragen. 2. Alternative Routen werden via Webportal angezeigt. 3. Der Nutzer hat die Möglichkeit, eine Route auszuwählen. 4. Der Routensatz der ausgewählten Route wird auf das mobile Endgerät übertragen.

Tabelle 3-5: Systemverhalten bei Routenplanung am PC



Use Case ID:	3.1.-1
<p>Normales Systemverhalten:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nutzer erhält Auffindesignal der LSA sowie virtuelles Auffindesignal zum Auffinden des Wartebereichs. Im Wartebereich befindet sich auch der Mast des Signalgebers. 2. Für die Zielführung mittels Endgerät wertet das Endgerät die für das Routing verwendete digitale Straßenkarte sowie die TOPO-Nachricht der LSA aus. 3. Nach Erreichen des Wartebereichs betätigt der Nutzer den Anforderungstaster zur Anforderung einer akustischen Freigabe für Blinde. Das Endgerät erkennt das Erreichen des Wartebereichs. 4. Die LSA emittiert bei Beginn einer neuen Freigabe der Furt ein akustisches und taktiles Signal. Das LSA-Steuergerät ist bei Verwendung von Zusatzeinrichtungen für Blinde so konzipiert, dass eine akustische Freigabe erst dann ertönt, wenn an der Furt die maximale Freigabezeit zur Verfügung steht. 5. Zeitgleich zur akustischen Freigabe der LSA erzeugt das Endgerät ein taktiles oder akustisches Freigabesignal. Hierzu liest das Endgerät die empfangene SPAT-Nachricht der LSA aus und prüft anhand des erkannten Wartebereichs und durch Abgleich des Routingdatensatzes der digitalen Karte sowie der TOPO-Nachricht, welche Signalgruppe der Zusatzeinrichtung für Blinde an den Nutzer ausgegeben werden muss. Die Erkennung, dass es sich um Signalgruppe(n) einer Zusatzeinrichtung für Blinde handelt, erfolgt über das Attribut (category: „Freitext z. B. blindpeople“) der Signalgruppe innerhalb der SPAT-Nachricht. 6. Für die Querung der Furt stehen zwei synchrone Freigabeinformationen für den Nutzer zur Verfügung. 7. Optional: LSA sendet Systemstatus an eine zentrale Datenbank des CSP

Tabelle 3-6: Systemverhalten bei Querung einer LSA mit Zusatzeinrichtung für Blinde



▪ Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung

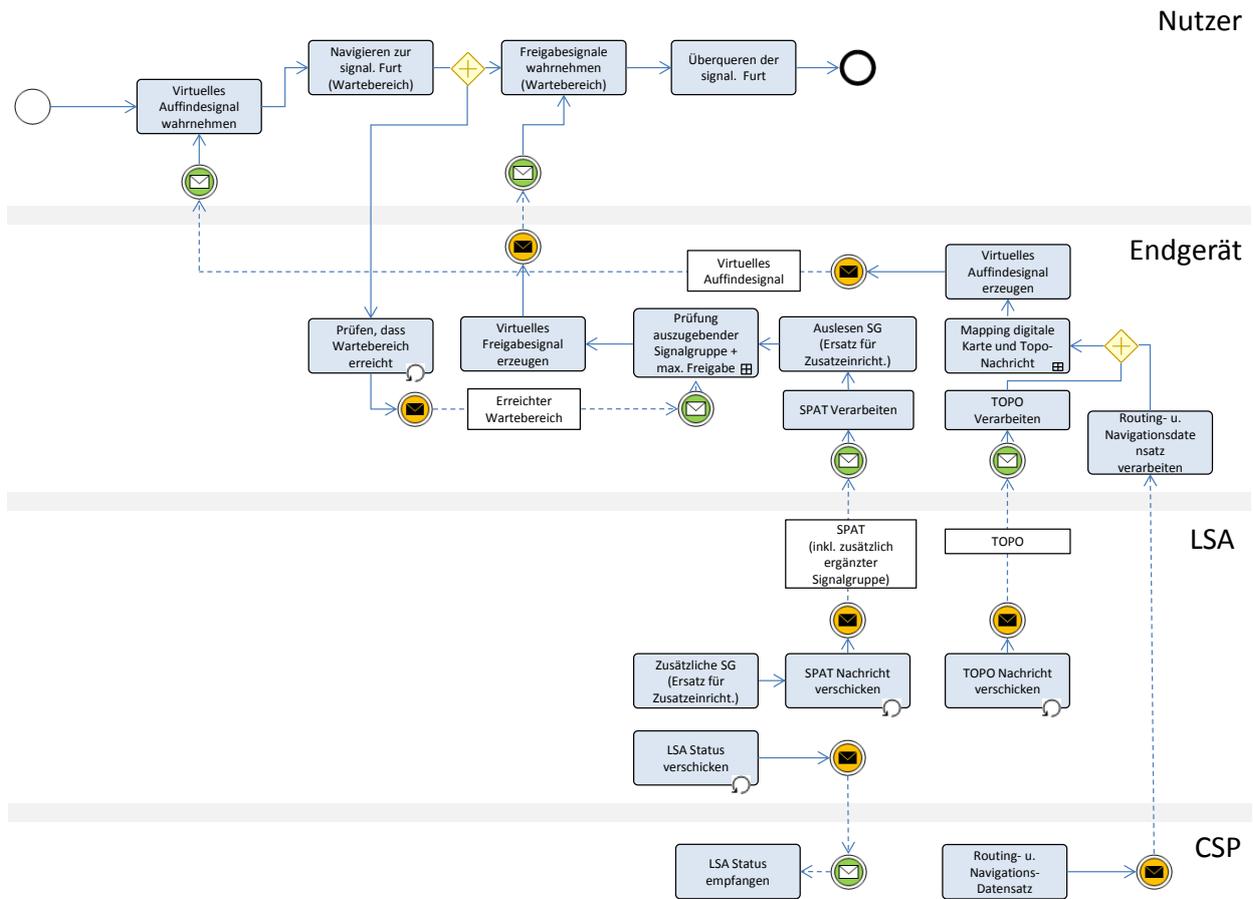


Abbildung 3-10: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde

Use Case ID:	3.1.-2
Beschreibung:	Nutzer quert eine LSA, ausgestattet mit Kommunikationstechnik ohne Zusatzeinrichtungen für Blinde- und Sehbehinderte
Auslöser:	Navigation führt Nutzer zu einer LSA
Vorbedingung:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nutzer in Annäherung an Wartebereich einer LSA (signalisierte Furt) 2. Routing- und Navigationsdatensatz auf dem Endgerät vorhanden 3. LSA ausgestattet mit Kommunikationstechnik zur zyklischen Übertragung von SPAT- und TOPO-Nachrichten mittels 802.11b/g/n 4. SPAT-Nachrichten von LSA ohne Zusatzeinrichtungen enthalten nachträglich hinzugefügte Signalgruppen (Ersatz für Zusatzeinrichtungen)
Nachbedingung:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nutzer steht im Wartebereich einer LSA (signalisierte Furt)



Use Case ID:	3.1.-2
<p>Normales Systemverhalten:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nutzer erhält Auffindesignal zum Auffinden des Wartebereichs. Im Wartebereich befindet sich auch der Mast des Signalgebers. 2. Für die Zielführung mittels Endgerät wertet das Endgerät die für das Routing verwendete digitale Straßenkarte sowie die TOPO-Nachricht der LSA aus. 3. Nach Erreichen des Wartebereichs betätigt der Nutzer ggf. den regulären Anforderungstaster zur Anforderung einer Freigabe. 4. Das Endgerät liest die Signalinformationen aller ergänzend hinzugefügten Signalgruppen (Ersatz für Zusatzeinrichtungen) aus und bestimmt darauf die für den Querungsvorgang relevante Signalgruppe. Die Erkennung, dass es sich um die Signalgruppe einer Zusatzeinrichtung für Blinde handelt, erfolgt über das Attribut (category: „Freitext z. B. blindpeople“) der Signalgruppe innerhalb der SPAT-Nachricht. 5. Für die Querung der Furt steht nur eine Freigabeinformationen für den Nutzer zur Verfügung. 6. Optional: LSA sendet Systemstatus an eine zentrale Datenbank des CSP

Tabelle 3-7: Systemverhalten bei Querung einer LSA ohne Zusatzeinrichtung für Blinde

Teilsystemarchitektur Forschungs-LSA

Im Zuge des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekts SIGNOS [BD-84] (Standardisierte Interfaces, Geräte und Netzwerke zur Steuerung von Lichtsignalanlagen auf der Basis von OCIT-Schnittstellen) wurde am Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg (ifak) der Prototyp einer Set-Top-Box für LSA-Steuergeräte auf Linux- und PC104-Basis entwickelt. Mit Hilfe der Set-Top-Box (Signos-Box) können komplexe Steuerungsverfahren berechnet und mittels Signos-Schnittstelle an kompatible LSA-Steuergeräte weitergegeben werden.

Im Projekt InMoBS wird die bestehende Set-Top-Box um die Fähigkeit der Signozustandsübertragung mittels WLAN funktional erweitert. Die Teilsystemarchitektur der Forschungs-LSA des IVS umfasst dabei ein LSA-Steuergerät (Dresden Elektronik) sowie eine modifizierte Signos-Box. Die Signos-Box stellt einen Industrie-PC dar, in der auf einem Linux-Betriebssystem ein java-basierter Signos-Programmcode läuft. Die Signos-Box besitzt insgesamt zwei physikalische Schnittstellen. Eine Schnittstelle (WLAN 802.11 bgn) dient dabei der Kommunikation mit dem InMoBS-Endgerät. Darüber hinaus ist die Signos-Box mittels physikalischer Schnittstelle an das LSA-Steuergerät (Dresden Elektronik) angebunden. Die primäre Aufgabe der Signos-Box besteht darin, die LSA-Informationen (Signozustände etc.) von dem LSA-Steuergerät zu empfangen, in eine CEN/ISO-konforme SPAT-Nachricht zu kodieren und an das Endgerät weiterzugeben. Parallel hierzu hat die Signos-Box die Aufgabe, eine statische TOPO-Nachricht ebenfalls gemäß CEN/ISO zu kodieren und dem Endgerät bereitzustellen. Abbildung 3-11 zeigt die Teilsystemarchitektur der Forschungs-LSA im Überblick.

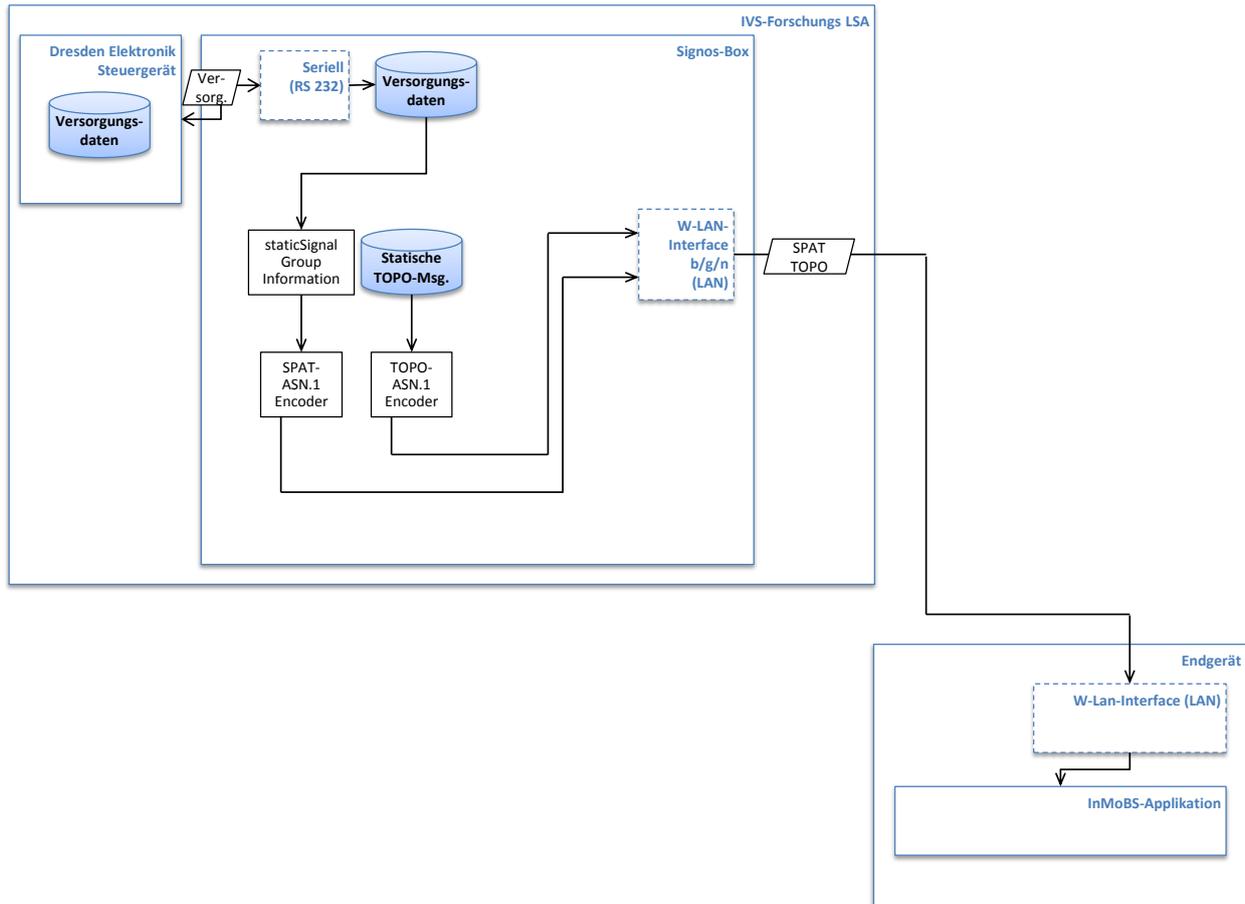


Abbildung 3-11: Teilsystemarchitektur Forschungs-LSA

Schnittstelle Lichtsignalanlage

Die Schnittstelle zur Lichtsignalanlage wird entsprechend Tabelle 3-8 umgesetzt. Die SIGNOS Set-Top-Box versendet über die 802.11bgn-Luftschnittstelle mit der Frequenz 1 Hz UDP-(Port 8500)-Nachrichten als Broadcast. Das Endgerät kann dem WLAN beitreten und die Nachrichten empfangen. SPAT und TOPO-Nachrichten sind dabei gemäß der aktuellen ETSI/CEN Standards [BD 54] und [BD 55] implementiert.

Kommunikation mit LSA		
Nr.	Schicht	Beschreibung
5	<i>Dateninhalt</i>	SPAT oder TOPO, ASN.1 PER unaligned-kodiert
4	<i>Anwendung</i>	Geonetworking/Basic Transport Protocol
3	<i>Transport</i>	UDP Broadcast
2	<i>Vermittlung</i>	IP
1	<i>Übertragung</i>	802.11bgn

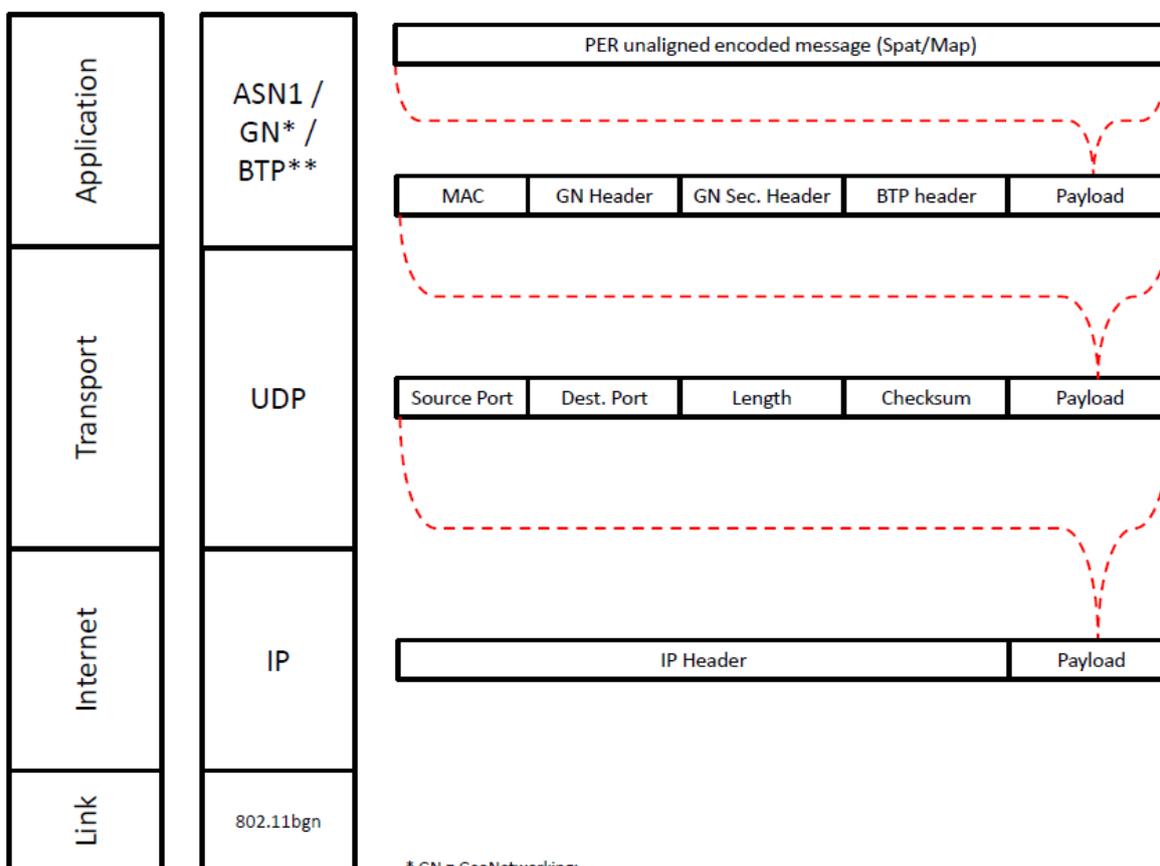
Tabelle 3-8: Kommunikation mit LSA



▪ **Dateninhalte**

Die Struktur und Inhalte der übermittelten Nachrichten auf den einzelnen Protokollschichten lässt sich Abbildung 3-12 entnehmen. Die Inhalte der Link- (Übertragung), Internet- (Vermittlung) und Transport-Schicht entsprechen den jeweiligen Standards. Die Anwendungsschicht besteht aus zwei Unterschichten:

1. Die oberste Schicht beinhaltet den eigentlichen Dateninhalt der zu versendenden SPAT- bzw. TOPO-Nachricht. Der Inhalt ist PER-kodiert und wird mittels der erstellten ASN.1 Library dekodiert und in ein Java-Objekt umgewandelt.
2. Der kodierte Teil der Nachricht ist eingebettet in den Payload einer BTP-Nachricht. Die BTP-Struktur beinhaltet einen Geonetwork-Header (Subheader SPAT: Single Hop Broadcast [SHB], Subheader TOPO: Topologically Scoped Broadcast [TSB]). Aus diesem wird die Timestamp-Information ausgelesen, da die SPAT- und TOPO-Nachrichten keinen eigenen Timestamp besitzen, anhand dessen die Aktualität der Nachricht verifiziert werden kann.



* GN = GeoNetworking:
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360401/01.01.01_60/ts_1026360401v010101p.pdf
 ** BTP = Basic Transport Protocol:
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360501/01.01.01_60/ts_1026360501v010101p.pdf

Abbildung 3-12: Protokollstack



▪ **ASN.1 Library**

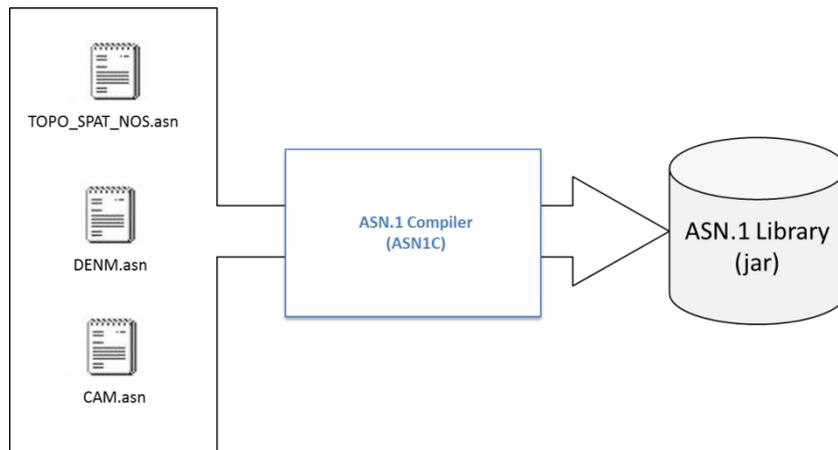


Abbildung 3-13: Generierung ASN.1 Library

Die ASN.1 Library stellt eine jar-Datei dar, die in bestehenden Java-Programmcode verlinkt werden kann, um ASN.1-basierte Nachrichten zu kodieren und dekodieren. Sie wurde mit Hilfe des ASN.1 Compilers ASN1C der Firma Objective Systems auf Basis der im Folgenden angegebenen ASN.1-Definitionen der SPAT- und TOPO-Nachrichten erstellt.

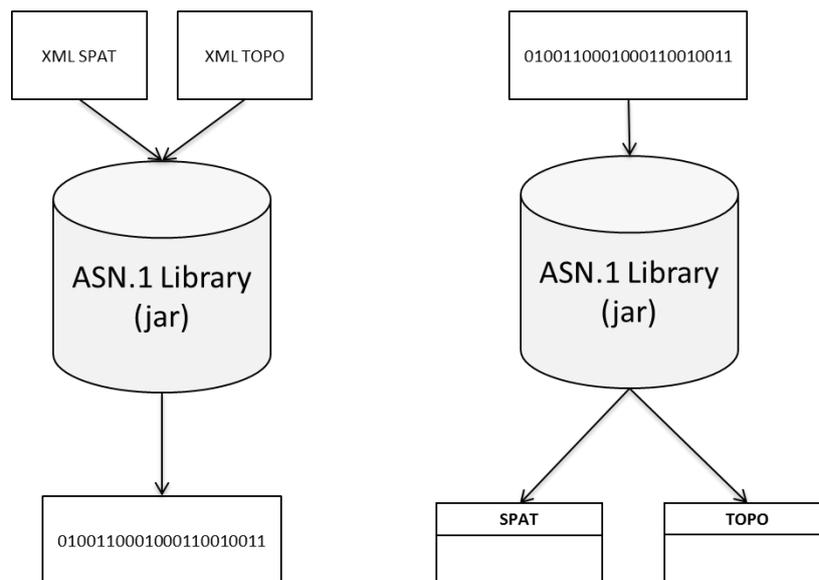


Abbildung 3-14: Kodierung/Dekodierung SPAT und TOPO



Teilsystem Component Server Platform

Wegesuche / Routing

Neben der Definition der Gesamtsystemarchitektur, der Mitentwicklung der WLAN-gestützten LSA-Kommunikation war das TUBS-IVS auch an der Definition und Implementierung eines geeigneten Routingdienstes für das Forschungsprojekt InMoBS beteiligt.

Der Routingdienst stellt dabei den Kernbestandteil des Routingserver dar und hat die Aufgabe, Routenanfragen entgegenzunehmen und mittels geeigneter Algorithmen einen Routensatz für den späteren Navigationsprozess sowie für das Webportal zu erzeugen. Der zu generierende Routensatz muss dabei neben dem geographischen Verlauf der Route auch notwendige Metainformationen, wie z.B. Hindernisse oder POIs enthalten. Hauptziel des Routingserver ist die Bestimmung einer kürzesten und zugleich möglichst sicheren Route innerhalb eines definierten Netzes. Um dies zu realisieren, werden die Kanten des betrachteten Netzes hinsichtlich der Metriken Länge und Sicherheit bewertet. Bzgl. der Sicherheit einer errechneten Route konzentriert sich InMoBS unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten auf die folgenden Aspekte:

Sicherheit beeinflussendes Merkmal:	Zusätzliches Kantengewicht:
Fußgängerfurt mit Zusatzeinrichtung für Blinde	0.0
Fußgängerfurt ohne Zusatzeinrichtung für Blinde	150.0
Fußgängerüberweg	170.0
Ungesicherte Querung	700.0
Nutzerspezifisches Hindernis	999.0

Tabelle 3-9: Routingrelevante Sicherheitsmerkmale

Neben den in Tabelle 3-9 aufgeführten Merkmalen enthält der ausgegebene Routensatz weitere navigationsrelevante Merkmale:

- POIs auf der Route
- Hindernisse auf der Route
- POIs in der Umgebung
- Informationen über Verkehrsknotenpunkte
 - Knotenpunktform (X,Y,T-Kreuzung)
 - Beschaffenheit des Bordsteins (abgesenkt, nicht abgesenkt)
 - Mittelinsel
 - Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte

Bei der Suche nach einer möglichst sicheren und individualisierten Route werden darüber hinaus auch nutzerspezifische Hindernisse berücksichtigt. Das von einem Anwender definierte Hindernis führt im Planungsprozess einer neuen Route zum Ausschluss der betroffenen Kante. In bestehenden Routen werden die Hindernisse als Objekt im Verlauf der Route angesagt. Die Verarbeitung des Routings basiert maßgeblich auf einer relationalen postgresQL-Datenbank [BD-119], welche mit Hilfe der Erweiterungen pgRouting [BD-115] in der Lage ist, komplexe Graphen zu erstellen und in diesen eine Routensuche durchzuführen. Mittels pgRouting wurden in InMoBS die folgende Routingstrategien implementiert:

- Kürzester Weg zwischen zwei oder mehreren Punkten
- Sicherster und möglichst kürzester Weg zwischen zwei oder mehreren Punkten (unter Ausschluss von Gefahrenstellen)

Die umgesetzten Strategien basieren dabei auf den Routingalgorithmen Dijkstra und A-Star [BD-86]. Zur Beschreibung und Modifikation geometrischer und geographischer Objekte wird im Projekt die postgresQL-Extension PostGIS [BD-117] genutzt. Das Datenformat eines fertig be-



rechneten Routensatzes wird in dem standardisierten Datenformat geoJSON [BD-100] beschrieben und gewährleistet eine einfache Einbindung in Web- und Smartphone-Applikationen. Abbildung 3-15 beschreibt die in InMoBS genutzte Routing-Architektur.

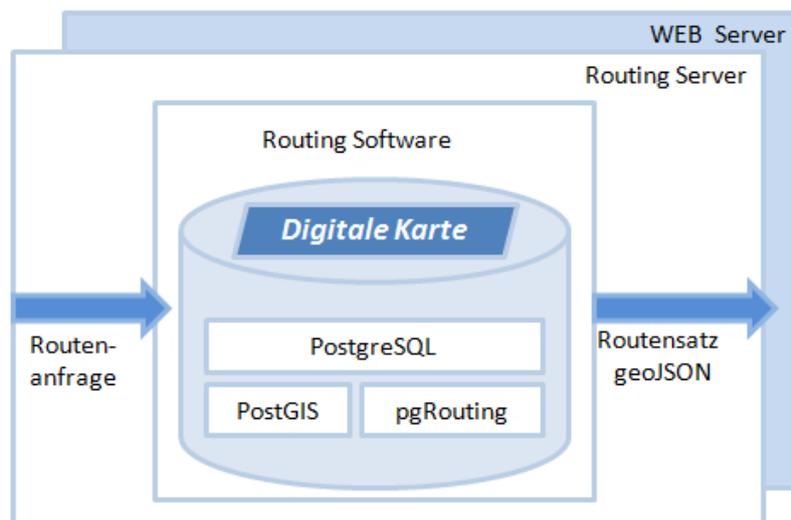


Abbildung 3-15: Routing Architektur

3.1.4 AP 4000/6000 - Infrastrukturkomponenten – Entwicklung und Aufbau

Ziel des Arbeitspakets 4000 war der prototypische Entwicklung sowie der Aufbau der Infrastrukturkomponenten. Im Zuge dieser Arbeiten wurde durch das TUBS-IVS auch die Teilsystemkomponente der Forschungs-LSA in Zusammenarbeit mit dem ifak Magdeburg (Institut für Automation und Kommunikation e.V.) entwickelt. Im Anschluss daran folgte im Kontext der Systemintegration des AP 6000 die Erprobung der Kommunikations- und Funktionsfähigkeit der Systemkomponenten untereinander. Dabei wurde durch das TUBS-IVS auch die Kommunikationsfähigkeit der Forschungs-LSA mit dem mobilen Endgerät erprobt und dokumentiert. Die Ergebnisse dieser Arbeitspakete werden im nachfolgenden Abschnitt zusammenfassend dargestellt.

Implementierung Forschungs-LSA

Für InMoBS wurde die aus dem Forschungsprojekt SIGNOS [BD-84] bestehende Hard- und Softwarebasis in Zusammenarbeit mit dem ifak Magdeburg an die Anforderungen von InMoBS angepasst. Ziel der Arbeiten war dabei die grundsätzliche Überprüfung der technischen Machbarkeit einer WLAN-Kommunikation zwischen Smartphone und SIGNOS Set-Top-Box zur zyklischen (min. 1 Hz) Übertragung von SPAT- und TOPO-Nachrichten. Die prototypisch entwickelte Set-Top-Box wird im Gegensatz zu der von Siemens entwickelten WLAN-Komponente nicht im realen Testfeld eingesetzt. Das entwickelte System dient primär als Laboranlage und kann in Kombination mit SIGNOS-kompatiblen Steuergeräten (z. B. Dresden Elektronik) komplexe verkehrsadaptive Steuerungsverfahren prozessieren und schalten.

Laborgerät

Die entwickelte Set-Top-Box umfasst die folgenden Hardwarekomponenten:

- Mainboard im PCI/104-Express Format, Intel Atom D525 (2x1800 MHz),
- 2 GB DDR3-RAM,
- 8 GB SATA DOM als nichtflüchtiger Speicher,
- Energieversorgung- und IO-Modul im PC104 Format (Versorgung 12-32 V DC),
- PCI/104-Express Erweiterungskarte,



- WLAN-Modul als Mini-PCIE-Steckmodul,
- Aluminiumgehäuse mit passiver Kühlung
- Montagemöglichkeit auf Tragschiene TS35
- Steckernetzteil (24 V, 1 A),
- Zusätzlicher Powerstecker für eine optionale Stromversorgung ohne Steckernetzteil,
- 1x WLAN-Stabantenne



Abbildung 3-16: Systemkomponenten SIGNOS Set-Top-Box

Die wesentliche Kernkomponente der Set-Top-Box ist dabei die WLAN-Karte vom Typ „Ubiquiti SR71-E miniPCI-Express“. Das genutzte Modul verfügt über die folgende Spezifikation:

- Chipsatz Atheros AR9280 mit DFS
- Funkbetrieb: Unterstützung IEEE 802.11a/b/g/n
- Temperaturbereich: -20 °C bis +70 °C
- Sicherheit: 802.11i mit AES-CCM & TKIP Verschlüsselung, 802.1x, 64/128/152bit WEP
- Datenübertragungsgeschwindigkeit: Legacy 802.11a/b/g (1-54 Mbps), 802.11n (bis zu 300 Mbps)
- Innenreichweite (antennenabhängig): bis zu 200 Meter
- Außenreichweite (antennenabhängig): über 50 km
- Sendeleistung: bis 400 mW

Versorgung und Kommunikationstests

Zur Überprüfung der unidirektionalen Datenkommunikation zwischen Set-Top-Box und dem mobilen InMoBS-Endgerät wurde ein Testsetup entwickelt und erfolgreich erprobt. Das Setup simuliert dabei mit Hilfe eines virtuellen Steuergeräts die signalisierte Regelung eines vollständigen Verkehrsknotenpunktes. Bei dem simulierten Knotenpunkt handelt es sich um eine Kreuzung aus dem realen InMoBS-Testfeld (Hagenring/Rebenring). Zur Virtualisierung des Steuergeräts wird auf die bestehende SIGNOS-Software zurückgegriffen. Die Versorgung des virtuellen Steuergeräts benötigt dabei die folgenden Bestandteile:

- Grundversorgung nach OCIT-I-VD 2.0
- Topologie des Knotenpunkts im XML-Format
- Zuordnung zwischen Signalgruppen (Movement) und Fahrstreifen/Fußgänger-/Radfahrerfurten (Lane) im CSV-Format



Während der Datenkommunikation werden Signalzustandsinformationen aller Signalgruppen des virtuellen Steuergeräts über eine Ethernet-Schnittstelle an die SIGNOS Set-Top-Box übertragen. Im Anschluss daran werden die Signalzustandsinformationen jeder Signalgruppe in eine CEN/ISO-konforme SPAT-Nachricht kodiert und zusammen mit der TOPO-Nachricht (Topologie des Knotenpunkts im XML-Format) an das Endgerät übertragen. Auf Grundlage des beschriebenen Testsetups konnte die Kommunikationsfähigkeit zwischen SIGNOS Set-Top-Box und mobilen Endgerät erprobt und sichergestellt werden. Neben Labortests fanden auch diverse Kommunikationstests in realen Umgebungssituationen mit dem Testsetup statt, um zu überprüfen, welche Datenverfügbarkeit (Empfangsrate) mit der entwickelten SIGNOS Set-Top-Box erreicht werden kann. Hierzu wurde das Testsetup am Verkehrsknoten Pockelstraße/Rebenring positioniert und in Betrieb genommen. Während des Betriebs wurden mittels eines handelsüblichen Notebooks inkl. eines WLAN-b/g-Adapters sekundlich ausgesendete UDP-Datenpakete (User Datagram Protocol) der SIGNOS Set-Top-Box empfangen. Im Verlauf des Tests wurde das Notebook auf einem etwa quadratischen Testparcours über alle Furten des Verkehrsknoten geführt, um die Empfangsrate bei unterschiedlichen Abständen zu prüfen. Während des gesamten Tests betrug die maximale Entfernung zwischen Notebook und SIGNOS Set-Top-Box ca. 60 m. In einem exemplarisch aufgenommenen Datenmitschnitt von 224 Sekunden konnte das Notebook 217 SPAT-Datenpakete empfangen. Damit liegt die Empfangsrate der benötigten Signalisierungsinformation bei ca. 97 %. Bei sekundlicher UDP-Datenübertragung stellt dies eine typische Empfangsqualität dar und kann z. B. durch Steigerung der Sendefrequenz und Erhöhung der Datenredundanz verbessert werden [BD-80]. Um diesem Optimierungspotenzial nachzugehen, wurde in Zusammenarbeit mit dem ifak Magdeburg die Sendefrequenz variabel zwischen 1-10 Hz gestaltet. Weitere Tests haben gezeigt, dass die Empfangsrate auf ca. 99 % verbessert werden konnte. Die in InMoBS benötigten Signalinformationen konnten somit außerordentlich zuverlässig dem mobilen Endgerät zur Verfügung gestellt werden.

3.1.5 AP 5000 - Mobile Endgeräte Entwicklung und Aufbau

Mobiles Endgerät

Online-Fragebogen

Im Rahmen des AP 5000 führten die TUBS-IV und der DBSV im Zeitraum 02/13 - 03/13 eine bundesweite Fragebogenaktion zum Mobilitätsverhalten Blinder und Sehbehinderter durch. Der Fragebogen wurde im Rahmen des AP 2000 zur deutschlandweiten Erhebung von Mobilitätsmustern und nutzerspezifischen Anforderungen an das mobile Endgerät sowie dem Umgang mit Technologien entwickelt. Das Ziel war es zusätzliche Erkenntnisse für die Entwicklung der „InMoBS mobile“-App in Bezug auf das Mobilitätsverhalten und Mobilitätsverhaltensmuster sowie Probleme und Anforderungen Blinder und Sehbehinderter im innerstädtischen Straßenverkehr zu identifizieren. Zudem sollte ein Vergleich mit der bisherigen InMoBS-Stichprobe ermöglicht werden.

Betroffene konnten Fragen online über die Internetseite des DBSV (www.navigation.dbsv.org) [BD-18] oder mit Hilfe Sehender auf Schwarzschriftfragebögen, die der Zeitschrift „Gegenwart“ beigelegt waren, beantworten. Darüber hinaus wurde eine Telefonsprechstunde, in der Blinde und Sehbehinderte unter Anleitung die Fragen beantworten konnten, von der TUBS-IV angeboten.

Insgesamt konnten Fragebögen von insgesamt $N = 719$ Personen ausgewertet werden. 68 % der Pb ($n = 489$) waren blind, 14 % der Pb ($n = 100$) waren (hochgradig) sehbehindert und 18 % der Pb ($n = 130$) konnten keinem Sehstatus eindeutig zugeordnet werden. Das Erhebungsinstrument bzw. der Fragebogen umfasste 60 Fragen, die sich in die Themenbereiche „Personenmerkmale“, „Funktionen“, „Bedieneigenschaften“ und „Umgang mit Technologie“ gliederten. Es wurden geschlossene Fragen, d. h. mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten, und offene Fragen gestellt. Sofern das Frageformat und die Antwortmöglichkeiten von diesem Schema abwichen, wurde dies erläutert.



Ein zentrales Ergebnis der Online-Befragung war, dass hinsichtlich der Funktionen und Bedieneigenschaften 96 % der Pb ($n = 687$) eine zuverlässige Navigation als unbedingt notwendig angaben. Die Bedienung per Sprachausgabe ($n = 626$, 88 %) und eine einfache Handhabung ($n = 594$, 84 %) wurden ebenfalls häufig genannt. Als außerdem sehr wichtig wurden von $n = 570$ Pb (80 %) eine präzise Standortbestimmung bzw. Hausnummer-Navigation und von $n = 539$ Pb (76 %) Handlichkeit und Leichtigkeit des Systems erachtet. Weitere $n = 529$ Pb (74 %) sahen Bedarf in einer Home-, $n = 486$ Pb (68 %) in einer Favoriten-Funktion. Zusätzlich wurden von $n = 479$ Pb (67 %) häufige Routenaktualisierungen und von $n = 457$ Pb (64 %) Ansagen von (Roll-)Treppen, Unterführungen u. ä. als „unbedingt notwendig“ bewertet.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Fragebogenaktion zeigte sich, dass sie sehr gut mit denen aus den vorherigen, an deutlich kleineren Stichproben aus Braunschweig und Umgebung gewonnenen Datenerhebungen der TUBS-IV übereinstimmten. Die breite Datenbasis der Fragebogenstudie konnte als repräsentativ eingestuft werden und wies durch ihre Analogie zu den bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten Nutzerstudien auf die „Güte“ der kleinen InMoBS-Stichprobe.⁴

Telefoninterviews

Im Zeitraum 03/13 - 04/13 wurden Telefoninterviews ($N = 10$; $n = 5$ (50 %) blinde und $n = 5$ (50 %) sehbehinderte Pb) zum HMI des mobilen Endgeräts durchgeführt. Das Erhebungsinstrument [BD-19] umfasste grundsätzliche Erläuterungen zum Interviewablauf sowie zur „InMoBS mobile“-Applikation. Des Weiteren umfasste es Fragen zu soziodemographischen Daten, Eigenschaften und Einstellungen des HMI, zur Routenplanung, Navigation und zu Kreuzungen.

Ein zentrales Ergebnis der Telefoninterviews war, dass die meisten Pb ($n = 9$, 90 %) vor dem Losgehen grundsätzliche Informationen über die geplante Route wünschten, insbesondere hinsichtlich Form, Anzahl und Ausstattung der Kreuzungen, der Streckenlänge ($n = 5$ Pb, 56 % von $n = 9$) und des Routenziels ($n = 4$ Pb, 44 % von $n = 9$). 70 % der Pb ($n = 7$) wünschten, Eingaben jederzeit und aus jedem Menü heraus vornehmen zu können.⁵

Interviews und Anwendungstests

Mögliche HMI-Lösungen wurden durch Interaktion mit unterschiedlichen Nutzergruppen mit einem Prototypen der InMoBS-mobile-App erprobt. Interviews und Anwendungstests zum HMI der Smartphone-App wurden im Zeitraum 07/13 - 08/13 mit 8 Pb und im Zeitraum 02/14 - 03/14 mit 5 Pb durchgeführt.

▪ Interviews und Anwendungstests zum mobilen Endgerät I

Die Stichprobe der Interviews und Anwendungstests zwischen 07/13 – 08/13 setzte sich aus $n = 6$ (75 %) blinden und $n = 2$ (25 %) sehbehinderten Pb zusammen.

Sämtliche für die Befragungen relevanten Bedieneigenschaften und Funktionen wurden durch die Interviewleiter anhand eines Smartphones zunächst demonstriert und durch die Pb ausprobiert. Das Erhebungsinstrument [BD-20] umfasste Erläuterungen zum Interviewablauf sowie zur „InMoBS mobile“-Applikation. Des Weiteren umfasste es Fragen und Aufgaben zu soziodemographischen Daten, den jeweiligen Untermenüs der Applikation sowie einen speziell Teil für Sehbehinderte.

Die Interviews wurden anhand des Leitfadens durchgeführt, der an den damaligen Stand des HMI des mobilen Endgeräts angelehnt und aus fiktiven „Navigations-Szenarien“ aufgebaut war. Die Pb sollten sich diverse navigationsrelevante Situationen vorstellen, damit zusammenhängende Aufgaben ausführen und Fragen beantworten. Die bei der Ausführung von den Pb gemachten Fehler wurden hinsichtlich Anzahl und Art von einer Mitarbeiterin der TUBS-IV dokumentiert.

⁴ Die Ergebnisse sind detailliert in Kapitel 6.3.1 des Abschlussberichts aufgeführt.

⁵ Die Ergebnisse sind detailliert in Kapitel 6.3.2 des Abschlussberichts aufgeführt.



Mit dem im 5-Felder-Schema aufgebauten Haupt- und Navigationsmenü kamen jeweils $N = 8$ Pb (100 %) problemlos mit der Bedienung zurecht. Bei der Bedienung des Bestätigungsmenüs waren es $n = 7$ Pb (88 %). Nur die Hälfte der Pb ($n = 4$ Pb) konnte problemlos die Liste der Favoritenauswahl bedienen. Die meisten Schwierigkeiten, gemessen an der Anzahl der gemachten Fehler, traten bei der Favoritenauswahl ($n = 6$ Pb; 75 %) auf. Die Hälfte der Pb ($n = 4$; 50 %) machte mindestens einen Fehler beim Aktivieren der Funktion „Navigationsanweisungen“, jeweils $n = 3$ Pb (38 %) beim Aktivieren der Funktion der „Routeninformationen“ und der Funktion „Wo bin ich?“ sowie beim Aufrufen des Wischmenüs per Wischgeste. Jeweils $n = 2$ Pb (25 %) unterlief mindestens ein Fehler während des Doppelklicks auf „Zu Favorit navigieren“, beim erneuten Abrufen bzw. Anhören des Bestätigungstextes, beim Starten der Navigation, beim Aktivieren der Funktion „Umgebung“, beim Beenden der Navigation und beim Aufrufen des Wischmenüs per „Tastendruck“. Das Beenden der App gelang fast allen Pb ($n = 7$; 88 %) fehlerfrei.

Im Vergleich der durchschnittlichen Durchführungszeiten über alle Aufgaben dauerte das Aktivieren der Funktion „Routeninformationen“ mit 2:46 min am längsten. Das Auswählen eines Favoriten erfolgte im Durchschnitt nach 1:28 min, das Aufrufen des Wischmenüs per Tastendruck nach 1:09 min. Die Aktivierung der Funktion „Umgebung“ wurde durchschnittlich nach 0:43 min, die der Funktion „Navigationsanweisungen“ nach 0:32 min erreicht. Das Beenden der Navigation gelang durchschnittlich in 0:21 min, das Aktivieren der Funktion „Wo bin ich?“ in 0:14 min und das Doppelklicken auf „Zu Favorit navigieren“ in 0:12 min. In durchschnittlich 0:10 min schafften es die Pb, das Wischmenü per Wischgeste aufzurufen, in 0:07 min den Bestätigungstext erneut auszulösen und ihn anzuhören, in 0:03 min die Navigation zu starten und in 0:01 min die Applikation vollständig zu beenden.

Negative Aspekte des Hauptmenüs sahen $n = 3$ Pb (38 %) in einer suboptimalen Anordnung der Funktionen im 5-Felder-Schema und $n = 1$ Pb (13 %) in Größe/Position/Verhältnis der Buttons (zueinander). An der Favoritenliste kritisierten $n = 4$ Pb (50 %) eine nicht eingängige, zu wenig detaillierte Struktur der Gliederung. Weitere $n = 2$ Pb (25 %) störten fehlende Signale/Hinweise beim Bedienen der App und jeweils $n = 1$ Pb (13 %) äußerte Bedienschwierigkeiten aufgrund mangelnder Übung, das z. T. erforderliche Scrollen, das limitierte Anzeigen von vier Favoriten auf einmal, Größe/Position/Verhältnis der Buttons (zueinander) und einen zu kleinen Schriftgrad für Sehbehinderte.⁶

Die Ergebnisse der Telefoninterviews führten zur Ableitung verschiedener Obermenüs (Hauptmenü, Kreuzungsmenü und Wischmenü) und Untermenüs für das HMI des mobilen Endgeräts. Die einzelnen Menüs umfassten verschiedenen Funktionen.⁷

▪ Interviews und Anwendungstests zum mobilen Endgerät II

Die Interviews und Anwendungstests zum HMI des mobilen Endgeräts zwischen 02/14 – 03/14 wurde mit $N = 5$ blinden Pb durchgeführt. Das Erhebungsinstrument [BD-23] umfasste grundsätzliche Erläuterungen zum Interviewablauf, Fragen zu soziodemographischen Daten und Angaben zur Bedienung der InMoBS-Applikation auf dem Smartphone. Des Weiteren umfasste es Aufgaben zum Haupt-, zum Navigations- und zum Wischmenü.

Die Pb wurden außerdem zur Verständlichkeit der zum damaligen Zeitpunkt im Kreuzungsmenü verwendeten Begriffe, zur Möglichkeit, sinnvoll eine Spracheingabefunktion zu aktivieren, und zur bevorzugten Höhe der Funktionsfelder befragt. Die Interviews wurden anhand des Leitfadens durchgeführt, der an den damaligen Stand des HMI der „InMoBS mobile“-Applikation angelehnt und aus fiktiven „Navigations-Szenarien“ aufgebaut war. Die Pb sollten sich diverse navigationsrelevante Situationen vorstellen, damit zusammenhängende Aufgaben ausführen und Fragen beantworten. Die bei der Ausführung von den Pb gemachten Fehler wurden hinsichtlich Anzahl und Art von einer Mitarbeiterin der TUBS-IV dokumentiert.

⁶ Die Ergebnisse sind detailliert in Kapitel 6.3.3 des Abschlussberichts aufgeführt.

⁷ Die einzelnen Menüs werden in Kapitel 6.3.4 des Abschlussberichts ausführlich beschrieben.



Der damalige Entwicklungsstand des HMI der „InMoBS mobile“-Applikation stieß im Gesamten auf Zustimmung bei den Pb. Schwierigkeiten und Fehler (jeweils $n = 3$ Pb; 60 %) traten am häufigsten bei folgenden Aufgaben auf:

- nach Aktivieren der Funktion „Ziel frei wählen“ Durchscrollen der Adressliste per Button oder Wischgeste und Auswahl des Ziels „Karlstraße“ per Doppelklick
- im Navigationsmenü primär die Abgrenzung der Funktionen „Wo geht es lang?“ und „Was kommt noch?“

Kritisch äußerten $n = 3$ Pb (60 %) gegenüber der Funktion „Ziel frei wählen“, dass sie Bedienungsschwierigkeiten durch mangelnde Übung gehabt hätten. Jeweils $n = 2$ Pb (40 %) gaben eine fehlerhafte Ausführung des Doppelklicks auf den „nach unten“-Button an bzw. kritisierten Geräteeinstellungen wie Haken und zu sensibles Reagieren. Zu Fehlern im Navigationsmenü kam es in 60 % ($n = 3$) der Fälle durch die Auswahl falscher Funktionen im 5-Felder-Schema und in 40 % der Fälle durch unsystematisches Klicken irgendwo auf dem Display. Jeweils $n = 1$ Pb (20 %) kritisierten eine missverständliche Bezeichnung der Felder und „Hintergrundtexte“, Bedienungsschwierigkeiten durch mangelnde Übung sowie unsystematische Doppelklicks irgendwo auf den Bildschirm.

Von einer bspw. unter Lärmeinfluss erschwerten Spracherkennung beim Setzen von POIs gingen $n = 3$ Pb (60 %) aus. Nach Ideen zur Aktivierung einer Spracheingabefunktion gefragt, nannten $n = 3$ Pb (60 %) eine Taste bzw. einen Button oder Menüpunkt in der App, $n = 2$ Pb (40 %) das Schütteln des Smartphones und $n = 1$ Pb (20 %) eine 2-Finger-Geste von oben nach unten.

Nach entsprechender Demonstration war es $n = 3$ Pb (60 %) egal, ob in der Applikation gleich oder unterschiedlich hohe Funktionsfelder verwendet würden, $n = 2$ Pb (40 %) bevorzugten gleich hohe Felder.⁸

▪ Abgeleitete Anforderungen an das mobile Endgerät

Aufgrund der Ergebnisse der Interviews und des Anwendungstests wurden verschiedene Änderungen vorgenommen. U. a. wurde das „Listenprinzip“ im Hinblick auf eine vereinfachte Bedienung umgestaltet. Die zuvor intuitiv schwer zu differenzierenden Funktionen „Wo geht es lang?“ und „Was kommt noch?“ wurden in „Wo geht es jetzt lang?“ und „Was kommt noch bis zum Ziel?“ umbenannt. Im Wischmenü konnte fortan eine Unterteilung von POIs in „als privaten POI setzen“ bzw. „als Hindernis setzen“ vorgenommen werden. Bezüglich Querungshilfen mit Akustik (und Vibration) wurde durch „auf Anforderung“ eine akustische Angabe darüber ergänzt, ob ein Taster an einer Querungshilfe verfügbar ist, der zum Auslösen des Signals gedrückt werden muss. Bezüglich der Aktivierung einer Spracheingabefunktion wurde das (eindeutige) Schütteln als praktikabelste Lösung erachtet. Die Funktionsfelder wurden unterschiedlich hoch gelassen und im Hauptmenü die Funktion „InMoBS home Favoriten“ analog zum InMoBS-Webportal in „Meine Routen“ umbenannt. Das aufgrund der Ergebnisse der Interviews und Anwendungstests modifizierte HMI der „InMoBS mobile“-Applikation ist in zentralen Aspekten in Abschnitt 6.5 des Abschlussberichts dargestellt.

Webportal

TUBS-IV und TRV arbeiteten kontinuierlich an der Gestaltung und Funktionalität eines nutzerzentrierten HMI des Webportals. Allgemein stand die TUBS-IV hierbei TRV aus verkehrspsychologischer und nutzerzentrierter Sicht beratend zur Seite. Im Speziellen hat sie die durch TRV jeweils zur Verfügung gestellten Entwicklungsstände umfassenden Reviews unterzogen und entsprechende Implikationen für Änderungen, Ergänzungen etc. zur Implementierung an TRV zurückgemeldet.

⁸ Die Ergebnisse dieser Interviews und des Anwendungstests zum HMI des mobilen Endgeräts sind detailliert im Kapitel 6.4.4 des Abschlussberichts aufgeführt.



Zum HMI des Webportals wurden zwischen 01/14 - 03/14 Interviews und Anwendungstests durchgeführt. Hierbei sollten zentrale Aspekte wie Barrierefreiheit, intuitive Bedienbarkeit, Sinnhaftigkeit des Seitenaufbaus, Verständlichkeit und Akzeptanz erfragt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Erhebungsinstrument in Form eines Interviewleitfadens [BD-21] entwickelt, das an den damaligen Stand des HMI des „InMoBS home“-Webportals angelehnt und aus fiktiven „Navigations-Szenarien“ aufgebaut war. Die $N = 7$ Pb ($n = 4$ Blinde und $n = 3$ Pb mit Sehrest) sollten sich verschiedene navigationsrelevante Situationen vorstellen und nach Ausprobieren der dafür relevanten Bereiche des Webportals damit zusammenhängende Aufgaben ausführen und Fragen beantworten. Die bei der Ausführung von den Pb gemachten Fehler wurden hinsichtlich Anzahl und Art von einer Mitarbeiterin der TUBS-IV dokumentiert.

Das spontane Erlernen und Bedienen neuer bzw. unbekannter Technik gestaltet sich für Blinde und Sehbehinderte i. d. R. schwierig. Deshalb wurde die private Hard- und Software (z. B. Computer mit individuellen Konfigurationen) der Pb verwendet. Hierdurch lag jedoch ein erweitertes Spektrum an (störenden) Einflussgrößen auf den Interviewablauf vor. Die Probleme, die aufgrund dessen während der Probandentermine auftraten, konnten ad hoc nicht geklärt werden und führten zu Unklarheiten. Diese Unklarheiten führten zunächst zu einer Modifizierung⁹ des Interviewleitfadens, machten die Fortsetzung der Datenerhebungen und eine damit einhergehende Auswertung aber letztendlich unmöglich.

Aufgrund dessen wurde nach Rücksprache zwischen TUBS-IV, TUBS-IVS und TRV das Vorgehen geändert. Aufbauend auf den vorliegenden Interviewgrundlagen und –ergebnissen führten TUBS-IVS und TRV zusätzlich spezielle Expertentests mit Betroffenen im kleinen Kreis durch. Hierbei wurden spezifische technische Fragen betrachtet. Anschließend wurden die vorläufigen Ergebnisse der TUBS-IV sowie die von TUBS-IVS und TRV zusammengeführt. Hieraus wurden nach ausführlicher Rücksprache der drei Projektpartner Implikationen für das weitere Vorgehen abgeleitet.

3.1.6 AP 6000 - Systemintegration

Barrierefreiheit und Zuverlässigkeit des InMoBS-Systems wurden zwischen Juni und August 2014 in Zusammenarbeit mit dem DLR-TS durch sehende Hilfskräfte der TUBS-IV getestet.

Insbesondere wurde geprüft, ob die auf dem Google Nexus 5 installierte InMoBS-Applikation die richtigen Ansagen bzw. Ausgaben an den vorgesehenen Routenpunkten der Teststrecke lieferte. Des Weiteren wurde die Funktionalität bzw. Tauglichkeit der einzusetzenden Hardware (z. B. Pulsuhr und zugehöriger Brustgurt) getestet.

Für die zu testenden Funktionen wurden von der TUBS-IV Navigationsaufgaben geplant, Dokumentationsbögen und entsprechende Testrouten/-punkte im Webportal erstellt. Diese wurden unterwegs über den Menüpunkt „Meine Routen“ des Hauptmenüs der Smartphone-App abgerufen.

Im Detail bezogen sich die Funktionen insbesondere darauf, ob das Grün-Signal der LSA in Form eines akustischen Signals auf dem Smartphone wiedergegeben wurde. Es wurde geprüft, ob das Grün-Signal mit der akustisch-taktilen Ausgabe der Querungshilfen für Blinde und Sehbehinderte an den LSA übereinstimmt und ob die App dementsprechend zum richtigen Zeitpunkt die notwendige akustische Ausgabe lieferte.

Des Weiteren wurde geprüft, ob sich das Kreuzungsmenü an den richtigen Streckenpositionen öffnete und schloss und ob es automatisch und auf Anfrage Informationen zu Ampeln, Kreuzungen, Bodeneigenschaften und zu den Navigationsanweisungen im Kreuzungsbereich ausgab. Die Korrektheit der Ansagen im Navigationsmenü, welches aus den Funktionen „Was ist im Umfeld?“, „Wo bin ich?“, „Was kommt noch bis zum Ziel?“ und „Wo geht es jetzt lang?“ bestand, wurde ebenfalls geprüft. Ferner wurde getestet, ob Abbiegeanweisungen, Angaben über parallel verlaufende oder kreuzende Radwege, öffentliche und private POIs sowie Hindernisse,

⁹ Die modifizierte Version umfasste anstelle der fiktiven „Navigations-Szenarien“ der ersten Version konkrete Aufgaben, die die Pb ausführen und anschließend bewerten sollten.



Spurhaltungsinformationen und die Option, beim Abweichen von der Route auf Kurs zurückgeführt zu werden, korrekt ausgegeben wurden.

Die Ergebnisse dieser System-Funktionstests wurden von der TUBS-IV dokumentiert und an das DLR-TS und TRV zur Fehleranalyse und –korrektur weitergeleitet.

3.1.7 AP 7000 - Demonstration und Bewertung

Erprobung und Bewertung

Die Gesamtsystemevaluationen durch Blinde und Sehbehinderte wurden im Zeitraum 16.09.14 bis 23.10.14 mit $N = 8$ Pb durchgeführt. Von ihnen waren $n = 5$ Pb (63 %) blind und $n = 3$ Pb (38 %) besaßen einen (geringen) Sehrest.

Die Pb liefen zweimal eine ca. 1.900 m lange Teilstrecke des Braunschweiger Stadtrings. An einem Termin liefen die Pb die Strecke mit Unterstützung der Navigations-App. Am anderen Termin liefen sie die Strecke ohne Systemunterstützung. Für letzteren Termin wurde blinden Pb eine taktile Karte und sehbehinderten Pb eine kontrastreiche Karte der Route zur Verfügung gestellt. Die Strecke wurde einmal mit und an dem anderen Termin gegen den Verkehrsfluss gelaufen. Bei den Terminen mit Navigations-App wurde den Pb die Bedienung von InMoBS mobil und InMoBS home zunächst erläutert und sie konnten die Bedienung der Systeme üben.

Subjektive Daten wurden mit Interviewleitfäden ([BD-25] – [BD-28]) erhoben. Diese enthielten offene Fragen und Fragen, die auf einer 5-stufigen Antwortskala zu beantworten waren. An drei Routenpunkten wurden Befragungen zum Verlauf der letzten Teilstrecke durchgeführt und am Zielpunkt zusätzlich Fragen zum Verlauf der Gesamtstrecke gestellt. Die Interviews wurden mit einem Diktiergerät aufgezeichnet. Es wurde das Empfinden hinsichtlich der Bewältigung der Aufgabe die Route mit und ohne Navigations-App zu laufen erhoben. Allgemeine Mobilitätsaspekte und was die Pb an der Navigations-App und dem Webportal gut und weniger gut fanden wurden ebenfalls erfragt. Objektive Daten wurden mit dem an das GNSS-Gerät (Alberding A07) gekoppelte Smartphone (Google Nexus 5) und der Pulsuhr (Forerunner 110 der Firma Garmin) mit dazugehörigem Brustgurt erhoben. Fortlaufend wurden die Herzfrequenzrate (beats per minute, bpm), die Lauf- bzw. Gehgeschwindigkeit (m/s) und die gelaufene Streckenlänge (m) erfasst.

Die Durchführungsmethode und die Ergebnisse der Gesamtsystemevaluation sind in Kapitel 8.5 des Abschlussberichts ausführlich beschrieben. Generell bewerteten alle Pb die InMoBS-Navigations-App positiv. Besonders gut gefielen die Unterstützung an LSA ohne Querungshilfen, der Informationsgehalt des Kreuzungsmenüs, das Ansagen von Radwegen und einzelne Funktionen, wie die Option „Wo bin ich?“. Bei dieser Option wurde die aktuelle Position auf der Route angesagt. An InMoBS home gefielen den Pb besonders die relativ autonome Bedienbarkeit und die Orientierung und Navigation auf der Webseite. Fast alle Pb bewältigten die Bearbeitung der Aufgaben im Webportal. Kritisiert wurden von allen Pb die durch ungenaue Ortung verursachten verzögerten Ansagen. Außerdem war die Bedienung der Systeme aufgrund mangelnder Erfahrung und Übung mitunter schwierig. Hinsichtlich der objektiven Daten unterschieden sich die Gruppen mit und ohne Navigations-App nicht wesentlich.

Handlungsempfehlung

Nutzerintegration

Von Nutzerseite, aus versuchsplanerischer und verkehrspsychologischer Sicht lassen sich verschiedene Handlungsempfehlungen ableiten.

▪ **Testzeiträume und Stichprobe**

In Folgeprojekten sollten ausreichend lange Zeiträume für Systemfunktionstests und anschließende Evaluationstests realisiert werden. Zudem sollte genügend Zeit zwischen beiden Testreihen geplant werden, um technische Probleme beheben und Rückmeldungen sowie Op-



timierungsvorschläge seitens der Systemtester prüfen und gegebenenfalls umsetzen zu können. Aufgrund der im vorliegenden Projekt wiederholt aufgetretenen technischen Probleme, insbesondere hinsichtlich der Ortungsgenauigkeit, konnten diese Anforderungen nur eingeschränkt realisiert werden. Einerseits mussten die Systemfunktionsvortests und die Evaluationsvortests wiederholt verschoben, andererseits ihr Durchführungszeitraum auf Grund des nahenden Projektendes beträchtlich gekürzt werden. Bspw. musste der Durchführungszeitraum der Evaluationstests mit blinden und sehbehinderten Personen von geplanten sechs Monaten auf sechs Wochen gekürzt werden. Dies bedeutete eine Reduzierung der für die Evaluation geplanten Probandenzahl. Daher sollten hinsichtlich der Aussagekraft von Ergebnissen in Folgeprojekten desselben Formats insgesamt längere Testzeiträume mit größeren Stichprobenumfängen realisiert werden.

Dabei sollte insbesondere berücksichtigt werden, dass die Endnutzer in der Regel nur ein geringes technisches und inhaltliches Grundlagenwissen besitzen, was gerade in frühen Stadien der Entwicklung eines derartigen Assistenzsystems zu erhöhtem Erklärungsaufwand führt. Andererseits können nur so bereits sehr frühzeitig die besonderen Anforderungen durch die Nutzer berücksichtigt und notwendige spätere Veränderungen vermieden werden. Für diese frühen Stadien genügen erfahrungsgemäß auch relativ wenige Nutzer. Ein auf diese Weise optimierter Prototyp kann dann in einem zweiten Schritt mit einer größeren Gruppe von Nutzern untersucht werden.

▪ Nutzerbelastung

Eine weitere Empfehlung für Folgeprojekte ist die Vernetzung mit Projekten, die zeitgleich inhaltlich ähnliche Aspekte bzw. Fragestellungen betrachten. Einerseits könnte dies neue Impulse für das eigene Projekt bieten, andererseits kann dies zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Nutzerbelastungen, z. B. durch parallel stattfindende inhaltlich ähnliche Befragungen, beitragen.

Generell sollte bei der Planung von Evaluationsrouten das übliche Mobilitätsverhalten der Gruppe der blinden und sehbehinderten Menschen berücksichtigt werden. Die Teststrecke in InMoBS war ca. zwei Kilometer lang. Das Laufen dieser Strecke stellte für einige Pb aufgrund ihrer üblichen Laufgewohnheiten sowie ihrer Konstitution und Kondition eine körperliche Anstrengung dar. Da diese Personengruppe vorwiegend Menschen ab dem mittleren Lebensalter umfasst, die auf Grund ihrer Blindheit oder Sehbehinderung im Alltag eher kurze und bekannte Wege laufen, sollten für Evaluationstests deshalb eher kürzere Strecken geplant werden. Darüber hinaus sollte auch berücksichtigt werden, dass Blindenführhunde unter Umständen an unterschiedlich lange Strecken gewöhnt sind. Bspw. zeigten sich bei einem Blindenführhund während eines Evaluationstests Unzuverlässigkeiten bei der Führung. Ob diese auf die Länge der Teststrecke oder auf generelle Eigenschaften des Hundes zurückzuführen waren, ist an dieser Stelle nicht beantwortbar. Seitens der Pb wurde vermutet, dass ihr Blindenführhund neben dem gewohnten mehrstündigen Einsatz vor Beginn der Studie durch die zusätzliche Testsituation stark gefordert und angestrengt war.

▪ Nutzerwünsche

Aufgrund aller während des Projekts durchgeführten Nutzerstudien, insbesondere der Ergebnisse der Nutzerstudie zur Evaluation der Navigations-App, können folgende weitere Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Hinsichtlich der Bedienung des Smartphones sollte die Lautstärke der Sprachausgabe des Gerätes verbessert bzw. den Umgebungsgeräuschen entsprechend derart angepasst werden, dass die Mitnahme eines externen, für den Outdoor-Bereich geeigneten Lautsprechers überflüssig wird. In Vortests zeigte sich, dass es selbst für Personen, die das Smartphone in den Händen hielten, aufgrund von Straßenverkehrsgeräuschen mitunter schwierig war, Ansagen der App eindeutig zu verstehen.

Dass das Smartphone während der gesamten zu laufenden Strecke in der Hand gehalten und der Laufrichtung entsprechend ausgerichtet werden musste, gestaltete sich mitunter als wenig komfortabel. Eine in einer frühen Phase des InMoBS-Projekts diskutierte Befestigung des



Smartphones bzw. der App am Oberarm könnte in einem Folgeprojekt gegebenenfalls wieder aufgegriffen werden.

Hinsichtlich der Funktionen der Navigations-App wurden von Pb wiederholt folgende Wünsche geäußert. Die Ansage parallel verlaufender Fahrradwege wurde durchgehend als positiv bewertet. Verbessert werden könnte diese durch die Information, auf welcher Seite aus Sicht des Nutzers der Fahrradweg verläuft. Ebenfalls häufig gewünscht wurde die Integration eines Hindernissensors, also die Erkennung von Hindernissen (z. B. Poller oder Hydranten), ohne dass diese vorher in der App bzw. im Webportal als Hindernis gesetzt werden müssen.

Die Möglichkeit der Installation der Navigations-App auf ein nicht androidbasiertes Mobilgerät wurde von den meisten Pb erfragt. In der vorliegenden Stichprobe besaß die Mehrheit der Pb ein Mobilgerät mit dem Betriebssystem iOS. Ob dies eine regionale Besonderheit dieser Probandengruppe darstellte oder dieses Betriebssystem in dieser Personengruppe generell favorisiert wird, sollte beantwortet und bei entsprechendem Bedarf gegebenenfalls eine Navigations-App für nicht androidbasierte Mobilgeräte entwickelt werden.

Die Pb wiesen unterschiedliche Grundkenntnisse im Umgang mit Smartphones und dem Webportal auf. Zur Reduzierung von „Berührungsängsten“, z. B. im Umgang mit Technologien mit Touchscreen-Smartphones, könnte über das Angebot bzw. die Durchführung von Nutzer-schulungen nachgedacht werden.

Weitere Wünsche von Nutzerseite waren die Integration von Informationen des ÖPNV in die Assistenzfunktionen sowie die Möglichkeit der Indoor-Navigation (z. B. in Bahnhofsgebäuden) mithilfe der Navigations-App.

Das zentrale Problem im InMoBS-Projekt stellten die mitunter beträchtlichen Ortungs-ungenauigkeiten dar. Diese wurden in unterschiedlich starker Ausprägung bei allen Probanden-versuchen beobachtet. Alle Pb wünschten deshalb eine Verbesserung der Ortungsgenauigkeit. Insbesondere in diesem Anwendungsfeld ist eine präzise Ortung unumgänglich. Darüber hinaus wäre es hinsichtlich der Positionsbestimmung für den Nutzer komfortabler, wenn auf zusätzliche Hardware, wie z. B. das GNSS-Gerät, welches am Oberarm der Pb befestigt wurde, verzichtet werden könnte.

Grundsätzlich bewerteten alle Pb das Konzept der im InMoBS-Projekt entwickelten Navigations-App als positiv. Der Entwicklungsstand des Prototypens zum Zeitpunkt der Nutzerstudie wurde vor allem aufgrund der Ortungsprobleme, welche mitunter zu falschen und teilweise beträchtlich verzögerten Ansagen der Navigations-App führten, jedoch durchgehend als problematisch und die Verkehrssicherheit gefährdend eingestuft. Unter der Bedingung des Behebens der Ortungsprobleme wurde von Nutzerseite jedoch mehrfach geäußert, dass die Navigations-App die Lebensqualität blinder und sehbehinderter Menschen durchaus beträchtlich verbessern könnte. Aber nicht nur der Gruppe der blinden und sehbehinderten Menschen, sondern auch der Gruppe älterer sehender Fußgänger könnte die Navigations-App mehr Sicherheit im Straßenverkehr bieten.

Systemarchitektur

Zu Beginn des Entwicklungsprozesses von InMoBS musste eine Systemarchitektur identifiziert und definiert werden, die sich an unterschiedliche interdisziplinäre Forschungsfelder und sich in Bewegung befindlichen Systemanforderungen flexibel und effizient anpassen konnte. Darüber hinaus musste die gewählte Systemarchitektur nicht nur den explorativen, wissenschaftlichen Bedürfnissen eines Forschungsprojekts genügen, sondern auch den schrittweisen Übergang zu einem Systembetreiber bestmöglich gewährleisten. Im Verlauf des Forschungsprojekts wurden durch iterative, nutzerzentrierte Entwicklungsstufen Schnittstellen zur Datenkommunikation und Strategien der Datenhaltung erprobt, optimiert oder aber auch verworfen und durch effizientere Ansätze abgelöst. Durch eine konsequente und sukzessive Weiterentwicklung der Gesamtarchitektur wurde ein auf das AIM-Forschungsfeld begrenzter, funktionsorientierter Prototyp geschaffen, der den hohen Anforderungen einer Fußgängerassistenz für Blinde und Sehbehin-



derte gerecht wurde und eine Evaluation des Gesamtsystems durch die Nutzergruppe ermöglichte.

Mit den bis zum Projektende gesammelten Erfahrungswerten sollte die entwickelte Architektur in Zusammenarbeit mit einem potenziellen Systembetreiber, wie z.B. einem Nahverkehrsversorger überarbeitet und in ein bestehendes Auskunftssystem und Planungssystem überführt werden. Dabei müssen die in InMoBS entwickelten Ansätze zur Erlangung einer barrierefreien Lösung berücksichtigt werden. Im Zuge der Systemmigration zu einem kommerziellen System sollte die bestehende Architektur von nicht länger benötigten forschungsorientierten Entwicklungsseitensträngen befreit und eine klare, betriebsorientierte Spezifikation erstellt werden. Das aus diesem Prozess entstehende Gesamtsystem muss hinsichtlich funktionaler Systemzusammenhänge und dem Zusammenwirken von Hard-, Software sowie den Schnittstellen analog zu InMoBS mit standardisierten Methoden definiert werden. Das Reduzieren des Systemdesigns auf die absolut notwendigen Algorithmen und Softwarefunktionen sowie die Systemmodellierung mittels etablierter Methoden aus Wissenschaft und Industrie ist Voraussetzung für die Bereitstellung einer marktnahen Lösung, welche durch interessierte Unternehmen, Städte, Kommunen oder Forschungseinrichtungen eingesetzt oder weiterentwickelt werden kann. Bei dem Entwurf der Systemarchitektur sollte besonderes Augenmerk auf die Skalierbarkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit gelegt werden. Ein kommerzielles System muss dabei im nächsten Schritt ein großes geographisches Gebiet mit hoher Nutzeranzahl, wie z. B. eine Großstadt, abdecken können. Gleichzeitig müssen die hohen Anforderungen der Nutzergruppe weiterhin im Vordergrund der Entwicklung stehen.

Lichtsignalanlage

▪ Siemens-LSA

Der durch Siemens entwickelte SCALANCE W 786 WLAN Access Point konnte im AIM-Testfeld unter realen Betriebsbedingungen installiert und prototypisch erprobt werden. Dabei zeigten sich im Kontext der Datenkommunikation teils Fehlerbilder, die zur Einschränkung der Informationsverfügbarkeit geführt haben. Im Zuge der Hard- und Softwareentwicklung zur Übertragung von Freigabe- und Sperrzeitinformationen mittels WLAN wurden zahlreiche Aspekte zur Betriebssicherheit sowie zur Einhaltung bestehender Sicherheitsnormen analysiert und dokumentiert. Um innerhalb des Projektzeitrahmens die gewünschten funktionalen Anforderungen zu erfüllen, wurden nicht alle Aspekte der Betriebssicherheit berücksichtigt und umgesetzt. Daher wird empfohlen, die im Gesamtprojektbericht beschriebenen sicherheitsrelevanten Inhalte weiter zu analysieren und im Zuge kommerzieller Systeme zu implementieren. Wichtigster Punkt ist dabei die Sicherstellung der fehlerfreien Übertragung und Verarbeitung von Signalzustandsinformationen auf mobilen Empfangsgeräten. So müssen in Zukunft Strategien angewendet werden, die seitens des Empfangsgerätes die Validität der auszugebenden Informationen sicherstellen können.

Neben den genannten sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten wurden in InMoBS die Installations- bzw. Rüstkosten zur Ausstattung von signalisierten Knotenpunkten mit kompatibler WLAN-Technik als wesentliches Hemmnis für städtische LSA-Betreiber identifiziert. Ein wesentlicher Schlüssel für eine möglichst schnelle Verbreitung der WLAN-Kommunikation ist die Integration der entwickelten Technologie mit weiteren Funktionen. So müssen in Zukunft Systeme geschaffen werden, die zeitgleich Fußgängern mit und ohne Sehbehinderung, Radfahrern, Kraftfahrzeugen sowie den Betreibern selbst einen Nutzen aus der zur Verfügung stehenden Kommunikation stiften können. Einer der Use Cases zur Einführung könnte hierbei der Ersatz für bestehende Bevorrechtigungssysteme des ÖPNV (Straßenbahnen und Busse) sein, die in vielen Fällen noch auf analoger Funktechnik basieren. Dabei müssen die entwickelten Systeme zur Minimierung der Installationskosten möglichst kompatibel zu bestehenden Bestandsanlagen (retrofit) gestaltet werden.



▪ **Forschungs-LSA**

Die im Projekt durch die TU Braunschweig weiterentwickelte SIGNOS-SetTop-Box [BD-84] zur Ansteuerung kompatibler LSA-Steuergeräte hat InMoBS einen außerordentlich großen Nutzen gestiftet. So ermöglichte das für den Forschungseinsatz konzipierte System eine flexible und prototypische Erprobung der auf Consumer-WLAN adaptierten Funkkommunikation mit dem mobilen Endgerät. Seitens der TU Braunschweig wird das entwickelte System fortlaufend in anderen Car2X-Projekten eingesetzt werden. Dabei ermöglicht die modulare SetTop-Box eine Adaption an projektspezifische Anforderungen. Ein bedeutendes zukünftiges Handlungs- und Forschungsfeld ist die verkehrsmittelübergreifende Nutzung des kooperativen Kommunikationsansatzes. So bietet ein Informationsaustausch zwischen Fahrzeug und z.B. Fußgängern oder Radfahrern ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Verkehrssicherheit.

3.2 Finanzen

Der zahlenmäßige Nachweis wird in diesem Schlussbericht als vertraulich erachtet und ist somit nicht Bestandteil des öffentlichen Schlussberichts des Teilprojekts der TU Braunschweig.

3.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Projekt geleisteten Arbeiten wurden inhaltlich gemäß der Vorhabenbeschreibung durchgeführt. Notwendigkeit bzw. Angemessenheit der Arbeiten wurden bereits im Projektantrag bzw. der Vorhabensbeschreibung ausführlich dargelegt.

3.4 Nutzen und Verwertbarkeit

Das in Forschungsprojekt InMoBS entwickelte prototypische System stellt einen wichtigen Schritt zur tatsächlichen Umsetzung eines kooperativen Systems im öffentlichen Raum dar. Der zugrundeliegende Anwendungsfall einer Navigationshilfe für Blinde und Sehbehinderte konnte den erwarteten großen Nutzen bei der Anwendergruppe in der explorativ durchgeführten Evaluationsstudie unter Beweis stellen. Mit der erfolgreichen Erprobung und Umsetzung des in InMoBS entwickelten Systems wurden Grundlagen für weitere Forschungsprojekte sowie kommerzielle Produkte geschaffen.

Ein wesentliches Verwertungspotenzial geht von der in InMoBS entwickelten digitalen Kartengrundlage aus, an die Blinde und Sehbehinderte besonders hohe Anforderungen stellen. So dient ein exaktes Netzmodell als Referenz für einen durchgängigen Navigationsprozess, bei dem der Nutzer feinteilige Informationen seiner Umgebung erhält und möglichst präzise auf Kurs gehalten wird. Aus dem entwickelten Ansatz zur Erstellung eines digitalen Gehwegenetzmodells entspringt ein Bündel von Anwendungsmöglichkeiten sowie weiterer Entwicklungsbedarf in Forschung und Wirtschaft. So können aus den Katasterdaten abgeleitete Netze für eine allgemeine Fußgängernavigation, z.B. für touristische Zwecke oder dem Stadtmarketing genutzt werden. Im Bereich der Universitäten Forschung können die Ideen zur Generierung von Gehwegenetzen im Kontext der Fußgängersimulation Anwendung finden. Die Nutzung der standardisierten Eingangsdaten gewährleistet dabei grundsätzlich eine Übertragbarkeit auf andere Städte und Kommunen.

Während der Entwicklung eines digitalen Netzmodells für das Forschungsprojekt konnten seitens des TUBS-IVS neue Kompetenzen im Umgang digitaler georeferenzierter Daten gewonnen werden, welche effektiv in Anschlussprojekten sowie in Veröffentlichungen Verwertung finden. Gleiches gilt für die Entwicklung und Implementierung von Routingalgorithmen auf Grundlage von OpenData.

Neben der digitalen Kartengrundlage entspringt aus der entwickelten WLAN-Kommunikationstechnik ein ebenfalls bedeutendes Verwertungspotenzial. Dies gilt zugleich für die von Siemens und der TU Braunschweig entwickelten WLAN Kommunikationseinheiten. Die im Projekt durch die TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit dem Ifak Magdeburg weiterentwickelte SIGNOS-SetTop-Box [BD-84] zur Ansteuerung kompatibler LSA-Steuergeräte hat in



InMoBS einen außerordentlich großen Nutzen gestiftet und ermöglicht auch in Zukunft für den Forschungseinsatz eine flexible und prototypische Erprobung der auf Consumer-WLAN-adaptierter Funkkommunikation. Seitens des TUBS-IVS kann das entwickelte System fortlaufend in weiteren Car2X-Projekten eingesetzt werden. Dabei ermöglicht die modulare SetTop-Box eine Adaption an projektspezifische Anforderungen. Ein bedeutendes zukünftiges Handlungs- und Forschungsfeld ist die verkehrsmittelübergreifende Nutzung des kooperativen Kommunikationsansatzes. So bietet ein Informationsaustausch zwischen Fahrzeug und z. B. Fußgängern oder Radfahrern ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Verkehrssicherheit.

Im InMoBS-Projekt gewonnene Erkenntnisse und Ergebnisse sind für die TUBS-IV insbesondere von wissenschaftlichem Nutzen und finden bspw. in Veröffentlichungen Verwertung. Die direkte Zusammenarbeit mit der Nutzergruppe blinder und sehbehinderter Menschen ermöglichte ein besseres Verständnis hinsichtlich spezifischer Herausforderungen und Schwierigkeiten, denen Blinde und Sehbehinderte im Straßenverkehr begegnen. Hierzu zählen das Queren von Kreuzungen ohne LSA, das Queren von Kreuzungen mit Mittelinseln, unterschiedliche Bordsteinhöhen, parallel zum Gehweg verlaufende Radwege, auf dem Gehweg befindliche Hindernisse (z. B. Hydranten oder Poller) oder eine nur auf farbliche Unterschiede der Wegplatten basierende Abgrenzung zwischen Fußgänger- und Radweg. Darüber hinaus konnte ein besseres Verständnis darüber wie Blinde und Sehbehinderte spezielle Umgebungsmerkmale wahrnehmen und anhand welcher Merkmale die Orientierung im Straßenverkehr erfolgt gewonnen werden. Diese Erkenntnisse können aus verkehrspsychologischer Sicht im verkehrsplanerischen Kontext in Anforderungen an eine blindengerechte Gestaltung Verwertung finden.

3.5 Abgrenzung von anderen Projekten

Es ist kein Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt.



3.6 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Veranstaltung	Datum, Ort	Beitrag	beteiligte Partner
Teap (Tagung experimentell arbeitender Psychologen)	24.-27.03.2013, Wien (Österreich)	Vortrag/Paper	TUBS-IV
TV Bericht	19.04.2013, NDR	Bericht im NDR-Programm „Hallo Niedersachsen“	TUBS-IV
eawop 2013 (16th congress of the European Association of Work and Organizational Psychology)	22.-25.05.2013, Münster	Vortrag/Paper	TUBS-IV
AAET 2014 (Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete System für Transportmittel)	12.-13.02.2014, Braunschweig	Vortrag/Paper	TUBS-IV
1. Deutscher Fußverkehrskongress	15.-16.09.2014, Wuppertal	Vortrag/Paper	TUBS-IV
49. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie	21.-25.09.2014, Bochum	Vortrag und Fachgruppensitzung Verkehrspsychologie	TUBS-IV
Zeitschrift: Cognition, Technology & Work	geplant	Übersichtsartikel	TUBS-IV
Zeitschrift: International Transportation 1/2015	geplant	Übersichtsartikel	TUBS-IVS/IV

Tabelle 3-10: Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen

▪ Ende des Dokuments ▪



4 Referenzen

4.1 Bezugsdokumente aus dem Projekt InMoBS

- [BD-1] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS_AP1100_Abkuerzungsverzeichnis. 2013
- [BD-2] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS_AP1100_Begriffsverzeichnis. 2013
- [BD-3] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS Anforderung an die digitale Straßenkarte für ein barrierefreies Routing. Braunschweig, 2012
- [BD-4] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS Anforderungen zur Gestaltung barrierefreier Webinhalte. Braunschweig, 2012
- [BD-5] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS Anforderung an die InMoBS-Infrastruktur. Braunschweig, 2012
- [BD-6] Transver GmbH & Projektpartner: InMoBS_Testkonzept_AP6000. 2013
- [BD-7] Knust, M. & Struck, S. Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte (InMoBS): Eine erste Anforderungsanalyse. Unveröffentlichte Masterarbeit, Technische Universität Braunschweig, 2012.
- [BD-8] Dinkel, A., Axer, S.: Anforderungen an Routenplanung und Webportal. München, 2012
- [BD-9] Dinkel, A., Axer, S.: Recherche und Analyse bestehender Routingsoftwarelösungen. München, 2012
- [BD-10] Deimann, S.: InMoBS. Anforderungsanalyse Betreibermodell, 2012
- [BD-11] TU Braunschweig & Projektpartner: InMoBS Innerstädtische Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte. Vorhabenbeschreibung für ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Unveröffentlichtes Dokument, Braunschweig, 2011.
- [BD-12] Proskawetz, K.-O.: Eigentum an LSA. Augsburg, 2012. Am 18.10.2012 an Sandra Deimann.
- [BD-13] Wunder, R.: Bereitstellung der WLAN-Komponenten. Augsburg, 18.10.2012 an Sandra Deimann
- [BD-14] Wunder, R.: Kostenaufteilung bei der WLAN-Komponente, 13.11.2012. E-Mail an Sandra Deimann
- [BD-15] Bericht zu Meilenstein M2 – Abschluss Entwurfsphase. 2013
- [BD-16] Interviewleitfaden Anforderungsanalyse aus Tiefeninterviews. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2012.
- [BD-17] Interviewleitfaden Beobachtungen bei der Kreuzungsquerung. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2012.
- [BD-18] Interviewleitfaden Bundesweite (Online-)Fragebogenaktion. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2013.
- [BD-19] Interviewleitfaden Telefoninterviews HMI mobiles Endgerät. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2013.
- [BD-20] Interviewleitfaden Interviews und Anwendungstests HMI mobiles Endgerät I. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2013.
- [BD-21] Interviewleitfaden Interviews und Anwendungstests HMI Webportal I. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-22] Interviewleitfaden Interviews und Anwendungstests HMI Webportal II. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-23] Interviewleitfaden Interviews und Anwendungstests HMI mobiles Endgerät II. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-24] Beispiel Dokumentationsbogen Funktionstests. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-25] Interviewleitfaden Erprobung und Bewertung – mVoA. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-26] Interviewleitfaden Erprobung und Bewertung – gVoA. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.



- [BD-27] Interviewleitfaden Erprobung und Bewertung – mVmA. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-28] Interviewleitfaden Erprobung und Bewertung – gVmA. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-29] Erprobung und Bewertung – Einwilligungserklärung. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.
- [BD-30] Erprobung und Bewertung – Ergänzung Einwilligungserklärung. InMoBS-Projektpartner TUBS-IV. 2014.

4.2 Bezugsdokumente

- [BD-31] Aktion Mensch: Häufig gestellte Fragen. URL www.aktion-mensch.de/foerderung/antraege_formulare/faq.php#67695, Zugriff 29.11.2012.
- [BD-32] Alberding Bedienungsanleitung A07-N-11 Revision 12666
- [BD-33] BITV, 2012 Barrierefreie Informationstechnik-Verordnung, URL www.bitvtest.de, Zugriff 10.05.2012
- [BD-34] BMJ, 2012 Bundesministerium der Justiz, URL www.gesetze-im-internet.de/bitv_2_0, Zugriff 10.05.2012
- [BD-35] Boltze, M.; Wolfemann, A.; Schäfer, P.: Leitfaden Verkehrstelematik. Hinweise zur Planung und Nutzung in Kommunen und Kreisen. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Berlin, 2006
- [BD-36] BSI Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Glossar und Begriffsdefinitionen: Integrität, URL www.bsi.bund.de/DE/Themen/weitereThemen/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/Glossar/glossar_node.html, Zugriff 14.06.2012
- [BD-37] Busch, F.; Dinkel, A.; Schimandl, F.; Boltze, M.; Jentsch, H.: Leitfaden für die Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme im zuständigkeitsübergreifenden Verkehrsmanagement. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). Berlin, 2007
- [BD-38] business-wissen (2008): Betreibermodell. Kunden bezahlen nur noch für den Service. URL www.business-wissen.de/unternehmensfuehrung/betreibermodell-kunden-bezahlen-nur-noch-fuer-den-service, Zugriff 03.10.2012
- [BD-39] business-wissen: Das Konzept der Total Cost of Ownership. URL www.business-wissen.de/handbuch/total-cost-of-ownership/das-konzept-der-total-cost-of-ownership, Zugriff 12.11.2012
- [BD-40] CHIP (2010): Total Cost of Ownership – (k)eine klare Sache. URL m.chip.de/test/Server-Wie-Sie-alle-Kosten-im-Voraus-berechnen_46025188.htm, zuletzt aktualisiert am 03.12.2010, Zugriff 21.11.2012
- [BD-41] DBSV Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e. V.: Selbstauskunft über Einnahmen aus der Zusammenarbeit mit Wirtschaftsunternehmen aus dem Gesundheitswesen, URL www.dbsv.org/dbsv/aufgaben-und-themen/selbstauskunft, Zugriff 20.07.2012
- [BD-42] DBSV Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband, URL www.dbsv.org
- [BD-43] DBSV et. al: Anforderungen an satellitengestützte Navigationssysteme für blinde und sehbehinderte Menschen, Berlin, 2008
- [BD-44] Deimann, S.: Betreibermodelle für verkehrstechnische Dienste – Entwicklung eines Betreibermodells zur Mobilitätsunterstützung für Blinde und Sehbehinderte. Masterarbeit. TUM, München. Lehrstuhl für Verkehrstechnik, 2012
- [BD-45] Deutsche Gesellschaft für Psychologie. (Hrsg.). Richtlinien zur Manuskriptgestaltung (3. Aufl.). Göttingen: Hogrefe, 2007.
- [BD-46] DIN 18024 Barrierefreie Umwelt, Beuth Verlag, Berlin 1998



- [BD-47] DIN 18024-1 Deutsches Institut für Normung: Barrierefreies Bauen – Teil 1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze; Planungsgrundlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- [BD-48] DIN 18025 Barrierefreies Wohnen – Wohnungen für Rollstuhlnutzer; Planungsgrundlagen, Beuth Verlag, Berlin 1992
- [BD-49] DIN 32977-1 Behinderungsgerechtes Gestalten; Begriffe und allgemeine Leitsätze, Beuth Verlag, Berlin 1992
- [BD-50] DIN 32981 Deutsches Institut für Normung: Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA) – Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002
- [BD-51] DIN 32984 Deutsches Institut für Normung: Bodenindikatoren im öffentlichen Raum, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011
- [BD-52] DIN EN ISO 80000-1. Größen und Einheiten – Teil 1: Allgemeines (ISO 80000-1:2009 + Cor 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 80000-1:2013. Berlin: Beuth Verlag. 2013.
- [BD-53] DIN-Fachbericht 124 Gestaltung barrierefreier Produkte, Beuth Verlag, Berlin 2002
- [BD-54] ETSI TS 102 636-4-1 V1.1.1 (2011-06) URL http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360401/01.01.01_60/ts_1026360401v010101p.pdf, Zugriff 29.01.2014
- [BD-55] ETSI TS 102 636-5-1 V1.1.1 (2011-02) URL http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360501/01.01.01_60/ts_1026360501v010101p.pdf, Zugriff 29.01.2014
- [BD-56] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg): Richtlinien für Lichtsignalanlagen. ISBN 978-3-939715-91-7, FGSV Verlag, Köln, 2010.
- [BD-57] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Leitfaden für Verkehrsplanungen, (116). Köln, 2001
- [BD-58] Forschungsinformationssystem: Über FIS, URL www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/11/, Zugriff 29.07.2012
- [BD-59] FUSS e. V. – Fachverband Fußverkehr Deutschland. (2012). Erhebungen zum Modal split älterer Verkehrsteilnehmer. URL www.fuss-ev.de/Senioren-zu-Fuss/Modal-split-aelterer-Verkehrsteilnehmer.html, Zugriffsdatum 03.07.2012
- [BD-60] Grabher, A.: PSPP. Public-Social-Private-Partnership. Nachhaltigkeit – Land Steiermark. URL www.nachhaltigkeit.steiermark.at/cms/beitrag/10794211/2788083, Zugriff 03.10.2012
- [BD-61] HaptiMap, Haptic, Audio and Visual Interfaces for Maps and Location Based Services, URL www.haptimap.org/toolkit-help/tutorials-v2/toolkit-basics.html, Zugriff 14.11.2012
- [BD-62] Hick, C. & Hick, A. Intensivkurs Physiologie (6. Aufl.). München: Elsevier, 2009.
- [BD-63] Hilbrand, M.: TCO – oder: was kostet mich das? URL www.isicore.de/isicore-blog/tco-oder-was-kostet-mich-das, 2011, Zugriff 21.11.2012
- [BD-64] Jura Forum: Public Private Partnership. Erklärung. URL www.juraforum.de/lexikon/public-private-partnership, Zugriff 03.10.2012
- [BD-65] Keller, H.: ITS Architekturen. Expose für ein Arbeitsprogramm für den FGSV AK 3.15.5 „ITS Architekturen“, 2004
- [BD-66] Krystek, U.: Handbuch Internationalisierung. Globalisierung - eine Herausforderung für die Unternehmensführung. 2. Aufl. Berlin , Heidelberg [u. a.], 2002
- [BD-67] Lackes, R.: Outsourcing. URL wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/outsourcing.html, Zugriff 03.10.2012
- [BD-68] Lamnek, S.: Qualitative Sozialforschung, 2005.
- [BD-69] Leonhardt, M.; Kukovetz, B.: Public Social Private Partnership (PSPP) – Modell. Graz, 2007. URL www.pspp.at/file/000708.pdf, Zugriff 03.10.2012
- [BD-70] Ludwig-Mayerhofer, W.: Methoden der empirischen Sozialforschung I – Qualitative Interviewverfahren. (o.J.)
- [BD-71] Mayering, P.: Einführung in die qualitative Sozialforschung, 2002.



- [BD-72] Mobilität in Deutschland. FAQ – Häufig gestellte Fragen. Verfügbarkeit der Daten und Auswertungsmöglichkeiten. 4. Welche Auswertungen sind mit den MiD-Daten möglich? URL www.mobilitaet-in-deutschland.de/09_faq/faq.htm#Kapitel4, Zugriff 03.07.2012
- [BD-73] Mobilität in Deutschland. MiD 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. URL www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_1.pdf, Zugriff 21.06.2012
- [BD-74] Mobilität in Deutschland. URL www.mobilitaet-in-deutschland.de, Zugriff 03.07.2012
- [BD-75] Mobilität in Deutschland. URL www.mobilitaet-in-deutschland.de/02_MiD2008/index.htm, Zugriff 03.07.2012
- [BD-76] Mobilität in Deutschland. Wissenschaftlicher Hintergrund. URL www.mobilitaet-in-deutschland.de/02_MiD2008/hintergrund.htm, Zugriff 03.07.2012
- [BD-77] Möhle, R.: Die Herzog-Wilhelm-Blindenstiftung Heute. URL www.hw-blindenstiftung.de/zweck-und-ziel.html, Zugriff 29.11.2012
- [BD-78] NAV4BLIND Forschungsprojekt NAV4BLIND: Projektinternes Arbeitsdokument: Objektkatalog der digitalen Karte NAV4Blind_OBAK_1_8, 2012, Nicht veröffentlicht
- [BD-79] Rössel, J.: Empirische Sozialforschung I – Qualitative Befragungsmethoden. (o.J.)
- [BD-80] Sawashima, H., Hori, Y., Sunahara, H. & Oie, Y. (1997, June). Characteristics of UDP packet loss: Effect of tcp traffic. In Proceedings of INET'97: The Seventh Annual Conference of the Internet Society.
- [BD-81] Schmidt-Atzert, L. & Amelang, M. Psychologische Diagnostik und Intervention (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- [BD-82] SDI-Research: Befragung, URL www.sdi-research.at/lexikon/befragung.html, Zugriff 20.07.2012
- [BD-83] SDI-Research: Die qualitative Befragung, URL www.sdi-research.at/lexikon/qualitative-befragung.html, Zugriff 20.07.2012
- [BD-84] SIGNOS: Standardisierte Interfaces, Geräte und Netzwerke zur Steuerung von Lichtsignalanlagen auf der Basis von OCIT-Schnittstellen – Teil OTS-Control. Schlussbericht zum Inno-net-Verbundprojekt SIGNOS, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Förderkennzeichen 16 IN 0293), Hannover, 2007
- [BD-85] Staudinger et. al: Die Genauigkeit der Ortsbestimmung mit Mobilfunkgeräten bei der automatischen Standortbestimmung in Notfällen, Wien, 2002
- [BD-86] Suhl, L., & Mellouli, T. (2013). Optimierungssysteme: Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. Springer DE.
- [BD-87] Telematik im Verkehr: URL www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/telematik-im-verkehr.html, Zugriff 29.11.2012
- [BD-88] Thommen, J.-P.; Achleitner, A.-K.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2006
- [BD-89] Verkehrsmagazin Ampel Nachrichten, No.60, Bad Lippspringe, 2012
- [BD-90] W3C, 2012d World Wide Web Consortium, URL: www.w3.org/WAI/intro/wcag.php
- [BD-91] World Wide Web Consortium, URL www.w3.org/WAI/RC/tools/complete, Zugriff 10.05.2012
- [BD-92] World Wide Web Consortium, URL www.w3.org/WAI/WCAG20/glance, Zugriff 10.05.2012
- [BD-93] World Wide Web Consortium. URL www.w3.org/TR/WCAG, Zugriff 10.05.2012
- [BD-94] World Wide Web Consortium: Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. Autorisierte deutsche Übersetzung, Stand 29.10.2009. URL www.w3.org/Translations/WCAG20-de
- [BD-95] Wübbena, G., GNSS Network-RTK Today and in the Future Concepts and RTCM Standards, Berlin, 2008



4.3 Verzeichnis zu weiteren Online-Quellen

- [BD-96] Android Developer 2012. URL developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility/index.html
- [BD-97] ASCE Library. Traffic and Transportation Studies 2010. URL ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784411230, Zugriff 29.01.2013
- [BD-98] BSI 2012. URL www.bsi.bund.de/DE/Themen/weitereThemen/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/Glossar/glossar_node.html, Zugriff 14.06.2012
- [BD-99] developer.android.com/design/patterns/accessibility.html, Zugriff am 28.01.2014
- [BD-100] geoJSON 2012. URL www.geojson.org/geojson-spec.html
- [BD-101] Google Earth. URL www.google.de/earth, Zugriff 09.12.2012
- [BD-102] Google Maps. <https://www.google.de/map>, Zugriff 20.11.2014
- [BD-103] NAVIG 2012. URL navig.irit.fr
- [BD-104] NAVTEQ MapTP Routing Service 2011. URL [sampledata-navteq.com/site/global/build/web_services/routing/map24routing-service.jsp](http://sampledata.navteq.com/site/global/build/web_services/routing/map24routing-service.jsp)
- [BD-105] Online-Atlas für Blinde und Sehgeschädigte 2012. URL www.blind.accessiblemaps.org
- [BD-106] OpenRouteService 2012. URL www.openrouteservice.org
- [BD-107] OpenStreetMap 2012. URL wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Hauptseite
- [BD-108] OpenStreetMap, Look and Listen Map 2012. URL wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Look_and_Listen_Map
- [BD-109] OpenStreetMap, Map Features 2013. URL wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features
- [BD-110] OpenTripPlanner 2012. URL www.opentripplanner.com
- [BD-111] OpenTripPlanner Wiki 2012. URL <https://github.com/openplans/OpenTripPlanner/wiki>
- [BD-112] OSM2pgrouting 2012. URL pgrouting.org/docs/tools/osm2pgrouting.html
- [BD-113] OSM2pgsql 2012. URL wiki.openstreetmap.org/wiki/Osm2pgsql
- [BD-114] OSM2PostGIS 2012. URL osm2postgis.sourceforge.net
- [BD-115] pgRouting 2012. URL www.pgrouting.org
- [BD-116] pgRouting Workshop 2012. URL workshop.pgrouting.org/chapters/about.html#pgrouting
- [BD-117] PostGIS 2012. URL postgis.refractory.net
- [BD-118] postgis.net, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-119] PostgreSQL 2013. URL www.postgresql.org
- [BD-120] RABBITMQ 2012. URL www.rabbitmq.com/getstarted.html
- [BD-121] WCGA20 2012. URL www.w3.org/Translations/WCAG20-de/wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Hauptseite, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-122] wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Hauptseite, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-123] Wikipedia – Präzision. URL de.wikipedia.org/wiki/Präzision, Zugriff Oktober 2012
- [BD-124] Wikipedia – Verfügbarkeit. URL de.wikipedia.org/wiki/Verfügbarkeit, Zugriff Oktober 2012
- [BD-125] Wikipedia – Zuverlässigkeit. URL [de.wikipedia.org/wiki/Zuverlässigkeit_\(Technik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Zuverlässigkeit_(Technik)), Zugriff Oktober 2012
- [BD-126] www.drive-c2x.eu/project, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-127] www.geoserver.org, Zugriff am 21.01.2014



- [BD-128] www.pgrouting.org, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-129] www.postgresql.org, Zugriff am 21.01.2014
- [BD-130] www.testfeld-telematik.at, Zugriff am 21.01.2014