

GreenNavigation

Reichweitenoptimierung von Elektrofahrzeugen durch
ganzheitliche Verbrauchsprognostik

Elektromobilität Süd-West

„road to global market“



Schlussbericht zum Teilvorhaben der PTV AG

Zuwendungsempfänger: PTV Planung Transport Verkehr AG	Förderkennzeichen: 13N12364
Vorhabenbezeichnung: Reichweitenprädiktion und energieeffizientes Routing	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2012 – 29.02.2016	
Berichtszeitraum: 01.09.2012 – 29.02.2016	

Projektpartner:

CarMediaLab GmbH

Daimler FleetBoard GmbH

FZI Forschungszentrum Informatik

IPG Automotive GmbH

Robert Bosch GmbH

Datum: 17.08.2016

Eingehender Ergebnisbericht

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Projektüberblick	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Voraussetzungen	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4 Wissenschaftlicher Stand	9
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
2 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	10
2.1 Projektüberblick und Ziele	10
2.1.1 Ziele des Verbundvorhabens	10
2.1.2 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	10
2.1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Teilvorhabens	11
2.2 Verwendung der Zuwendung, erzielte Ergebnisse	12
2.2.1 Ergebnisse im Überblick	12
2.2.2 Erzielte Ergebnisse im AP 100: Reichweitenberechnungsdienste	13
2.2.3 Entwicklungsergebnisse im AP 200: Energieeffizientes Routing	19
2.2.4 Ergebnisse aus dem AP 300: Driver Education	26
2.2.5 Ergebnisse aus dem AP 400: Application Gateway	28
2.2.6 Ergebnisse aus dem AP 500: Integration und Validierung	29
3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	30
4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	31

5	Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeiten	32
6	Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	34
7	Öffentlichkeitsarbeit – Veröffentlichungen und Präsentationen.....	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur	6
Abbildung 2: Projektzeitplan und geplante Meilensteine.....	7
Abbildung 3: Übersicht Eingangsparameter für Reichweitenkalkulation	14
Abbildung 4: Mulit-level Key Value Store: Die am höchsten priorisierten verfügbaren Daten werden verwendet	15
Abbildung 5: Architektur Reichweitenberechnung und Komponenten	17
Abbildung 6: Struktur und Ziele AP 200	19
Abbildung 7: Screenshot Applikation mit Integration Live-Verkehrsdaten und Traffic-Timeline	20
Abbildung 8: eMobilitäts Assistent mit Split-Screen Anzeige	21
Abbildung 9: Ladesäulenassistent	25
Abbildung 10: Darstellung Fahrhinweise, Beispiel: Warnhinweis Batteriestand	27
Abbildung 11: Beispiel Fahrhinweis zum energiesparenden Fahren.....	27
Abbildung 12: GreenNavigation-Demonstrator auf dem e-Mobil BW Technologietag am 01.10.2013.....	36
Abbildung 13: Fahrerlebnisplatz mit mobiler Navigation – eMobil-BW Technologietag am 01.10.2013 ..	36
Abbildung 14: Agenda „Flottenmix der Zukunft“ 17.11.2014, PTV-Vortrag zu Navigationslösungen	37
Abbildung 15: Fahrerlebnisplatz und Erprobungsfahrzeug, „Fields of Innovation“, 29.10.2015.....	37
Abbildung 16: Posterdarstellung für BMBF-Statusseminar Elektromobilität, Bonn, 23.11.2015	38
Abbildung 17: Agenda Abschlussveranstaltung, Karlsruhe, 24.02.2016.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Meilensteine des Teilvorhabens für den zentralen Projektmeilenstein	8
Tabelle 2: EV-spezifische Einstellungen des Standard-Fahrzeugs Peugeot 3008 FEV	22
Tabelle 3: EV-spezifische Einstellungen des Eco-optimierten-Fahrzeugs Peugeot 3008 FEV	23
Tabelle 4: Projektmeetings und Workshops während der Projektlaufzeit	32

1 Projektüberblick

1.1 Aufgabenstellung

Green Navigation verfolgte im Sinne der Sicherung individueller Mobilität das Ziel der Reichweitenoptimierung durch geeignete Strategien im Fahrzeug sowie zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, um für den Nutzer personalisierte und effiziente Mobilitätslösungen bereitzustellen, die einer energie- und ressourceneffizienten Mobilität unter Berücksichtigung neuartiger Fahrzeug- und Fahrzeugnutzungskonzepte gerecht werden.

Hierzu wurden verschiedene Mobilitätsdienste, wie Reichweiten- und Routenberechnungsdienste erforscht, die ein energieoptimiertes Routing unter Berücksichtigung des Fahrzeugtyps, nutzbaren Streckenabschnitten, Verkehrsdaten und der Beladung sowie von Ladesäulen und Ladezeiten erlauben. Wichtiger Bestandteil war die Bereitstellung einer zuverlässigen Reichweitenprädiktion, die Route, das Fahrerverhalten und die Fahrzeugarchitektur inklusive des integrierten Energiemanagements berücksichtigt. Aber auch eine automatische Adaption der Fahrhinweise auf Fahrzeugtyp, Beladung und Fahrer sollte vorgenommen und über eine optimierte *Human Machine Interface* (HMI) kommuniziert werden, welche fahrerspezifisch optimierte Zeitpunkte zur Signalisierung von Hinweisen, eine Adaption an den jeweiligen Fahrertypus, sowie die Verwendung von Anreizen zur Belohnung von energieeffizientem Fahrverhalten zur Verfügung stellen sollte.

Die in Green Navigation entwickelten Dienste wurden prototypisch als Demonstratoren umgesetzt und stufenweise, beginnend bei einem Simulationsmodell, in ein Elektrofahrzeug integriert und in realen Szenarien validiert.

1.2 Voraussetzungen

Verkehrstelematik ist bereits seit Ende der 90er Jahren eine Technologie, der sehr große Zukunftsperspektiven zugesagt wurden. Waren es zu Beginn Notrufsysteme und Flottenmanagementsysteme, die sich in gewissen Branchen und Bereichen durchgesetzt hatten, so findet mit der Revolution des mobilen Internets und den Smartphones der Einzug des Internets auch in die Fahrzeuge statt.

Speziell im Bereich der Elektrofahrzeuge lassen sich mit der Technologie Einschränkungen wie Reichweite, Ladedauern, Verfügbarkeit von freien Ladesäulen teilweise entgegenwirken und die „Reichweitenangst“ des Kunden verringern. Auch für Flottenmanager bietet die Technologie sehr viele Vorteile. Heutzutage werden die Infrastrukturen noch sehr individuell für die Bedürfnisse einzelner Kundengruppen entwickelt. In der Regel sind es geschlossene Systeme.

Insbesondere bei der angesprochenen begrenzten Verfügbarkeit von Ladestationen, ist ein kritischer Punkt des Elektrofahrzeugs die Vorhersage der Reichweite. Nur wenn die Reichweiteschätzung eine vergleichsweise geringe Varianz aufweist, ist eine möglichst direkte Routenführung möglich. Andernfalls können Umwege entstehen, da an Ladestationen vorbeigefahren wird.

Im Spitzencluster Green Navigation stellten die Aktivitäten insbesondere hinsichtlich der engen Fahrzeugdatenbindung sowie der Verteilarchitektur zur Integration verschiedener serverseitiger und

mobiler Dienste insgesamt ein Novum dar. Die Verfahren, Datenmodelle und speziellen User-Interface-Entwicklungen, die in diesem Projekt adressiert und erforscht werden, sollten erstmalig in dieser Ausprägung entwickelt, simuliert und im Demonstrator validiert werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur Umsetzung der Lösungsansätze wurden fünf Arbeitspakete definiert. Die Struktur der Arbeitspakete ist in folgender Abbildung dargestellt.

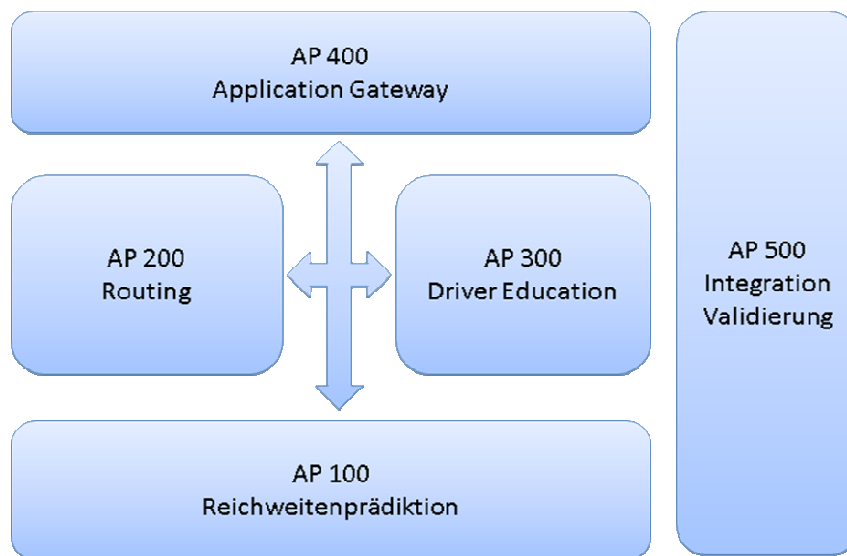


Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur

Die Ebene der Makrooptimierung durch geführtes Routing wurde in AP 200 bearbeitet, indem ein Navigationssystem optimiert für Elektrofahrzeuge untersucht wurde, das unter anderem energieeffiziente Routingverfahren beinhalten und Ladesäulen in die Navigation integrieren sollte. Parallel dazu bearbeitete das AP 300 die Ebene der Mikrooptimierung, wofür Hilfestellungen für den Fahrer zur energieeffizienten Fahrweise untersucht wurden, die auch ein Feedback zu seiner Fahrweise enthalten. Beide Arbeitspakete basierten auf den im Rahmen des AP 100 untersuchten Komponenten zur Reichweitenprädiktion, die unter anderem ein elektrofahrzeugspezifisches Verbrauchsmodell und detaillierte Analysen der Strecke hinsichtlich statischer und dynamischer Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch enthalten.

Die technische Kommunikation zwischen den Komponenten, zu verwendende Standards sowie die Kommunikation mit anderen Diensten (z.B. für das Flottenmanagement) wurden im AP 400 untersucht. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten in einem Gesamtsystem wurde im Rahmen des AP 500 demonstriert und evaluiert. Dafür wurden einerseits verschiedene Simulationsumgebungen genutzt, um eine schnelle Integration mit umfangreichen Testmöglichkeiten zu gewährleisten, und andererseits ein Versuchsträger mit ausgewählten Komponenten der Green Navigation ausgestattet.

Die geplante Laufzeit zu Beginn des Projekts war 36 Monate. Die Laufzeiten und Abhängigkeiten der einzelnen APs bzw. Teil-APs mit Beteiligung bzw. unter der Leitung von PTV sind in folgendem Gantt-Chart dargestellt.

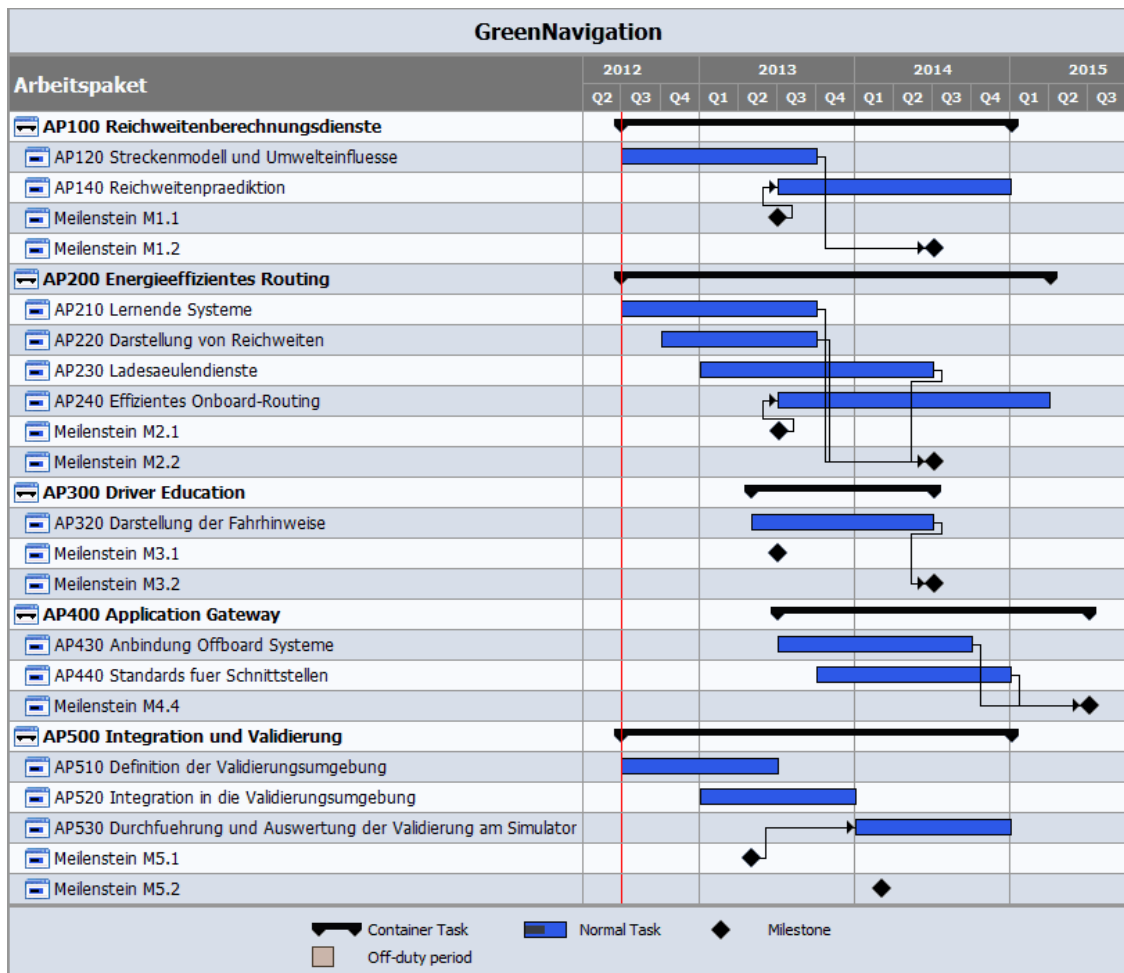


Abbildung 2: Projektzeitplan und geplante Meilensteine

Der zentrale Projektmeilenstein wurde im Monat 24 eingeplant. Hierzu waren aus diesem Teilvorhaben die Meilensteine aus den AP 100, 200, 300 und 500 zu erfüllen. Unten stehende Tabelle verdeutlicht die Meilensteine und deren geplante Ergebnisse.

Abhängigkeiten und Zusammenhänge bestanden hierbei insbesondere zwischen AP100 und 200, deren Spezifikations- und Entwicklungsphasen eng aufeinander abgestimmt wurden.

Dabei sollten die Dienste als integrierbare Lösungen verfügbar sein, die eine erste Nutzerinteraktion ermöglichen, um im Rahmen der Validierung weitere Erkenntnisse für Weiterentwicklungen generieren zu können. Technisch gesehen sollten zum Projektende dann Komponenten verfügbar sein, die weiterverwendbar sind, z.B. für eine integrierte Demonstration.

Tabelle 1: Übersicht Meilensteine des Teilvorhabens für den zentralen Projektmeilenstein

Meilenstein	Geplante Ergebnisse
M1.2 <i>Datenmodelle und Funktionen zur Reichweitenprädiktion</i>	<p>Funktionen zur Erzeugung von Reichweitenpolygonen aus Isometrischen Routenberechnungen bezogen auf ein vorgegebenes Prognoseprofil</p> <p>Datenmodelle und Funktionen zur Integration eines energiewertbezogenen Segmentmodells in Routenberechnungsfunktionen und Reichweitenberechnungsfunktionen</p> <p>Schnittstellen zur Integration von aktuellen Verkehrsinformationen (z.B. aus FCD-Daten) und historischen Verkehrsdaten in die Reichweiten und Routenberechnungen</p>
M2.2 <i>Client inkl. adaptierter GUI - Demonstrator Effizientes Routing für Validierung</i>	<p>Darstellungsmöglichkeiten (z.B. Polygone) für Reichweiten</p> <p>Planungsassistent für längere Fahrten mit Routing über Ladestationen und deren Buchung</p> <p>Situationsabhängige Kommunikation von Routeninformationen zwischen Serverdienst und mobilem Client</p> <p>Dienste und Schnittstellen zur Berücksichtigung von Verkehrsinformationen für On-Board Routing</p>
M3.2 <i>Integration in die Validierungsplattform erfolgt</i>	<p>Möglichkeiten Fahrhinweise im Navigationssystem darzustellen und auszusprechen</p> <p>Lieferung eines elektronischen Horizonts als Vorausschau der aktuellen Route als Polygon</p>
M5.2 <i>Funktionen und Dienste am Fahrerlebensplatz verfügbar</i>	<p>Reichweitenberechnung, Darstellung und effizientes Routing am Client verfügbar</p>

1.4 Wissenschaftlicher Stand

Zu Beginn des Projekts hat sich der wissenschaftliche Stand folgendermaßen dargestellt: Navigationssysteme zur Unterstützung der Reiseplanung und der geführten „On-trip“ Navigation sind sowohl als mobile Endgeräte als auch im Fahrzeug fest verbaute Systeme mittlerweile Standard geworden in der täglichen Individualmobilität. Die Lösungen können unter Einbeziehung verschiedener Informationen (z.B. Verkehrsmeldungen etc.) Routen berechnen und vielfältige Informationen visualisieren und bereitstellen (z.B. 3D-Karte, Spurassistent, POI Anzeige, Stimmausgabe etc.) Speziell für die Anforderungen der Elektromobilität entwickelte Systeme waren am Markt nicht verfügbar. Standardsysteme sind beispielsweise nicht in der Lage, Reichweitenprädiktionen für Elektrofahrzeuge auf Basis verschiedenster Datengrundlagen aus Fahrzeug, Fahrerverhalten und Umwelt zu erstellen.

Bekannt war ein System zur Berechnung der E-ladezustandsabhängigen Reichweite des Schweizer Unternehmens Virve. Das deutsche Unternehmen ALL4IP TECHNOLOGIES GmbH & Co. KG bietet ebenfalls eine Reichweiteschätzung für Elektrofahrzeuge unter dem Namen mapZero an. Nachteilig bei diesen Systemen ist eine starke Vereinfachung des Fahrzeugmodells, was zu reduzierter Genauigkeit führt. Gerade von der Genauigkeit und der Nachvollziehbarkeit hängt jedoch die Nutzerakzeptanz ab. Um diese zu gewährleisten musste auf ein möglichst genaues Fahrzeugmodell zurückgegriffen werden.

Weitere Projekt- und Forschungsaktivitäten haben sich ebenfalls der Themen und Anforderungen aus der Elektromobilität angenommen. In diesem Zusammenhang beschäftigte sich das IKTII Projekt iZEUS insbesondere mit den Themen des Energiemanagement (SmartGrid), der SmartTraffic Konzeptforschung – hierbei insb. Modellierung des E-Mobilitätsraums - sowie mögliche Dienstekonzepte für den Wirtschaftsverkehr. Ein weiteres Projekt im internationalen Umfeld war das smartCEM Projekt, welches schwerpunktmäßig Diensteanwendungen für Testsites in Europa für verschiedene Fahrzeugkategorien weiterentwickelt und in größerem Flotteneinsatz getestet hat.

Das Projekt Elvire (www.elvire.eu) adressierte die Bekämpfung der „Reichweitenangst“ bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen durch zielgeführte Navigation unter Berücksichtigung von Ladesäulen. Es war keine Modellierung des Fahrzeugs vorgesehen, sowie der Betriebs- und Fahrstrategien, welche für eine verlässliche Reichweitenprädiktion notwendig sind.

Ebenfalls mit dem Elektromobil beschäftigte sich das BMBF-geförderte Projekt e-performance eines Konsortiums um AUDI. Als Projektziel stand die Entwicklung und Optimierung eines Baukastens von Elektrofahrzeug-Komponenten im Vordergrund. Durch die dabei entstehenden Modelle wurden Teilaspekte einer Energieverbrauchsabschätzung ermöglicht. Weiterhin beschäftigten sich eine Reihe von BMU- sowie auch BMWi-geförderten Projekten mit Entwicklung und Erprobung von Elektrofahrzeugen in verschiedenen Einsatzbereichen. Bspw. haben die BMU-geförderten Projekte EMIL und EMKEP die Erforschung, Erprobung von Nutzfahrzeugen bzw. Transportern als Elektrofahrzeuge zum Ziel gehabt. Dabei wurde im Rahmen von Flottentests u.a. die Nutzerakzeptanz in diesen Einsatzbereichen untersucht. Eine Nutzung und Integration von Navigationslösungen bzw. Backenddiensten war dabei nicht im Fokus gewesen, jedoch haben sich in den Untersuchungen neben den fahrzeugtechnischen Eigenschaften besonders die Themen der Reichweitenangst sowie Veränderungen von Reichweiten je nach Einsatzart und Umgebung als relevante Entwicklungsfelder herauskristallisiert.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde vom Partner IPG Automotive als Konsortialführer geleitet. Zusammenarbeit bestand insbesondere mit anderen Projekten des Spitzencluster Südwest. Besonderer Wissens- und Erfahrungsaustausch bestand mit den Projekten eFlotte und leMM. Zusätzlich wurden Erfahrungen und Daten mit dem IKT II Projekt iZEUS ausgetauscht.

2 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1 Projektüberblick und Ziele

2.1.1 Ziele des Verbundvorhabens

Die Reichweitenoptimierung eines E-Fahrzeugs stellt eine der größten Herausforderungen dar und ist eines der zentralen Ziele des Clusters Elektromobilität Süd-West. Unter Green Navigation versteht man sämtliche Optimierungsstrategien im Fahrzeug sowie zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, um für den Nutzer personalisierte und effiziente Mobilitätslösungen bereitzustellen, die einer energie- und ressourceneffizienten Mobilität unter Berücksichtigung neuartiger Fahrzeug- und Fahrzeugnutzungskonzepte gerecht werden. Zwei Optimierungsebenen wurden dabei erforscht. Im Rahmen einer Makrooptimierung erfolgte eine Planung energieoptimierter Routen unter Berücksichtigung von Verkehrsdaten, Ladesäulen, Ladezeiten und Parkmöglichkeiten, Wetterdaten sowie von Fahrzeugattributen, wie z.B. Fahrzeugtyp und nutzbaren Streckenabschnitten. Auf Ebene der Mikrooptimierung stand die Umsetzung von nutzeradaptiven Fahrempfehlungen unter Einbeziehung verschiedener HMIs, die Umsetzung energieoptimierender Staufolgefahrten sowie die Reichweitenerhöhung durch integriertes Energiemanagement aller beteiligten Verbraucher im Fokus. Wichtig waren hierbei auch die Einflüsse von Rekuperationsstrategien, der Fahrmanöver und des 3D-Streckenprofils. Für beide Optimierungsebenen war eine zuverlässige Reichweitenprädiktion notwendig, die Route, Fahrerverhalten und Fahrzeugarchitektur berücksichtigt, aber auch eine Adaption der Fahrhinweise auf Fahrzeugtyp, Beladung und Fahrer vornimmt und in ein selbstlernendes Verbrauchsmodell integriert. Die ermittelten Daten der Reichweitenprädiktion sowie der verbleibende Ladezustand (State-of-Charge) bei Ankunft wurden für dezentrale und zentrale Routenberechnungsdienste über eine definierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt.

2.1.2 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Der Cluster Elektromobilität Süd-West zeigt in seiner Strategie die E-Mobilität als Chance, die Ziele „Erhalt und Gestaltung des Lebensraumes“, „Sicherung individueller Mobilität“ und „Stärkung der Wirtschaftskraft“ durch branchenübergreifende Lösungen zu verbinden und zu unterstützen.

Das Projekt Green Navigation stellte somit eine Basistechnologie zur Sicherung individueller Mobilität sowohl für das Innovationsfeld IKT als auch für die gesamte Spitzenclusterinitiative Süd-West dar. Dies

wurde einerseits durch Bereitstellung von Mobilitätsdiensten geleistet, wie z. B. zur Reichweiten- und Routenberechnung, und andererseits über die implementierte Schnittstellenfunktion zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Weiterhin unterstützte es die Handhabung und den Komfort der entwickelten Lösung durch die prototypische Integration in ein Demonstratorfahrzeug und durch die Evaluierung der Forschungsergebnisse und der Akzeptanz ihres Einsatzes mittels Probandenversuchen.

Das Projekt Green Navigation adressierte damit eine der zentralen technischen Herausforderungen im Spitzencluster, die Reichweite von E-Fahrzeugen entscheidend zu erhöhen und zuverlässige Aussagen zur Reichweitenprädiktion bereitzustellen. Gestützt durch diese verlässlichen Aussagen sollte das Vertrauen der Nutzer und Endkunden in die Elektromobilität gestärkt werden, so dass der Markt für Elektromobilität vergrößert werden kann.

Schnittstellen ergaben sich mit vielfältigen Projekten des Clusters, insbesondere in den Innovationsfeldern Fahrzeug (SysDaDiSe), IKT (eFlottenmanagement, leMM) und Energie (AUTOPLES) durch gemeinsame Verwendung erforschter Technologien, Infrastrukturen, Schnittstellen oder Demonstratoren. Zusätzlich entstand mit Projekten aus dem Schwerpunkt IKT für Elektromobilität des BMWi ein Wissens- und Datenaustausch.

2.1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Teilvorhabens

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Teilvorhabens der PTV lagen schwerpunktmäßig auf den Themen Reichweitenberechnung bzw. -prädiktion, sowie energieeffizientes Routing. Die Forschungsarbeiten umfassten dabei eine Fülle von Aktivitäten zur Konzeption und Weiterentwicklung von Navigationslösungen speziell zugeschnitten auf die Elektrofahrzeuge.

Zum Abschluss des Vorhabens sollten verschiedene Komponenten und Modelle zur zuverlässigen Reichweitenprädiktion sowie Darstellungsmöglichkeiten für den Fahrer verfügbar sein, die eine möglichst genaue Vorhersage der Reichweite in Bezug auf ein spezifisches Fahrprofil ermöglicht. Die Dienste und Schnittstellen sollten dabei auf mobilen Navigationsclients (z.B. Android-Smartphone) integrierbar sein. Die serverseitigen Dienste zur Übertragung von relevanten Informationen (z.B. Verkehrsinformationen, „guided routing“) auf den Client sollten skalierbar und über standardisierte Schnittstellen integrierbar sein. Dabei sollte ein Baukastensystem entstehen, in dem Komponenten verfügbar sind, die flexibel in verschiedenen Anwendungsszenarien angepasst und implementiert werden können.

2.2 Verwendung der Zuwendung, erzielte Ergebnisse

2.2.1 Ergebnisse im Überblick

Im Rahmen der Projektentwicklungen wurden umfangreiche Arbeiten unternommen, um die Projektziele zu erreichen. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte und erreichten Projektergebnisse dargestellt. Dabei wird der Bezug zu den in der Vorhabensbeschreibung geplanten Arbeitspaketen hergestellt.

Die Ebene der Makrooptimierung durch geführtes Routing wurde in AP 200 bearbeitet, insbesondere ein Navigationssystem optimiert für Elektrofahrzeuge stand im Fokus, welches unter anderem energieeffiziente Routingverfahren beinhaltet und Ladesäulen in die Navigation integriert. Parallel dazu bearbeitet wurden in AP 300 auf der Ebene der Mikrooptimierung Hilfestellungen für den Fahrer zur energieeffizienten Fahrweise untersucht, die auch ein Feedback zu seiner Fahrweise enthalten. Beide Arbeitspakete basierten auf den im Rahmen des AP 100 untersuchten Komponenten zur Reichweitenprädiktion, die unter anderem ein elektrofahrzeugspezifisches Verbrauchsmodell und detaillierte Analysen der Strecke hinsichtlich statischer und dynamischer Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch enthalten.

Die technische Kommunikation zwischen den Komponenten, zu verwendende Standards sowie die Kommunikation mit anderen Diensten (z.B. für das Flottenmanagement) wurden im AP 400 untersucht. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten in einem Gesamtsystem wurde im Rahmen des AP 500 demonstriert und evaluiert. Dafür wurden einerseits verschiedene Simulationsumgebungen genutzt, um eine schnelle Integration mit umfangreichen Testmöglichkeiten zu gewährleisten, und andererseits ein Versuchsträger mit ausgewählten Komponenten der Green Navigation ausgestattet.

Die PTV AG hat sich im Rahmen des Projektes schwerpunktmäßig in den AP100 Reichweitenberechnungsdienste engagiert und insb. das AP200 Energieeffizientes Routing geleitet. Die Forschungsaktivitäten wurden insbesondere in den Themenfeldern Reichweitenprädiktion, Streckenmodelle, Lernende Systeme, Darstellung von Reichweiten im Navigationsclient, Ladesäulenassistent sowie „Guided Routing“ vorangetrieben. Die Validierung der entwickelten Systeme und Lösungen wurde von PTV aktiv unterstützt in Bezug auf Schnittstellen, Integration der Lösungen von Backend- und mobilen Systemen sowie die Definition der Validierungsumgebung bzw. Kriterien.

Im Folgenden werden die wichtigsten Zwischen- sowie Endergebnisse des Teilvorhabens dargestellt:

- Gemäß Zielsetzung wurden insbesondere die Themen Routing, Streckenmodelle, externe Einflüsse sowie Reichweitenprädiktion intensiviert bearbeitet.
- Auf Basis der ersten Anforderungen an die technische Architektur, wurden detailliertere Datenanforderungen aus unterschiedlichen Quellen und auch die Anforderungen an versch. Schnittstellen formuliert und intensiv mit den beteiligten Partnern ausgearbeitet. Daraus wurde ein erstes Datenmodell abgeleitet insb. für die Reichweitenprädiktion.
- Weiterhin wurden Use Cases formuliert und mit den Partnern abgestimmt.
- Das Architekturmodell wurde detailliert in Bezug auf die Use cases spezifiziert und in Bezug auf die einzelnen Partnerrollen konkretisiert.

- Die Entwicklungsarbeiten, die bei PTV insb. in den Arbeitspaketen 100 und 200 erfolgten, befassten sich mit der mobilen Navigation und insb. mit der Anbindung an Fahrzeugdaten bzw. an die serverseitigen Dienste im Application Gateway.
- Intensive technische Aktivitäten und Entwicklungen wurden im Vorfeld Präsentationsevents (wie zum Beispiel den e-Mobil BW Technologietag) geleistet, hierbei ging es darum, die technischen Lösungen für den Demonstrator im Zusammenspiel mit den Komponenten und Systemen von FZI und IPG so zu realisieren, dass die Funktionalitäten am Fahrerlebensplatz für die Messebesucher stabil und performant erlebbar gemacht werden. Diese Ziele wurden erreicht, die Nutzerfeedbacks waren vielversprechend, ebenso wie die technische Performanz der integrierten Lösungen.

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden alle wichtigen Schnittstellen abgeschlossen und den Partnern zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurde die allgemeine Softwarequalität weiter ausgebaut.

Die wichtigsten Fortschritte im Einzelnen:

- Erweiterung der Reichweitenberechnung um eine topologische Komponente. Im Rahmen dieser Erweiterung wurde auch segmentbezogene Höhendaten aufbereitet, und typische Effizienzfaktoren für Steigungen und Rekuperation bei Gefälle erarbeitet
- Fertigstellung der Serverschnittstelle zur FZI-Reichweitenberechnung
- Erweiterung von Schnittstellen zur Fahrzeug-ID-Übermittlung für die Reichweitenberechnung
- Der Ladesäulen-Assistent wurde im Rahmen des Reverse-Engineering vollständig neu aufgebaut und funktional erweitert
- Real-Time Verkehrsdaten wurden in die Navigation und die Reichweitenberechnung integriert.

2.2.2 Erzielte Ergebnisse im AP 100: Reichweitenberechnungsdienste

Die Forschungsarbeiten seitens PTV waren im AP100 in den UAP 120 sowie 140 vorgesehen.

Das UAP120 hatte Streckenmodell und Umwelteinflüsse für die Reichweitenberechnung im Fokus.

Als Grundlage für die weiteren Entwicklungen sollten hierbei streckenbezogene Eigenschaften analysiert und die Daten für die Verarbeitung aufbereitet werden.

Aus den gesammelten gelernten Daten aller Umwelteinflüsse bezogen auf das Streckennetz sollte eine möglichst genaue Vorhersage der Reichweiten erfolgen. Im Gegensatz zu üblichen Reichweitensystemen, die keine Topologie des Streckennetzes berücksichtigen sollte die Reichweite in alle möglichen Fahrrichtungen ermittelt werden.

Bei einer Reichweitenermittlung werden sehr viele Parameter berücksichtigt, die hier über Zwischenberechnungsgrößen zusammengefasst werden zu Berechnungsparametern, mit denen dann ein isochrones Routing (in alle Richtungen) ausgeführt wird.

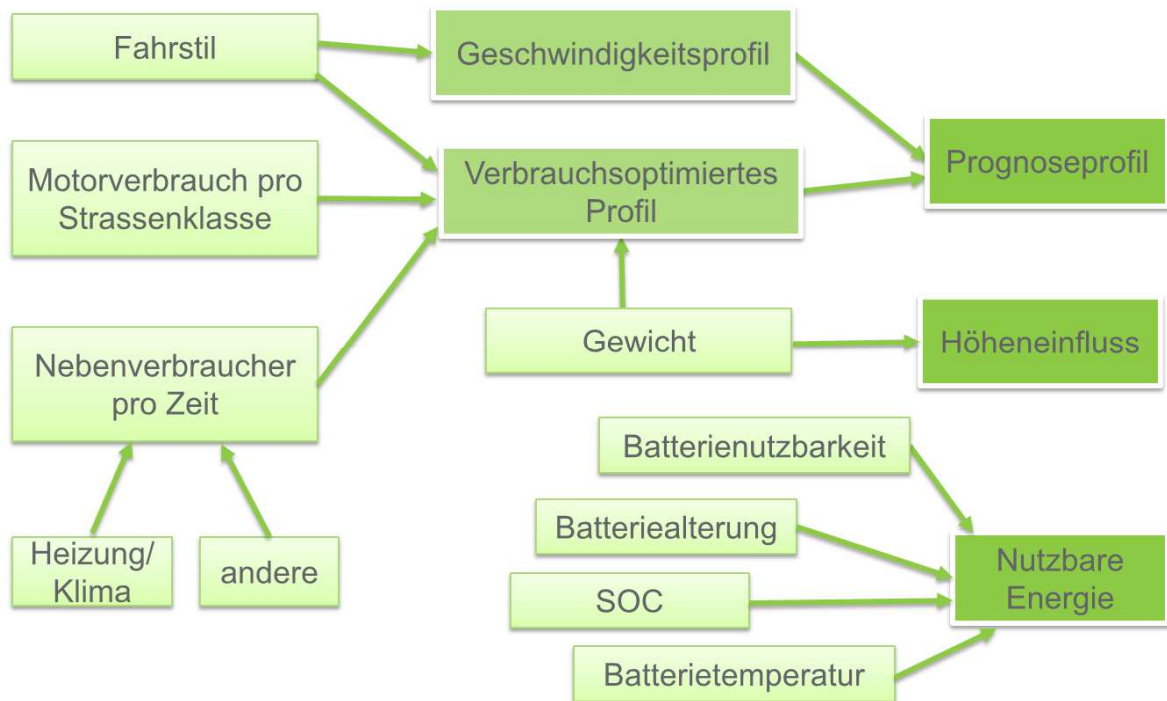


Abbildung 3: Übersicht Eingangsparameter für Reichweitenkalkulation

Der wichtigste Eingangsparameter für eine anschließende Reichweitenkalkulation ist dabei das Prognoseprofil. Es legt fest welche Straßen in welcher Präferenz und Verbrauch für die die Suche des erreichbaren Gebiets benutzt werden.

Hierbei wird auch das Fahrverhalten berücksichtigt. Wir gehen an dieser Stelle davon aus, dass der Fahrer auch bei Fahrten mit eMobilen schnell ans Ziel gelangen will und nicht eine reine energieoptimierende Fahrweise nutzt. Deshalb ist ein reelles Profil immer ein Kompromiss zwischen Verbrauchsoptimierung und Zeitoptimierung. Gleichzeitig wird auch bei der Energieberechnung berücksichtigt, wie energiesparend die Fahrweise des Fahrers ist.

Neben dem Verbrauch des Motors ist der Verbrauch von Nebenverbrauchern sehr wichtig. Diese haben auch konkrete Auswirkung auf die bevorzugten Straßentypen, so dass bei einem hohen Verbrauch der Nebenverbraucher wie z.B. der Heizung die Nutzung der Autobahn attraktiver wird, da der Verbrauch dann nicht geschwindigkeitsabhängig ist.

Großer Wert wurde gelegt auf die Berechnung der nutzbaren Batteriekapazität, die von vielen Faktoren abhängt, hier geht neben dem aktuellen Umfeld, wie z.B. aktuelle Temperatur, auch insbesondere verschiedene Alterungsfaktoren ein.

Kombination von Real-time-Daten und Simulation

Die intelligente Kombination von Real-time Daten mit simulierten Daten soll sicherstellen, dass das Reichweitenberechnungssystem in jedem Moment in einem konsistenten Zustand bleibt.

Bricht z.B. eine Datenversorgung mit real-time Daten ab, so wird eine Simulationsrechnung benutzt, auf die das System zurückgreift. Der Multi-level Key-Value Store kann so verschiedene Berechnungen gleichzeitig verwalten, und selbst entscheiden, was die beste verfügbare Information für das System ist.

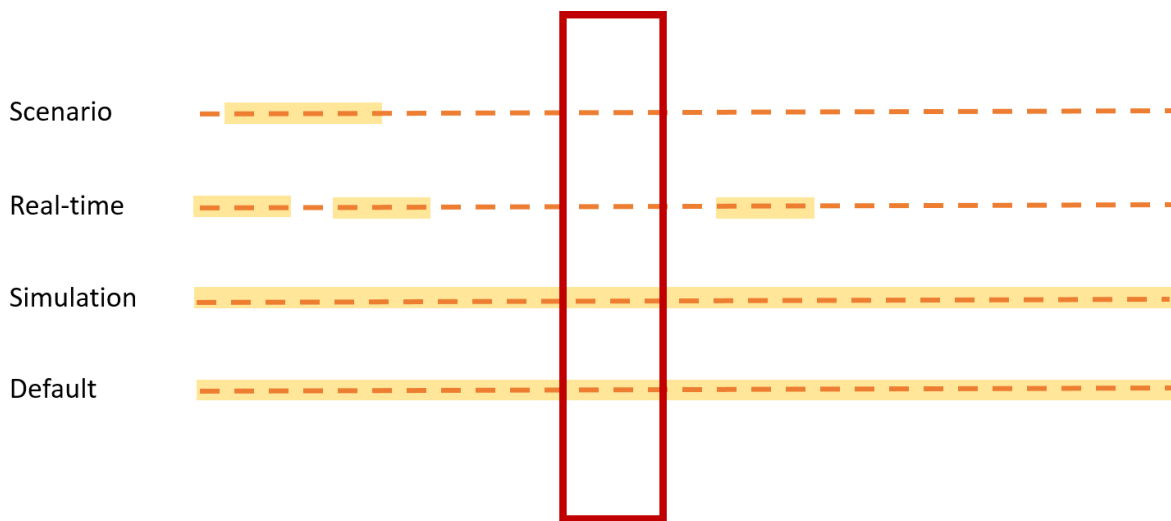


Abbildung 4: Mult-level Key Value Store: Die am höchsten priorisierten verfügbaren Daten werden verwendet

Simulierte Daten werden fortlaufend mitberechnet, um das System gegen abbrechende Realtime-Datenströme abzusichern. Real-time Daten werden im System in verschiedenen Parametern verarbeitet, sie werden mit einer gewissen Gültigkeitsdauer ins System gegeben, falls diese abbrechen sollte, übernimmt die Simulation. Dadurch ist das System extrem robust gegen ausfallende Daten, bis dahin, dass auch ganz ohne Real-time-Daten Reichweiten berechnet werden.

Ebenfalls durch das System abgedeckt sind Szenarienberechnungen (zum Beispiel, wie sähe meine Reichweite aus, wenn ich die Heizung abschalte). In so einem Fall werden die Daten mit höchster Priorität vom Szenarium zur Verfügung gestellt und haben Vorrang für eintreffenden Real-time Daten.

Jeder Wert hat dabei seine eigene Logik, somit ist es möglich, real-time Werte und simulierte beliebig zu mischen, um alle verfügbaren Daten flexibel verwenden zu können.

Rückwärtsgerichtete Berechnungskorrektur

Werden Voraussagen über die Reichweite angestellt, wird von Annahmen ausgegangen. Mit der Fahrt erhebt man aber Daten, die überprüfbar sind, insbesondere Geschwindigkeit, Beschleunigungsverhalten, sowie Anstiege und Gefälle. Diese Daten können genutzt werden, um simulative Daten weiter zu verfeinern.

Die Daten der aktuellen Simulation dadurch verfeinert, dass man die wirklich gefahrenen Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Höhenunterschiede kennt, und gegenüber der Prädiktion einen besseren rückwärtigen Verbrauch und damit SoC/Batteriestand berechnen kann.

Fahrzeug / Fahrermodell

Das Fahrzeug/Fahrermodell ermöglicht es aus Rahmenparametern eines Fahrzeugs und Fahrerannahmen ein komplexes Parameterfeld zu erzeugen, das für die Reichweitenberechnung benötigt wird.

Das Fahrermodell ist dabei vom Fahrzeug abhängig und bildet das Fahrverhalten in Bezug auf Geschwindigkeit und Beschleunigungsverhalten ab.

Das Fahrzeugmodell wird dabei grundgerichtet anhand der NEFZ-Angabe, auch wenn Sie mit deutlicher Vorsicht in Bezug auf reale Reichweiten zu bewerten ist.

Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Komponenten FZI / PTV bei der Reichweitenberechnung

Im Projekt Greennavigation wird die lokale Intelligenz erweitert über vergrößerte Real-time Eingriffsmöglichkeiten in den Algorithmus selbst.

Die Reichweitenberechnung ist architektonisch folgendermaßen aufgebaut:

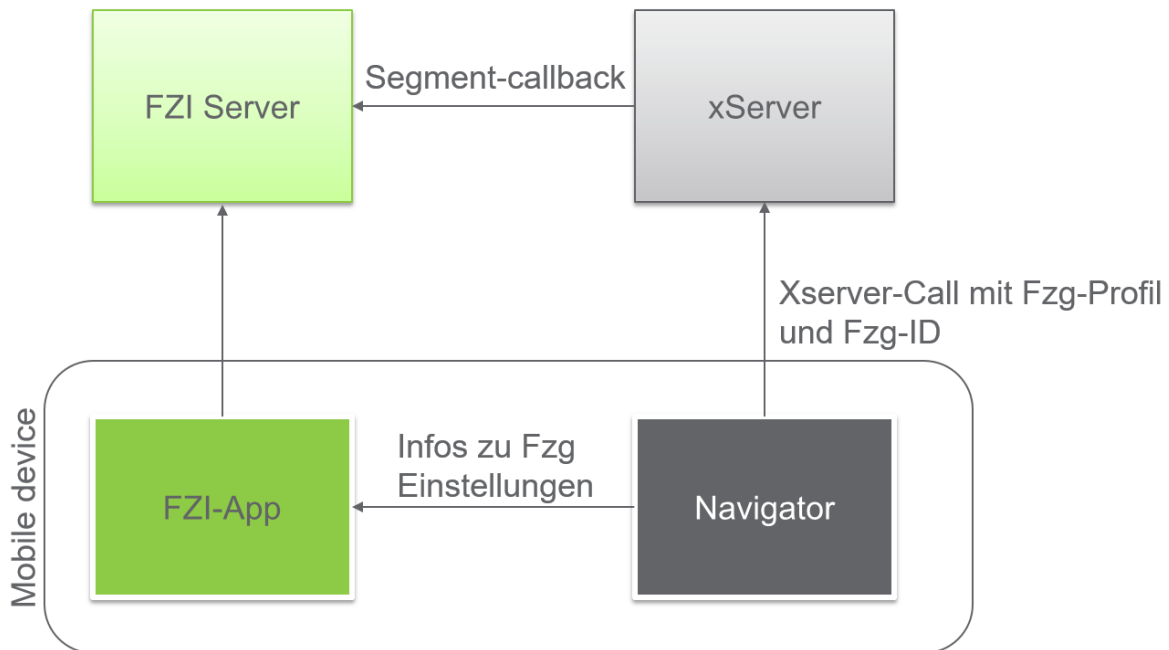


Abbildung 5: Architektur Reichweitenberechnung und Komponenten

Für die Serverberechnungskomponenten wurde eine Schnittstelle erstellt, mit der Routings über einen externen Dienst beeinflusst werden können. Dabei wird ein Routingserver im FZI betrieben, auf dem Routen berechnet werden.

Für diesen Server wurde eine Schnittstelle zur Routenberechnung eingebaut, damit via callback bei allen Entscheidungspunkten die Routenberechnung beeinflusst werden kann. Dazu werden sowohl Informationen zu einzelnen Segmenten übergeben, als auch Informationen über das Fahrzeug.

Im Callback können dann die einzelnen Kostenfaktoren verändert werden, so kann das Routingverhalten und die Kosten (in dem Fall die Reichweite) fahrzeugspezifisch und kontextspezifisch angepasst werden.

Die FZI App

Um den Routenberechnungsserver mit Informationen zum aktuellen Fahrzeug zu versorgen, wurde eine Schnittstelle geschaffen, die die Informationen aus der Navigation zum Fahrzeug an den

Routenberechnungsserver übergibt, so kann im Callback-modul eine Beziehung zu den eintreffenden Realtime-Daten aus dem Fahrzeug erstellt, und in die Berechnung integriert werden.

Eichung der Fahrzeugprofile

Bei Testfahrten mit dem e-Fahrzeug wurden genaue Messdaten erhoben und mit den Prädiktionsdaten verglichen. Daraus wurden angepasste Profile berechnet, die eine genauere Reichweitenprädiktion erlauben.

Dabei wurden Ankerpunkte gesetzt, die unterschiedliche Streckenarten (Steigung, Gefälle, Autobahn, Stadt) voneinander trennen, damit die Ergebnisse nicht nur ganzheitlich gültig sind, sondern auch in Bezug auf separierte Eigenschaften.

Mit diesen Daten wurden die Simulationsdaten in Bezug auf die erhobenen Werte verbessert.

2.2.3 Entwicklungsergebnisse im AP 200: Energieeffizientes Routing

Der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten der PTV lag im AP200 insb. in Bezug auf das energieeffiziente Routing und der Navigationsapplikation für die Validierung.

Im Rahmen des AP200 zum energieeffizienten Routing wurden folgende Teilaufgaben wahrgenommen:

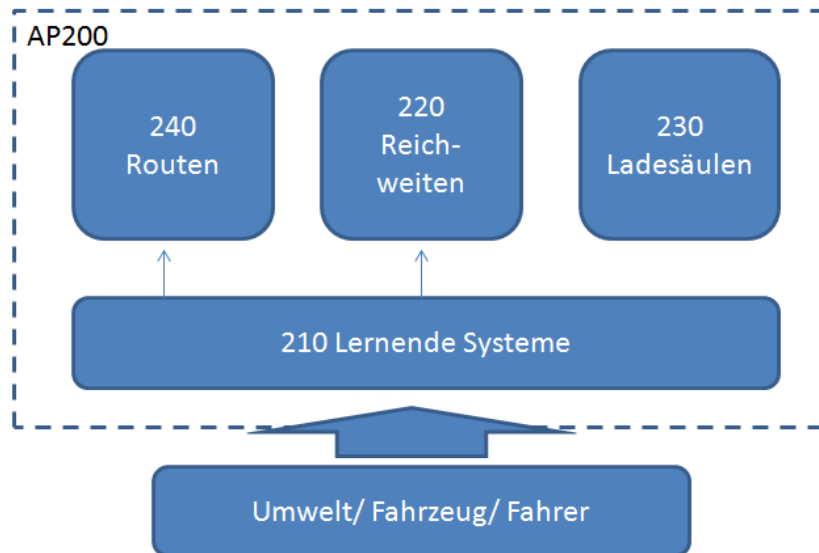


Abbildung 6: Struktur und Ziele AP 200

In den Teilaufgaben 210 (Lernende Systeme) und 220 (Darstellung von Reichweiten) wurden die Ergebnisse aus den Grundlagen und Modellen der AP 110, 120 und 130 verwendet. Die Entwicklungen sind in die Teilaufgabe 240 (Energieeffizientes Routing) eingeflossen. In der Teilaufgabe Ladesäulendienst (230) wurden Ergebnisse aus AP140 berücksichtigt, die Ladesäulendienste wurden dann dem Routing zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen dieses AP wurde eine Navigations-Applikation entwickelt und bereitgestellt, die eine nutzerfreundliche Umgebung bietet. Zielsetzung hierbei war, auf ein energieeffizientes Routing für Elektromobile auf Basis lernender Systeme, die auf Fahrprofile und/ oder simulierten Fahrverläufe basieren, zurückzugreifen. Weiterhin war die Darstellung und Nutzung von Ladesäulen im Straßennetz (öffentliche vs. private) vorgesehen. Verschiedene Modi (Eco-Modus, Normal etc.) sollten unterschiedliche Reichweiten ermöglichen bzw. darstellen. Die Anbindung serverseitiger/ Offboard-Systeme und Dienste sollte über das Application Gateway in AP400 konzipiert und für Evaluierungszwecke getestet werden. Hauptzielsetzung in diesem Zusammenhang war die nutzerorientierte Entwicklung des HMI für aussagekräftige Testläufe im Zuge der Validierung.

Das Ergebnis aus diesem Arbeitspaket sieht Navigationssysteme mit nutzerfreundlicher Oberfläche vor, die mit Hilfe Fahrzeugdatenanbindung und lernender Systeme zusätzliche relevante Informationen bereitstellen. Dabei wurden Lösungen erforscht und validiert zur Reichweiteninformation/ Darstellung,

effizienter Routenführung sowie um die benutzerfreundliche Verwendung von Ladesäulen für den Fahrer zu verbessern.



Abbildung 7: Screenshot Applikation mit Integration Live-Verkehrsdaten und Traffic-Timeline

Die Live Verkehrsdaten werden vom Server in einem kartenunabhängigen Format abgerufen und einbezogen in

- Routenplanung
- Ankunfts- und Reisezeitberechnungen
- Reichweitenberechnungen.

Die Verkehrsinformationen werden in einem kartenunabhängigen Format vom Server abgerufen und auf die Karte verortet. Die verbrauchserhöhende Wirkung von Verzögerungen auf der Route ist jedoch bei Elektrofahrzeugen nicht so gravierend wie bei konventionellen Fahrzeugen



Abbildung 8: eMobilitäts Assistent mit Split-Screen Anzeige

Mit einer cockpitähnlichen Ansicht wird der aktuelle Verbrauch des Elektrofahrzeugs dargestellt.

Dabei wird unterschieden zwischen Motorverbrauch und dem Verbrauch der Nebenverbraucher wie zum Beispiel Heizung / Klima. Dies ist wichtig, da die Verbrauchsarten gerade für die Reichweitenberechnung andere Charakteristika aufweisen.

Bei Zweitverbräuchern ist die Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit geringer, deshalb werden bei der Routenberechnung schnellere Straßen im Verhältnis stärker bevorzugt, wenn ein hoher Nebenverbraucherwert eingestellt ist. Dieser Wert lässt dann die Energieverbrauchsunterschiede pro gefahrene Strecke geringer ausfallen.

Der Verbrauch der aktuellen Batterieleistung wird dabei transparent dargestellt, durch Klick auf das Batteriesymbol wechselt man für 10 Sekunden auf die Reichweitenansicht, die die gesamte Reichweite des Fahrzeugs zeigt.

Die Berechnung der Verbräuche funktioniert sowohl mit angeschlossenen Real-time Daten über die Schnittstelle als auch in Simulationsumgebungen oder gemischten Modi. In jedem Falle wird Verbrauch und Batteriestand aus den besten zur Verfügung stehenden Quellen berechnet.

Im Falle einer Nicht-Verfügbarkeit von Live-Daten werden die Fahrwerte inklusive der Höhenunterschiede und der Fahrstilanalyse herangezogen, um den rückwärtsgerichteten Batterieverbrauch aus den Live-Fahrdaten zu korrigieren

Energieeffizientes Routing

Erfahrungen aus anderen Elektromobilitäts-Projekten zeigen, dass Nutzer wünschen, auch bei Elektrofahrzeugen den gewohnten zeitoptimierten Fahrstil beizubehalten, sobald es jedoch knapp werden könnte, sind Nutzer an einem energieoptimierten Fahrstil und Routenführung mehr interessiert. Erstaunlicherweise gibt es wenig Interesse an Zwischenformen.

Wir haben diesem Wunsch Rechnung getragen über die unterschiedlichen Fahrstil- und Routingprofilen, die diesen Szenarien entsprechen. Die folgenden Tabellen stellen die Fahrzeugprofil für den im Projekt eingesetzten Peugeot 3008 dar.

Tabelle 2: EV-spezifische Einstellungen des Standard-Fahrzeugs Peugeot 3008 FEV

[EVSettings]

EV_SpeedTable=117,101,94,70,56,51,48,42,35,28,21,14,28,0,14

EV_ConsumptionTable=24.6,20.8,19.2,15.0,13.4,13.2,12.8,12.2,11.4,11.7,12.1,12.6,13.5,0.0,12.6

EV_AccelConsumptionTable=1.2,1.2,1.3,1.4,1.8,2.2,2.1,2.0,1.9,2.7,3.4,4.2,4.5,0.0,4.2

EV_NoAccelConsumptionTable=23.5,19.6,18.0,13.7,11.7,11.0,10.7,10.1,9.5,9.0,8.6,8.4,9.0,0.0,8.4

EV_CurrentEngineConsumption=15.0

EV_CurrentStaticConsumption=1.3

EV_OriginalBatteryCapacity=27.0

EV_OriginalBatteryYearMonth=1506

EV_BatteryDegradePerYear=5.0

EV_BatteryDegradeKilometrage=0.0

EV_BatteryDegradeBy1000km=0.16

EV_BatteryDegradeByDegree=1.2

EV_CoolingHeatingMax=6.0

EV_CoolingHeatingCurrentPercent=30.0

EV_BatteryCurrentTemperature=21.0

EV_OutsideTemperatureCurrent=21.0

EV_ReachableRange=202,2

EV_OtherStaticConsumers=0.1

EV_VehicleWeight=2100

EV_VehicleSlopeEfficiency=1.25

EV_VehicleSlopeRecuperation=0.54

EV_MixFactorSpeedConsumptionProfile=50.0

Tabelle 3: EV-spezifische Einstellungen des Eco-optimierten-Fahrzeugs Peugeot 3008 FEV

[EVSettings]

EV_SpeedTable=88,76,70,53,42,38,36,32,26,21,15,11,21,0,11

EV_ConsumptionTable=17.6,15.5,14.6,12.4,11.7,11.7,11.5,11.1,10.7,11.2,11.8,12.4,13.0,0.0,12.4

EV_AccelConsumptionTable=0.8,0.9,1.0,1.1,1.5,2.0,1.9,1.9,1.8,2.6,3.4,4.1,4.3,0.0,4.1

EV_NoAccelConsumptionTable=16.8,14.6,13.7,11.3,10.1,9.8,9.6,9.3,8.9,8.6,8.4,8.3,8.6,0.0,8.3

EV_CurrentEngineConsumption=12.4

EV_CurrentStaticConsumption=1.3

EV_OriginalBatteryCapacity=27.0

EV_OriginalBatteryYearMonth=1506

EV_BatteryDegradePerYear=5.0

EV_BatteryDegradeKilometrage=0.0

EV_BatteryDegradeBy1000km=0.16

EV_BatteryDegradeByDegree=1.2

EV_CoolingHeatingMax=6.0

EV_CoolingHeatingCurrentPercent=30.0

EV_BatteryCurrentTemperature=21.0

EV_OutsideTemperatureCurrent=21.0

EV_ReachableRange=180

EV_OtherStaticConsumers=0.1

EV_VehicleWeight=2100

EV_VehicleSlopeEfficiency=1.25

EV_VehicleSlopeRecuperation=0.54

EV_MixFactorSpeedConsumptionProfile=30.0

Die unterschiedlichen Werte wurden hervorgehoben. Man kann deutlich erkennen, dass mit der ökologischen Optimierung wesentlich geringere Verbrauchswerte erzielt werden, vorwiegend durch geringere Geschwindigkeiten. Darüber hinaus gibt es einen großen Effekt durch die stärkere Berücksichtigung der Verbrauchsoptimierung, die zu einer geringeren Berücksichtigung von Autobahnen und kleineren Stadtstraßen führt. Steigungen und Gefälle wirken bei solchen Berechnungen eher nivellierend, da sie gleichermaßen bei einer öko-optimierten Route als auch bei einer Standard-Route zum Tragen kommen.

Integration von Ladesäulendienste

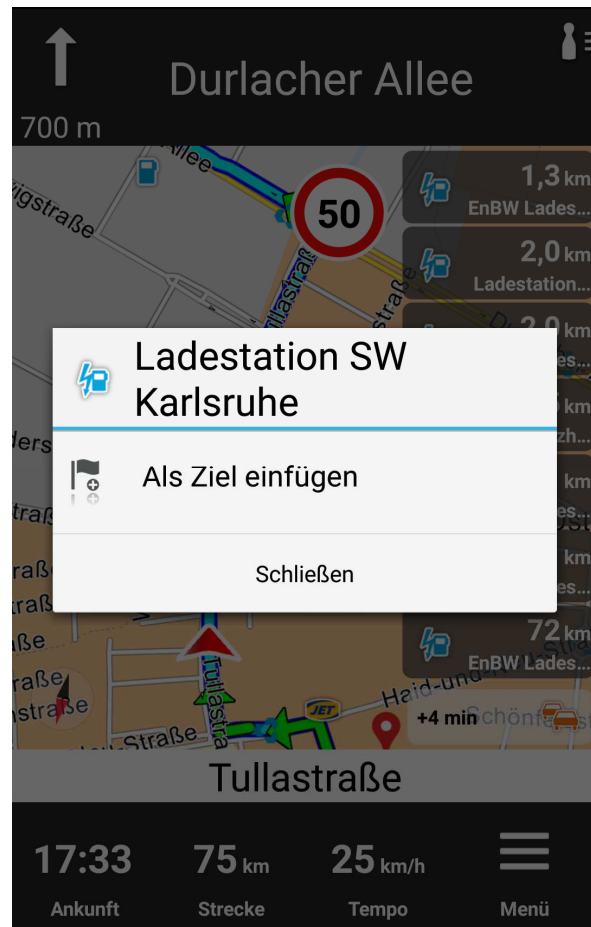
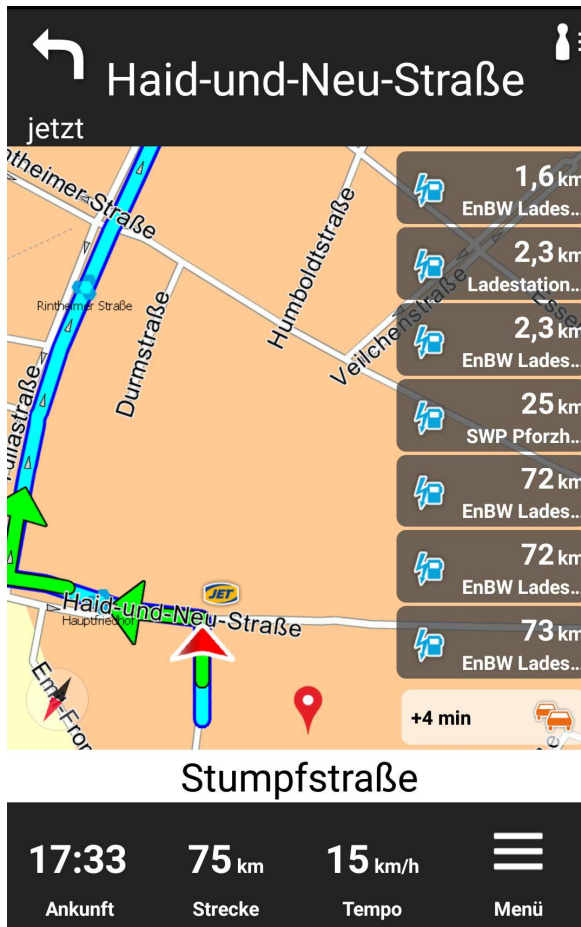


Abbildung 9: Ladesäulenassistent

In Partnerschaft mit dem iZeus-Projekt wurden die Ladesäulen von EnBW integriert.

Diese können als mögliche Lademöglichkeiten entlang der aktuell geplanten Strecke angezeigt werden. Durch Klick erhält man Informationen zur Lage, und kann sie in die aktuelle Streckenplanung als Zwischenstation einfügen, ohne das ursprüngliche Ziel aus dem Auge zu verlieren.

Auch mit aktivem Ladestationsassistenten werden aktuelle Verkehrsinfos eingeblendet, mit schneller Wechselmöglichkeit auf den Verkehrsinformationsassistenten.

Die Ladesäulendienste wurden komplett umgestellt von einem Split-screen auf einen Swipe-in Assistenten, der über eine Karte liegt auf geänderter technologischer Basis.

Die Ladesäulen entlang der Strecke werden jetzt innerhalb des Kartenbereichs dargestellt und bauen sich systemverträglich iterativ auf.

2.2.4 Ergebnisse aus dem AP 300: Driver Education

Nach anfänglichen Arbeiten und Abstimmungen zur Fahrerassistenz mit dem Partner Harman wurden von PTV Seite zunächst die Themen elektronischer Horizont und Schnittstelle zur Anzeige von Fahrhinweisen aufgenommen und konzipiert.

Ein elektronischer Horizont wurde in die Schnittstelle (API) des Navigators integriert. Der elektronische Horizont liefert dabei Informationen zu

- Nächstes Manöver
- Entfernung des nächsten Manövers
- Nächstes Speedlimit
- Entfernung nächstes Speedlimit

Mit diesen Zusatz-Informationen können Fahrhinweise bezüglich einer vorrausschauenden Fahrweise optimiert werden.

Die Schnittstelle wurde auch erweitert für die Ausgabe von Hinweisen an die Nutzer. So stehen Schnittstellen-Dienste für weitere Möglichkeiten zur Kommunikation mit dem Nutzer zur Verfügung.

- Hinweise als Schild
- Hinweise am unteren Rand des Schirms
- Mit Text2Speech können beliebige Texte ausgesprochen werden
- Message-box zur Kommunikation mit 1-3 selbstbelegbaren Knöpfen



Abbildung 10: Darstellung Fahrhinweise, Beispiel: Warnhinweis Batteriestand

Die dargestellten Hinweise haben eine Laufzeit und der Hinweis verschwindet nach einer definierten Zeit, sichtbar am Ablaufbalken unter dem Hinweis.



Abbildung 11: Beispiel Fahrhinweis zum energiesparenden Fahren

Die Hinweise sind ideale Richtwerte, die die Richtgeschwindigkeit bei Eco-Profilen darstellen. Die API ermöglicht insgesamt die Kommunikation mit dem Fahrer, insbesondere im Hinblick auf eine effiziente Fahrweise.

2.2.5 Ergebnisse aus dem AP 400: Application Gateway

Im Zuge der Anbindung der Off-Board-Systeme lagen die Schwerpunktaktivitäten der PTV in der Schnittstellenabstimmung und Anbindung zur Reichweitenprädiktion sowie dem energieeffizienten Routing. Wie bereits in AP100 beschrieben, wurden die Back-end-Serverdienste im Rahmen einer abgestimmten Systemarchitektur angebunden.

Für diese Komponenten wurden Schnittstellen realisiert, mit der Routings über einen externen Dienst beeinflusst werden können. Dabei wird ein Routingserver im FZI betrieben, auf dem Routen berechnet werden.

Für diesen Server wurde eine Schnittstelle implementiert, über die via Callback bei allen Entscheidungspunkten die Routenberechnung beeinflusst werden kann.

Im Callback können dann die einzelnen Kostenfaktoren verändert werden, so kann das Routingverhalten und die Kosten (in dem Fall die Reichweite) fahrzeugspezifisch und kontextspezifisch angepasst werden.

Um den Routenberechnungsserver mit Informationen zum aktuellen Fahrzeug zu versorgen, wurde eine Schnittstelle geschaffen, die die Informationen aus der Navigation zum Fahrzeug an den Backend-server übergibt, so kann im Callback-modul eine Beziehung zu den eintreffenden Realtime-Daten aus dem Fahrzeug erstellt, und in die Berechnung integriert werden.

Zur Anbindung von Wetterdaten wurden umfangreiche Aktivitäten von Daimler Fleetboard federführend vorangetrieben. PTV war in diese Aktivitäten insb. in Bezug auf die Abstimmungen zur Wetterschnittstelle eingebunden.

Dabei wurden Standards für die Schnittstellen untersucht und soweit möglich auf standardisierte Schnittstellen zurückgegriffen.

2.2.6 Ergebnisse aus dem AP 500: Integration und Validierung

Im Rahmen der Projektarbeiten war PTV in AP500 bei der Konzeption für das Validierungsmodell eingebunden. Als Teil dessen wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das absichern soll, Ergebnisse auch bei fehlender Online-Verbindung und beim Fehlen aktueller Werte erzeugen zu können. In solchen Fällen sollte dann auf lokale Berechnungen, Benutzereingaben, Simulationen oder Defaultwerte zurückgegriffen werden.

Zudem wurde in Zusammenarbeit mit IPG ein Konzept abgestimmt, welches die Integration der Navi-GUI in die Simulationsumgebung zur Demonstration vorsieht. Die Integration der mobilen Navigation in die Integrations- und Testplattform wurde in Zusammenarbeit mit IPG realisiert.

Diese Aktivitäten wurden insb. im Vorfeld zum Technologietag auf der Messe World of Energy Solutions 2013 unternommen, um die Applikationen im Fahrerlebnisplatz zu demonstrieren. Als Vorbereitung wurden Integrationstests in der Simulationsumgebung beim Partner IPG vorgenommen, um die Applikationen im Simulationsumfeld Fahrerlebnisplatz zu testen.

Dieser Testaufbau konnte dann im weiteren Projektverlauf für Integrationstest und weitere Demonstrations- und Präsentationsevents genutzt werden.

Weiterhin wurde die Integration der Simulationskomponenten an die PTV Simulationssoftware Vissim zur Simulationsdatenversorgung unterstützt.

Im Rahmen des Projekts wurden alle Integrationsschritte abgeschlossen und somit die Integrationstests und die Validierungsarbeiten ermöglicht und weiter unterstützt. Die Systeme wurden von verschiedenen Probanden genutzt, PTV leistete hierzu kontinuierlich technische Unterstützung, um die Verfügbarkeit und Performanz der Systeme im Projektverlauf zu gewährleisten.

Zusätzlich wurden im Rahmen der verlängerten Feldversuche die realen Testfahrten mit dem Erprobungsfahrzeug aktiv unterstützt.

3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projekt startete gemäß Planung am 01.09.2012 und hatte eine ursprünglich geplante Laufzeit von 36 Monaten. Aufgrund von notwendigen verlängerten Testphasen wurde für das Projekt eine kostenneutrale Verlängerung um 6 Monate beantragt. Die Bestätigung zur Verlängerung erfolgte durch den Projektträger mit Schreiben vom 24.06.2015. Die Projektlaufzeit endete somit final zum 29.02.1016.

Das Gesamtbudget der PTV lag gemäß Vorkalkulation bei € 520.000.

4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Entwicklungsarbeiten der PTV in Bezug auf die mobile Navigation sowie auch der Reichweitenberechnungsdienste kann für zukünftige Entwicklungsschritte bei den einzelnen Komponenten gut weiter verwendet werden. Die Schnittstellendokumentationen sowie die detaillierten Analysen zu den Modellen und Berechnungsverfahren werden im Rahmen der Weiterentwicklung der PTV Komponenten verwertet.

Die entwickelten Dienste und Schnittstellen stehen für weitere prototypische Testphasen zur Verfügung und können insb. im Rahmen von weiteren Elektromobilitätsprojekten genutzt werden. In diesem Zusammenhang wird derzeit analysiert, inwieweit die Dienste für Anwendungsfälle in kommerziellen Flotten und für weitere Fahrzeugkategorien nutzbar sind. Potential wird hierbei in der Kopplung von Navigations- und Planungslösungen für sogenannte Mischfuhrparks gesehen, die in Zukunft relevanter bei der Innenstadtbelieferung werden können. Die PTV Systemen könne hier einen wichtigen Beitrag für die effiziente Verplanung von Flotten in den Innenstädten leisten und damit die Nutzung von Elektro-Nutzfahrzeugen (z.B. Sprinter- oder 7,5t-Klasse) erleichtern.

Weiterhin wird derzeit die Anwendung und Weiterentwicklung der Komponenten in Richtung Elektrotrucks größer 12t analysiert und geplant.

Aufgrund der nach wie vor sehr geringen Stückzahl an E-Fahrzeugen im kommerziellen Einsatz sind derzeit die wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten im Sinne der Produktvermarktung nur sehr eingeschränkt gegeben. Mittel- bis langfristig wird jedoch diesbezüglich Potential gesehen. Aufgrund der flexiblen Weiterentwicklungs- und Anpassungsmöglichkeiten z.B. in der Fahrzeugmodellierung und in der standardisierten Schnittstelle der Navigation hin zu Planungs- und Steuerungssystemen sowie Telematikanbietern kann sehr dynamisch auf aktuelle Marktentwicklungen, neue Fahrzeugmodelle und geänderte Rahmenbedingungen in der Entwicklung reagiert werden.

5 Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeiten

Um die Forschungsziele zu erreichen wurden gemäß Arbeitsplan umfangreiche Entwicklungsarbeiten durchgeführt und intensiv mit den Projektpartnern abgestimmt. Dabei wurden auf Arbeitsebene Workshops und Entwicklertreffen realisiert. Auf Projektleiterebene fanden Konsortialtreffen statt.

Zur Kooperation innerhalb des Verbundprojekts fanden folgende Treffen bzw. Events statt:

Tabelle 4: Projektmeetings und Workshops während der Projektlaufzeit

Datum	Event/ Thema	Ort/ Partner
22.10.2012	Kick-Off Meeting GreenNavigation	KA/IPG
04.12.2012	Kooperationstreffen mit Spitzenclusterprojekt eFlotte	KA/
17.12.2012	Projekttreffen	KA/FZI
09.01.2013	AP100,200 technical session	FZI, KA
18.01.2013	Konsortialtreffen - Workshop	CML, Bruchsal
06.03.2013	Konsortialtreffen GreenNavigation	FZI, KA
03.05.2013	Systemintegration - Workshop	FZI, KA
12.06.2013	Konsortialtreffen, Vorbereitung Statusseminar	FZI, KA
10.09.2013	Konsortialtreffen, Meilensteinpräsentation PT	IPG, KA
27.09.2013	Integrations-workshop zur Simulationsumgebung	IPG, KA
17.03.2014	Technical Workshop zur Einbindung von Wetterdaten	KA/FZI
06.05.2014	Workshop/ Abstimmung zwischen den AP	KA/FZI
14.05.2014	Statusseminar/ Projektdarstellung	Stuttgart
24.07.2014	Projektdarstellung für PT - "Abbruchmeilenstein"	KA/FZI
12.11.2014	Workshop/ Abstimmung zwischen den AP	KA/FZI
23.04.2015	Ausstellung/Exponat Innovationstraum	Stuttgart

	Elektromobilität	
09.06.2015	GreenNavigation Workshop	KA/FZI
29.10.2015	Exponat/ Demonstrator - Event Fields of Innovation	Ludwigsburg
23.11.2015	Posterausstellung - BMBF Statusseminar Elektromobilität	Bonn
23.02.2016	Testsession Final Event	KA/FZI
24.02.2016	Abschlussveranstaltung GreenNavigation	KA/FZI
Alle 2 W.	Projektmanagement, aktuelle Themen	Telko

6 Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Rahmen weiterer Förderschwerpunkte im Bereich Elektromobilität wurden ähnliche Forschungsarbeiten zu einzelnen Arbeitspaketen in GreenNavigation angegangen worden. IKT-Lösungen im Projekt SmartCity Logistik Erfurt haben die Reichweitenthematik teilweise mit betrachtet, hierbei mit Schwerpunkt auf City-Logistik. Weiterhin hat sich das Projekt smartMobility Thüringen mit Serviceplattformkonzepten sowie der Vernetzung von Fahrzeug, Nutzer und Energieversorgern beschäftigt. Die Fahrzeug-, Fahrermodelle und die mehrstufige Verbesserung der Reichweitenberechnung, Prognose und Darstellung auf dem mobilen Client sowie insbesondere die Erprobung einerseits in der Validierungsumgebung mit Fahrsimulation sowie der erweiterten Fahrzeugtests mit realen Testfahrten markieren Alleinstellungsmerkmale im Kontext der Elektromobilitätsprojekte.

Weiterer Fortschritt wurde während der Projektlaufzeit bei den Fahrzeugherstellern festgestellt. Neue E-Fahrzeug-Modelle kamen auf den Markt und integrieren bereits einige Funktionen im Fahrzeug selbst. Beispielsweise das BMW-Modell i3 bietet optional ein fest installiertes Navigationsgerät mit integrierter Reichweitenberechnung und Darstellung auf der Navigationsoberfläche. Mit den i-connected Drive services werden weitere Informationen und Dienste über das BMW eigene backend angebunden. Es handelt es sich jedoch um ein proprietäres und spezifisch auf diesen einen Fahrzeugtyp zugeschnittenes System. Schnittstellen zu anderen Systemen bzw. mobilen Applikationen werden nicht bereitgestellt.

Andererseits sind einige E-Fzg und auch Hybrid-Modelle die zu Beginn des Projekts serienmäßig angeboten wurden, wieder vom Markt verschwunden (z.B. Mercedes-Benz eVITO, smart fortwo ElectricDrive oder auch Opel Ampera).

7 Öffentlichkeitsarbeit – Veröffentlichungen und Präsentationen

Im Folgenden ist eine kurze Übersicht über die Aktivitäten zur Öffentlichkeitsarbeit dargestellt, an denen PTV aktiv mitgewirkt hat:

- Im Rahmen des Statusseminars am 26.06.13 in Karlsruhe am FZI wurde ein Projektvortrag vom Koordinator gehalten. Inhalte hierzu wurden zu den entsprechenden Themenschwerpunkten von PTV beigesteuert.
- In Zusammenarbeit mit den Partnern FZI und IPG wurde für die Messe World of Energy Solutions bzw. den e-Mobil BW Technologietag am 01./02.10.13 ein Demonstrator aufgebaut, der die verschiedenen Komponenten im Zusammenspiel erlebbar gemacht hat. Hierzu steuerte PTV die mobile Navigation inkl. Anbindung an die Fahrsimulation bei.
- Das zweite Statusseminar fand am 27.11.13 in Stuttgart statt, zur GreenNavigation Präsentation in diesem Rahmen trug PTV inhaltlich bei.
- Auf der Veranstaltung „Flottenmix der Zukunft“ des Fraunhofer IAO am 17. November 2014 in Stuttgart wurde ein Vortrag über Lösungen für Elektrofahrzeuge mit Beispielen aus GreenNavigation gehalten.
- Ausführliche Darstellung der Navigationslösungen und Reichweiten in der Veröffentlichung: „MOBILITÄTSDIENSTE UND INTEGRIERTE FUNKTIONSENTWICKLUNG ZUR REICHWEITENOPTIMIERUNG“, in atz extra, Sept. 2014.
- Bei der Veranstaltung „Fields of Innovation“ der e-Mobil-BW am 29. Okt 2015 in Ludwigsburg wurde das Projekt mit dem Demonstrator, den angebotenen Systemen/ Applikationen und dem Erprobungsfahrzeug ausgestellt.
- Im Rahmen des Statusseminars Elektromobilität des BMBF am 23.11.2015 in Bonn wurde GreenNavigation im Rahmen der Postersession präsentiert.
- Die Abschlussveranstaltung fand am 24.02.2016 in den Räumen des FZI-LivingLabs in Karlsruhe statt. Neben den inhaltlichen Ergebnisvorträgen der einzelnen Partner wurden die Applikationen im Zusammenspiel mit den verschiedenen Systemen live demonstriert.

Ausgewählte Fotos zu einzelnen Events sind auf den nächsten Seiten dargestellt.



Abbildung 12: GreenNavigation-Demonstrator auf dem e-Mobil BW Technologietag am 01.10.2013



Abbildung 13: Fahrerlebensplatz mit mobiler Navigation – eMobil-BW Technologietag am 01.10.2013



Abbildung 14: Agenda „Flottenmix der Zukunft“ 17.11.2014, PTV-Vortrag zu Navigationslösungen

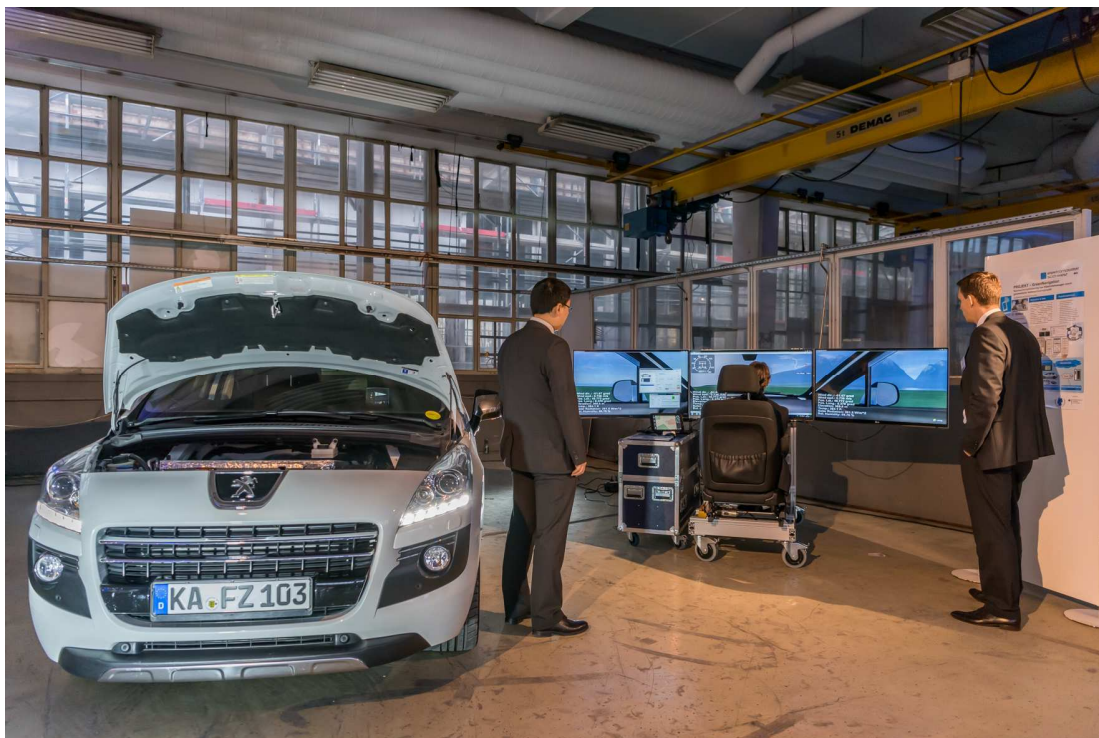


Abbildung 15: Fahrerlebensplatz und Erprobungsfahrzeug, „Fields of Innovation“, 29.10.2015

GreenNavigation

Reichweitenoptimierung von Elektrofahrzeugen durch ganzheitliche Verbrauchsprognostik

INFORMATION UND KOMMUNIKATION



Motivation & Ziele

GreenNavigation verfolgt das Ziel der Reichweitenoptimierung von Elektrofahrzeugen. Durch eine umfassende Betrachtung verbrauchsbeflussender Faktoren zur Reichweitenprädiktion und geeignete Strategien im Fahrzeug sowie zwischen Fahrzeug und Infrastruktur werden für den Nutzer personalisierte und effiziente Mobilitätslösungen bereitgestellt, die einer ressourceneffizienten Mobilität mit neuartigen Fahrzeug- und Fahrzeugnutzungskonzepten gerecht werden.

Projektergebnisse

- Zuverlässige, ganzheitliche Reichweitenprädiktion
- Online Wetterdaten- und Ladesäulendienst
- Adaptive Fahrhinweise
- Onboard/Offboard Routen- und Reichweitenberechnungsdienste
- Verschlüsselte Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Backend
- Validierungs- und Testumgebung für Entwicklung von E-Fahrzeugen
- Live-Tests mit voll integriertem Versuchsfahrzeug



Durchgängige Entwicklungs- und Validierungsumgebung für E-Fahrzeuge

Reichweitenanzeige in der Navigation



Online Wetterdatenintegration



managed by
e-mobil 

Dr.-Ing. Christian Donn
IPG Automotive GmbH
christian.donn@ipg.de



Abbildung 16: Posterdarstellung für BMBF-Statusseminar Elektromobilität, Bonn, 23.11.2015



- 09:00: Begrüßung und Vorstellung der Teilnehmer
- 09:15: Gesamtprojektvortrag (Reflektion GVB zum Projektende)
 - Review: Vorhaben, Ziele, Meilensteine, Ergebnisse
- 09:45: Rundgang und Vorstellung der Demonstratoren
- 10:30: Ergebnisvorträge der Zuwendungsempfänger (je 15 min)
(Ergebnisse, Verwertung/Verwertungsplan/wissenschaftl. Anschlussfähigkeit, Mittelabruf)
 - CarMedialab GmbH
 - Daimler Fleetboard
 - FZI Forschungszentrum Informatik Karlsruhe
 - IPG Automotive GmbH
 - PTV Group
 - Robert Bosch GmbH
- 12:00: Rückmeldung des Projektträgers und Diskussion
- 12:30: Gemeinsames Mittagessen
- 13:30: Ende der Veranstaltung

Abbildung 17: Agenda Abschlussveranstaltung, Karlsruhe, 24.02.2016

Kurzfassung zum Schlussbericht

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel GreenNavigation – Reichweitenoptimierung von Elektrofahrzeugen durch ganzheitliche Verbrauchsprognostik		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schygulla, Michael Hubschneider, Michael	5. Abschlussdatum des Vorhabens 29.02.2016	
	6. Veröffentlichungsdatum	
	7. Form der Publikation Schlussbericht	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) PTV Planung Transport Verkehr AG Haid- und Neu-Str. 15 76131 Karlsruhe	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 13N12364	
	11. Seitenzahl 39	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben	
	14. Tabellen 4	
	15. Abbildungen 17	
16. Zusätzliche Angaben Teilvorhaben: Reichweitenprädiktion und energieeffizientes Routing		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI/VDE, Berlin, 17.08.2016		
18. Kurzfassung Die Reichweitenoptimierung eines E-Fahrzeugs stellt eine der größten Herausforderungen dar und ist eines der zentralen Ziele des Clusters Elektromobilität Süd-West. Unter Green Navigation versteht man sämtliche Optimierungsstrategien im Fahrzeug sowie zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, um für den Nutzer personalisierte und effiziente Mobilitätslösungen bereitzustellen, die einer energie- und ressourceneffizienten Mobilität unter Berücksichtigung neuartiger Fahrzeug- und Fahrzeugnutzungs-konzepte gerecht werden. Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Teilvorhabens der PTV lagen schwerpunktmäßig auf den Themen Reichweitenberechnung bzw. -prädiktion, sowie energieeffizientes Routing. Die Forschungsarbeiten umfassten dabei eine Fülle von Aktivitäten zur Konzeption und Weiterentwicklung von Navigationslösungen speziell zugeschnitten auf die Elektrofahrzeuge. Die wichtigsten Fortschritte im Einzelnen: Die Reichweitenberechnung wurde um eine topologische Komponente erweitert. Im Rahmen dieser Erweiterung wurden auch segmentbezogene Höhendaten aufbereitet, und typische Effizienzfaktoren für Steigungen und Rekuperation bei Gefälle erarbeitet. Die Serverschnittstelle zur FZI-Reichweitenberechnung sowie zur Fahrzeug-ID-Übermittlung für die Reichweitenberechnung wurden erweitert. Der Ladesäulen-Assistent wurde komplett reengineert und funktional erweitert.		
19. Schlagwörter Reichweitenprädiktion, Energieprognose, Routing, Navigation, Elektrofahrzeuge,		
20. Verlag -	21. Preis -	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title GreenNavigation – Range optimization of electric vehicles through holistic prognosis of energy consumption	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schygulla, Michael Hubschneider, Michael	5. end of project 29.02.2016
	6. publication date
	7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address) PTV Planung Transport Verkehr AG Haid- und Neu-Str. 15 76131 Karlsruhe	9. originator's report no.
	10. reference no. 13N12364
	11. no. of pages 39
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 17
16. supplementary notes Workpart: Range prediction and energy efficient Routing	
17. presented at (title, place, date) VDI/VDE, Berlin, 17.08.2016	
18. abstract The range-optimization of an electric vehicle is one great challenge in electro-mobility. Therefore this is one of the key goals of Cluster Electro Mobility South-West. GreenNavigation stands for the entire optimization strategies in the vehicle as well as between vehicle and infrastructure to provide the user with personalized and efficient mobility solutions. These solutions should foster energy- and resource-efficient mobility considering new vehicle technologies and use cases. The technical and scientific working goals of PTV's work-part focused on range prediction and calculation as well as energy-efficient routing. The research activities covered a broad range of concepts and developments of navigation solutions tailor made for electric vehicles. The most important progress have been made in the following fields: The reachable range calculation has been enhanced by a topological component. Within this approach segment based data with heights have been processed in order to produce typical efficiency factors for ascending slopes and recuperation at gradients. The interfaces with FZI-backend server for reachable range calculation and for vehicle related data transfer have been enhanced. Charging station assistant has been completely new developed and integrated into the application. A mobile client solution for electric vehicle navigation has been provided with specific interface for the demonstration phase of the project.	
19. keywords Range prediction, energy prognosis, routing, navigation, electric vehicles	
20. publisher -	21. price -