

AUTOREN



DR. ALEXANDER VIEHL
ist Leiter der Abteilung Systementwurf in der Mikroelektronik am FZI Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe.



DR.-ING. CHRISTIAN DONN
ist Fachreferent Antriebssysteme bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.



DR. LUTZ BERSINER
ist Fachreferent beim Zentralbereich Forschung und Vorausbildung der Robert Bosch GmbH in Hildesheim.



DR. EMRE ÇAKAR
ist Entwicklungsingenieur beim Zentralbereich Forschung und Vorausbildung der Robert Bosch GmbH in Hildesheim.

MOTIVATION

Das im Spitzencluster Elektromobilität Süd-West vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „GreenNavigation“ verfolgt das Ziel, die nutzbaren Reichweiten von Elektrofahrzeugen zu optimieren. Dazu werden moderne Kommunikationstechnologien und Entwicklungswerkzeuge intelligent miteinander verbunden. Um zuverlässige Vorhersagen des Energieverbrauchs zu generieren, wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt. Dieser berücksichtigt sowohl die Fahrzeugeigenschaften und Betriebsstrategien als auch das Fahrerverhalten und wetterbedingte Einflüsse. Er bezieht zudem den Informationsaustausch zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und Umgebung mit ein.

In GreenNavigation werden dabei zwei unterschiedliche Ebenen verknüpft: Auf der Ebene der Makrooptimierung erfolgt eine Planung energieoptimierter

Routen. Die Berechnung erfolgt auf der Basis von Verkehrsdaten, Informationen über Ladesäulen, Ladezeiten und Parkmöglichkeiten sowie Fahrzeug- und Streckeneigenschaften. Auf der Ebene der Mikrooptimierung werden der Fahrer selbst – durch individuelle Fahrempfehlungen sowie einer Effizienzbewertung seiner Fahrweise – und das Energiemanagement des Fahrzeugs unter Berücksichtigung beispielsweise des Wetters einbezogen. Im Projekt werden die erforschten Dienste prototypisch umgesetzt und stufenweise, beginnend bei einem Simulationsmodell, in ein Elektrofahrzeug integriert und in realen Szenarien bewertet.

An GreenNavigation beteiligen sich neben der IPG Automotive GmbH, die die Projektkoordination innehat, das FZI Forschungszentrum Informatik, die Robert Bosch GmbH, die CarMedialab GmbH, die Daimler FleetBoard GmbH sowie die PTV Group.

ARCHITEKTUR UND GENERELLER ANSATZ

Im Gegensatz zu existierenden Ansätzen für eine Bestimmung und Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen, die oftmals nur wenige Informationen wie den Ladestand, die aktuelle Außentemperatur und gemittelte Verbräuche für eine Reichweitenprognose miteinander kombinieren, setzt GreenNavigation auf weitere Einflussgrößen, welche sowohl eine umfassende Betrachtung und Lösung der Problemstellung erlauben als auch eine technische Realisierung ermöglichen. Die konzeptionellen Säulen des Projekts sind:

- : **Energieverbrauchs- und Reichweitenberechnungsdienste:** Eine verlässliche Reichweitenabschätzung ist eines der wesentlichen Vertrauenskriterien für den Fahrer. Dazu müssen die am Energieverbrauch beteiligten Komponenten und Einflussfaktoren mög-

MOBILITÄTSDIENSTE UND INTEGRIERTE FUNKTIONSENTWICKLUNG ZUR REICHWEITENOPTIMIERUNG

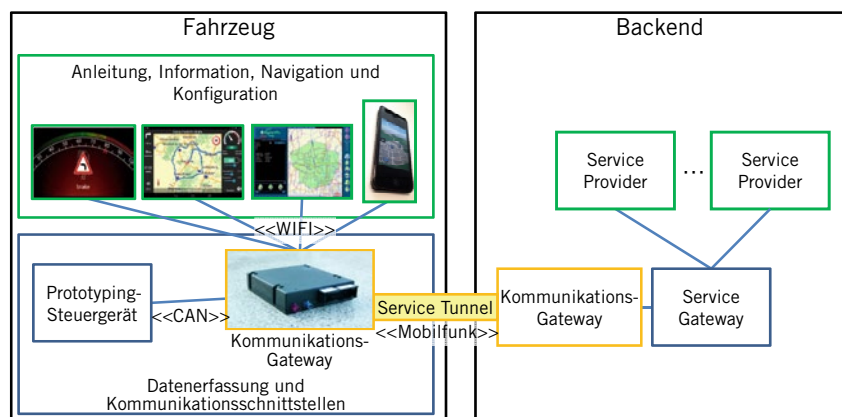
Die nutzbare Reichweite von Elektrofahrzeugen ist ein entscheidendes Kriterium und steht daher beim Projekt GreenNavigation im Vordergrund. Neben Maßnahmen, die direkt zu einer Vergrößerung der Reichweite führen, wie etwa die Erhöhung der Speicherkapazität von Batterien, lassen sich auch durch integrierte Nutzung von Kommunikations- und Informationsdiensten signifikante Verbesserungen erzielen, die das Vertrauen in die Elektromobilität nachhaltig steigern.

lichst genau modelliert und erfasst werden.

- : **Energieeffiziente Navigation:** Eine wirkungsvolle Unterstützung bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen ist eine Routenführung, die Reisezeit und Energieverbrauch bei der Routenplanung optimiert, die erzielbare Reichweite verständlich darstellt sowie Ladesäulen intelligent, umfassend und nutzerfreundlich zur Reichweitenoptimierung einbindet.
- : **Driver Education:** Der Fahrer trägt durch sein Verhalten wesentlich zur Gesamtenergiebilanz eines Elektrofahrzeugs bei. Durch gezielte Fahrhinweise, die auf Basis der Fahrzeugcharakteristik, des Umfelds, der Strecke und der Charakteristik des Fahrers getroffen werden, kann er zu einer energieeffizienten Fahrweise angeleitet werden. Im Projekt werden zur Verbesserung des Fahrerhaltens optimale Zeitpunkte zur Signalisierung von Hinweisen sowie eine Benutzerschnittstelle entwickelt. Diese Hinweise nutzen ein System zur Bewertung von Fahrweisen in Bezug auf Energieeffizienz. Dieses System verwendet Modelle, die auch bei der Energieverbrauchsprognose genutzt werden. Die Signalisierung der Fahrhinweise wird an den jeweiligen klassifizierten Fahrertypus adaptiert.
- : **Flexible Dienstarchitektur und Kommunikationsinfrastruktur:** Eine genaue Reichweitenvorhersage, energieeffiziente Navigationsdienste, die umfassende Anleitung des Fahrers sowie die

Bereitstellung von Informations- und Mobilitätsdiensten sind bei neuen Fahrzeugtypen und in heterogenen Flotten nur über eine standardisierte, offene und flexible Verkehrstelematikplattform zu erreichen, die in Echtzeit Daten aus Mobilitätsdiensten und Telemetrieinformation aus dem Fahrzeugnetzwerk bereitstellt. Im Projekt wurden eine Kommunikationsinfrastruktur und eine Dienstarchitektur entwickelt, die Daten und Dienste flexibel, sicher und vertraulich durch einen Kommunikationskanal, den sogenannten Servicetunnel, zwischen Fahrzeug und Backend-Systemen verfügbar macht. Die Gesamtarchitektur ist schematisch in ❶ dargestellt. Im Elektrofahrzeug wird ein Kommunikationsgateway integriert, das die On-Board-Systeme anbindet und einen

Servicetunnel per Mobilfunk zum Kommunikationsgateway auf Backend-Seite bereitstellt. Angebundene On-Board-Systeme sind beispielsweise Systeme zur Driver Education, Navigation oder Fahrerinformation. Auf einem Prototyping-Steuergerät werden Funktionen zur Erfassung von Telemetriedaten und zur Generierung von Hinweisen und Hinweiszeitpunkten realisiert. Sie sind über das Kommunikationsgateway mit den Diensten im Fahrzeug und denen im Backend angebunden. Backend-Dienste werden beispielsweise zur genauen Energieverbrauchsrechnung, zum Flottenmanagement oder zur Bereitstellung von meteorologischen Informationen realisiert. Beim Entwurf standardisierter Funktionsschnittstellen wurde Wert darauf gelegt, dass Systeme im



❶ Infrastruktur zur flexiblen Nutzung von Fahrzeugzeitdaten und Serverdiensten (Bild © FZI)

Fahrzeug und Service Provider im Backend einfach und flexibel eingebunden und ausgetauscht werden können. Die Architektur ist anpassbar und plattformunabhängig, um verschiedene Kommunikationssystemtypen unterstützen zu können und um insbesondere auch in künftigen Verkehrs-telematikplattformen Einsatz zu finden. Dem On-Board-Navigationssystem werden durch den sicheren Kommunikationskanal notwendige meteorologische Informationen zur energieeffizienten Routenplanung zur Verfügung gestellt. Das serverbasierte Navigationssystem zeigt im Fahrzeug Routen an, die von einem Navigations-server über den sicheren Kommunikationskanal übermittelt werden. Diese wurden unter Verwendung von Energieverbrauchberechnungsdiensten im Backend bestimmt, welche ihrerseits Wetterinformationsdienste einbinden.

Methodik und Entwicklungsunterstützung zur Integration und Validierung: Es wurde eine effiziente und durchgängige Integrations- und Testumgebung

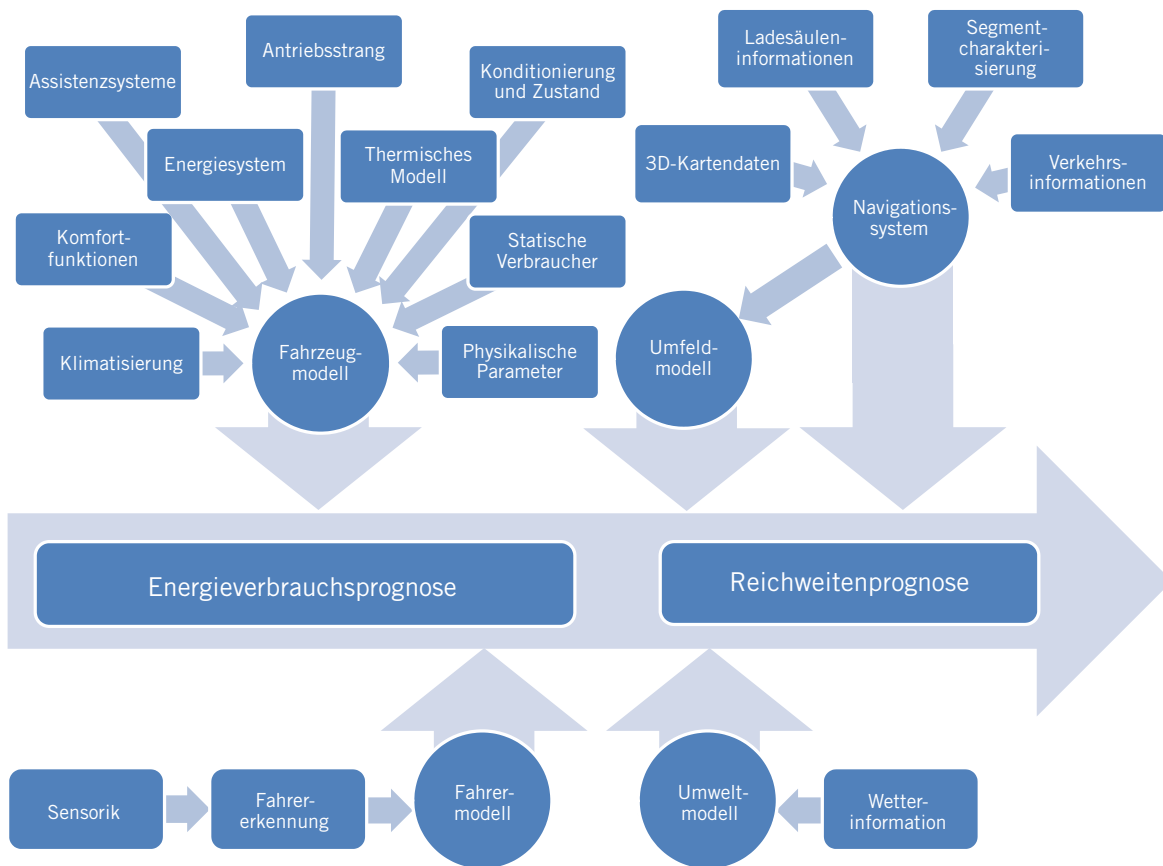
aufgebaut, die zur Unterstützung der Entwicklung sowie zur frühzeitigen Absicherung der Funktionalität der erarbeiteten Schnittstellen und Mobilitätsdienste eingesetzt wird. Diese Umgebung gestattet das frühzeitige Zusammenbringen und funktionale Tests der einzelnen Dienste in simulierten Fahrsituationen und Szenarien.

ENERGIEVERBRAUCHSPROGNOSE

Eine umfassende und deterministische Energieverbrauchsprognose ist die notwendige Grundlage für eine genaue Abschätzung der verbleibenden Restreichweite eines Elektrofahrzeugs. Sie trägt damit wesentlich zur Vertrauensbildung beim Fahrer bei. Dazu müssen alle den Energieverbrauch beeinflussenden Komponenten und Faktoren erfasst und möglichst genau modelliert werden. Als zentrales Element dient ein fahrzeugspezifisches Verbrauchsmodell, das Spezifikationen und Kennfelder verbrauchsbestimmender Komponenten modular einbindet. Die dabei berücksichtigten

Komponenten und Einflussgrößen sind in 2 schematisch abgebildet. Diese Komponenten lassen sich klassifizieren in:

- : statische elektrische Verbraucher wie beispielsweise die Beleuchtung oder Anzeigeelemente
- : Komfortfunktionen wie Sitzheizung und Unterhaltungssysteme
- : thermisches Modell des Fahrzeugs sowie der Klimatisierung des Fahrgastraums, des Energiesystems und Kühlung der Antriebsstrangkomponenten, welche von den individuellen Präferenzen der Fahrzeugnutzer und dem klimatischen Fahrzeugumfeld abhängen
- : physikalisches Fahrzeugmodell mit Parametern wie Beladung, Luft- und Rollwiderstand
- : Charakterisierung des Antriebsstrangs und des Energiesystems, die neben elektrischen Verbrauchern, Leistungselektronik und Energiespeichern auch Modelle eingesetzter Strategien zum effizienten Betrieb der Komponenten berücksichtigen [1]



2 Fahrzeugmodell zur Energieverbrauchsprognose (Bild © FZI)



3 Zielführung mit Reichweitenpolygon (Bild © Robert Bosch GmbH)

: Assistenzsysteme mit eingesetzten elektronischen Komponenten, die sowohl die Energieeffizienz steigern als auch selbst Energie verbrauchen. Insbesondere die bei Elektrofahrzeugen relativ hohe Energieverbräuche verursachende Klimatisierung kann bei extremen Wittersituationen bis zu 50 % Einbußen bei der Reichweite bedeuten. Sie wird somit umfangreich betrachtet [2]. Die Modellierung der Klimatisierung betrachtet nicht nur das thermische Modell der Fahrgastzelle mit Einflussfaktoren wie der Zahl der Fahrgäste sowie den Einfluss des Fahrzeugumfelds, sondern auch die Konditionierung des Batteriesystems und der Antriebsstrangkomponenten. Hierzu werden Umwelt- und Betriebsbedingungen wie Temperatur, Winkel und Intensität der Sonnenstrahlung, Windrichtung und -stärke, Luftdruck und Beladung einbezogen. Diese werden in Bezug zum geplanten Abfahrtszeitpunkt aus Informations- und Mobilitätsdiensten gewonnen. Neben diesen Informationen wird der Regelmechanismus bei einer Klimaautomatik abgebildet, der neben den Stellgrößen der Heiz- und Kühlelemente auch die Ventilation ansteuert.

Die zu fahrende Strecke wird als eine Aneinanderreihung einzelner Segmente beschrieben, die durch verbrauchsrelevante Eigenschaften charakterisiert werden. Diese Eigenschaften setzen sich aus statischen Informationen wie Straßenklasse, Anzahl der Fahrspuren, Tempolimits, Kreuzungstypen und Vorfahrtsituation, 3D-Streckenverlauf und

Höhenprofil zusammen. Hinzu kommen dynamische Informationen wie Live-Verkehrsinformationen oder hinterlegte statistische Verkehrseignungsprofile. Das Verbrauchsmodell berücksichtigt neben den Parametern des aktuell zu betrachtenden Segments und den Umfeld- und Umweltdaten auch den jeweiligen Zustand des Fahrzeugs zu Beginn des Segments, um auch Einflüsse wie eine Vorkonditionierung oder einen effizienzoptimierten Betrieb von Nebenverbrauchern gemäß der Energieverfügbarkeit zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung des erwarteten Geschwindigkeitsprofils werden fahrerspezifische Eigenschaften wie bevorzugte Kurvengeschwindigkeit und akzeptierte Fliehkraft, typische Beschleunigungs- und Bremsprofile sowie durch Assistenzsysteme gegebene Hinweise einbezogen [3]. Daraus abgeleitet kann dann der energetische Einfluss von Fahrstrategien und Assistenzsystemen berücksichtigt werden [4].

NUTZUNG FÜR NAVIGATIONSDIENSTE

Der Navigationsdienst ermittelt eine optimierte Route zu einem angegebenen Ziel unter Berücksichtigung des fahrer-, fahrer- und routenspezifischen Energieverbrauchs. In GreenNavigation werden unter anderem zwei charakteristische Anwendungsfälle behandelt:

: Die aktuelle Energiereserve (SoC) genügt zum Erreichen des Ziels. Der

Navigationsdienst führt den Nutzer entlang dieser Route.

: Die SoC genügt nicht zum Erreichen des Ziels. Automatisch erfolgt eine Anfrage an den Ladesäulendienst und die Informationen (prognostizierte Verfügbarkeiten und Wartezeiten an den Ladestationen) werden dem Navigationssystem zur Verfügung gestellt. Bei der Routenberechnung werden die jeweiligen aktuellen Verfügbarkeiten der Ladestationen berücksichtigt, die optimale Route wird berechnet und die entsprechende Buchung der Ladestation vorgenommen. Der Navigationsdienst führt den Nutzer entlang dieser Route zur Ladestation.

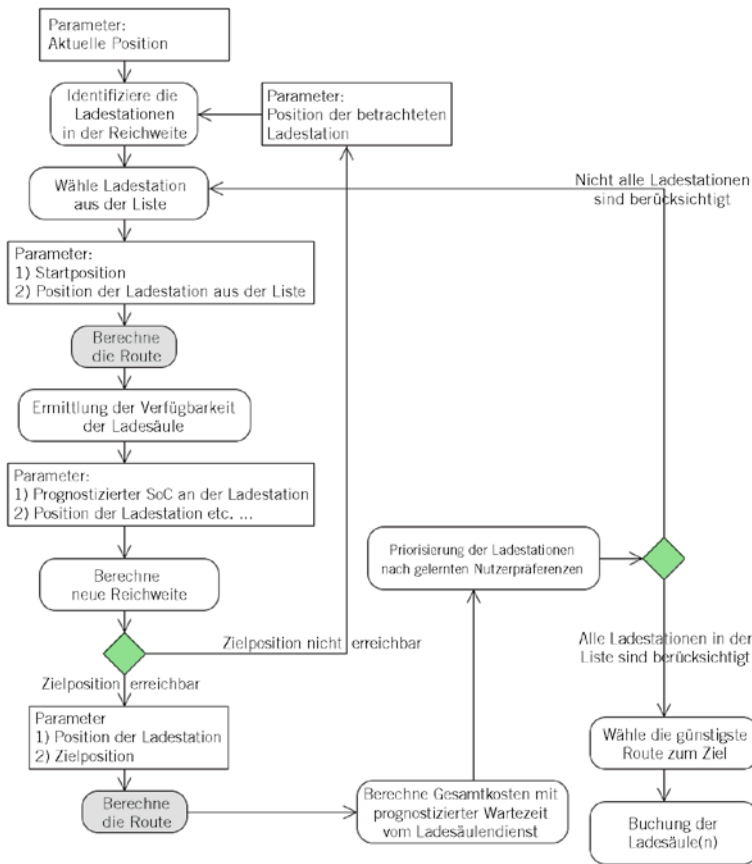
Dabei steht dem Nutzer ständig die Information über die aktuelle Restreichweite zur Verfügung, 3.

OPTIMIERTES ROUTING

Ein nur energieoptimiertes Routing stellt lediglich Anforderungen an die relative Präzision der Verbrauchsprognose: Die ermittelte optimale Route muss von allen Alternativen den geringsten Energieverbrauch aufweisen. Wenn jedoch die so ermittelte Route länger ist als die aktuelle Restreichweite oder wenn am Zielort bei Bedarf keine Ladestation zur Verfügung steht, müssen andere Prozeduren der Routenermittlung greifen, die erhöhte Anforderungen an die absolute Präzision der Verbrauchsprognose stellen. Zunächst ist die absolute Energieverbrauchsprognose in die Routenermittlung einzubeziehen: Liegt das Ziel innerhalb der aktuellen Restreichweite? Dies ist auch während der Fahrt ständig abzufragen. Im Fall überschrittener Restreichweite ermittelt das Routing einen Weg zur optimalen (nicht unbedingt der nächstgelegenen) Ladestation. Hierbei werden sowohl Präferenzen des Nutzers als auch aktuelle Verfügbarkeiten der erreichbaren Ladestationen berücksichtigt, 4. Reservierungen werden gegebenenfalls automatisch vorgenommen.

OPTIMIERTER LADESÄULENDIENST

Aus Nutzersicht ist die wesentliche Qualität einer Ladestation ihre Verfügbarkeit zu einer gegebenen Zeit. Hierbei ist die Möglichkeit einer Reservierung entscheidend; jedoch ist das mögliche „Hamsterverhaltens“ vieler Nutzer zu berücksichtigen. Der in GreenNavigation konzi-



4 Flow Chart Navigation mit dynamischer Ladesäulenverfügbarkeit (Ausschnitt), (Bild © Robert Bosch GmbH)

pierte optimierte Ladesäulendienst trägt dem Umstand Rechnung, dass Optionen auf Ladezeiten unter Umständen nicht ausgenutzt werden. Im Zusammenwirken mit der automatischen Buchungsanfrage des Routings wird eine verlässliche und effiziente Nutzung der Ladestationen erreicht.

Zunächst wird hierzu die Verfügbarkeit der erreichbaren Ladestationen abgefragt, 5. Der Ladesäulendienst gibt

abhängig vom voraussichtlich erforderlichen Zeitfenster ein verfügbares Zeitfenster und eine vorläufige Reservierungs-ID zurück. In der Regel kommen mehrere Ladestationen in Betracht, deren Auswahl entweder durch den Nutzer oder durch eine gegebenenfalls lernende Komponente des Navigationsdienstes erfolgt. Nach erfolgter Buchung sieht der Ladesäulendienst die Möglichkeit der Aktualisierung sowohl durch den Dienst

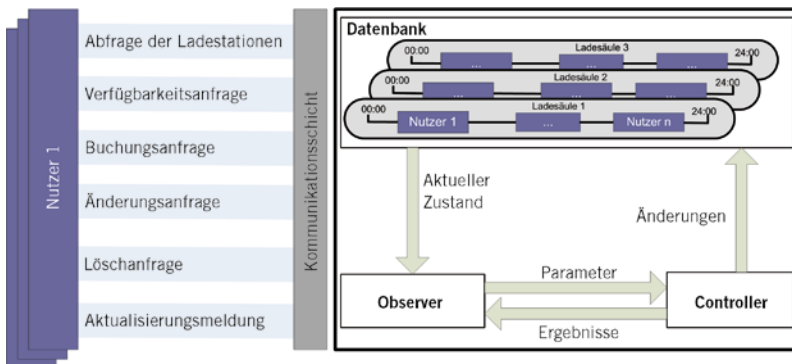
selbst als auch durch den Nutzer vor. Erstere Aktualisierungen treten typischerweise bei Verkürzungen von Wartezeiten durch Rearrangements von Wartelisten auf. Von der Nutzerseite werden Aktualisierungen typischerweise infolge von Verzögerungen oder Routenänderungen initiiert.

METHODIK UND ENTWICKLUNGSUNTERSTÜTZUNG

Die Prognosegüte der nutzbaren Reichweite von Elektrofahrzeugen hängt in der Realität von verschiedenen Faktoren ab, die im Rahmen von GreenNavigation unter anderem durch die Nutzung von Echtzeit-Datendiensten in die Betrachtung einbezogen werden. Die technische Möglichkeit zur frühzeitigen und qualitativ hochwertigen virtuellen Erprobung von Diensten zur elektrischen Reichweitenoptimierung erlaubt den Lieferanten dieser Funktionen und Dienste beziehungsweise den Fahrzeugherstellern einen wesentlich effizienteren Entwicklungsprozess als bisher üblich. Die Methode des virtuellen Fahrversuchs bietet dabei eine umfangreiche Entwicklungsunterstützung als vorgelagerter Schritt zur Fahrzeugerprobung mit realen Prototypen und Vorserienfahrzeugen.

Wesentliche Voraussetzung für die effektive Integration der virtuellen Erprobung und Absicherung in den Entwicklungsprozess stellt die Nutzung einer durchgängigen Integrations- und Testumgebung dar, die sowohl die Vorbereitung und Untersuchung von Testszenarien in der reinen Simulation als auch die Integration von realen Hardwarekomponenten an sogenannten Hardware-in-the-Loop-Prüfständen und Fahr simulatoren unter möglichst realitätsnahen Echtzeitbedingungen ermöglicht [5, 6]. Somit kann frühzeitig eine virtuelle Entwicklung und Untersuchung von Funktionen und Diensten durchgeführt sowie die Interaktion mit einem virtuellen oder realen Fahrer untersucht werden. 6 zeigt die Testumgebung zur Reichweitenermittlung im virtuellen Fahrversuch.

Die realistische Berücksichtigung von Fahrstrategien und Fahrempfehlungen durch den virtuellen Fahrer ist neben präzisen Modellen der Fahrzeugkomponenten und einer realistischen Abbildung von realen Fahrstrecken in der Simulation eine der zentralen Voraussetzungen für die virtuelle Validierung von Diens-



5 Blockdiagramm Ladesäulendienst (Ausschnitt), (Bild © Robert Bosch GmbH)

ten zur Reichweitenoptimierung. Die Eigenschaften des Fahrermodells sind allgemeingültig definiert und können somit für ein breites Spektrum an Funktionen und Diensten eingesetzt werden. Die effiziente Modellbedatung von elektrischen Antriebskomponenten ermöglicht es, in kurzer Zeit und auch unter Echtzeitbedingungen präzise Modelle in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses einsetzen zu können.

Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Modellansätze und Dienste auf das menschliche Fahrerverhalten eignet sich besonders der virtuelle Fahrversuch in einem Fahrsimulator. In Green Navigation wird in diesem Zusammenhang die menschliche Interaktion mit den Diensten zur elektrischen Reichweitenoptimierung über ein HMI untersucht. Durch die Berücksichtigung von aktuellen Wetterdaten anhand von entsprechenden Diensten und deren Integration in den virtuellen Fahrversuch können reale Fahrversuche in die Simulation vorverlagert und damit Zeit und Kosten in der Entwicklung von Fahrzeugen und Komponenten gespart werden. Abschließende Testfahrten mit realen Prototypen ermöglichen die Überprüfung der Erkenntnisse aus den virtuellen Fahrversuchen und die weitere Verbesserung der Methode.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit GreenNavigation lassen sich zuverlässige Informationen über die aktuelle Restreichweite eines Elektrofahrzeugs und die Verfügbarkeit von Ladestationen auf einer optimierten Route gewinnen. Das unterstützt energie- und ressourceneffiziente Mobilitätslösungen und leistet gleichzeitig einen Beitrag zur Sicherung der individuellen Mobilität. So werden letztlich die Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen deutlich erhöht und das Vertrauen der Endkunden in die Elektromobilität gesteigert. Durch die durchgängige Entwicklungsmethodik kann sowohl der virtuelle Fahrversuch zum Entwickeln und Testen der Funktionen und Dienste im Simulationsumfeld genutzt als auch die Interaktion mit dem Fahrer am Fahrsimulator untersucht und bewertet werden. Schließlich stehen in der letzten Projektphase die realen Fahrversuche mit einem Prototypfahrzeug im Fokus. Ziel ist hier vor allem ein Abgleich zwischen der



6 Reichweitenermittlung im virtuellen Fahrversuch mit IPG CarMaker [6]

Prognose und der tatsächlichen Reichweite bei verschiedenen Rahmenbedingungen im realen Fahrversuch.

LITERATURHINWEISE

- [1] Köhler, S.; Viehl, A.; Bringmann, O.; Rosenstiel, W.: Energy-Efficient Torque Distribution for Axle-Individually Propelled Electric Vehicles. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2014, Dearborn, USA
- [2] Valentina, R.; Viehl, A.; Bringmann, O.; Rosenstiel, W.: HVAC System Modeling for Range Prediction of Electric Vehicles. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2014, Dearborn, USA
- [3] Bär, T.; Nienhüser, D.; Zöllner, J.: Driver Individual Energy Consumption Forecast. 3rd International Conference on Energy Efficient Vehicles (ICEEV 2014), Dresden
- [4] Köhler, S.; Viehl, A.; Bringmann, O.; Rosenstiel, W.: Advanced Driver Assistance System for Optimized Recuperation under Consideration of Parameter Uncertainties. IEEE In Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2013, Gold Coast, Australia
- [5] Schyr, C.: Virtual Test Driving – Enabler for the Efficient Development of Electric Vehicle Technologies. Electromobility Conference Asia (EMCA) 2013, Singapore International Energy Week, Singapore
- [6] IPG Automotive GmbH: www.ipg.de/simulation-solutions/carmaker

HINWEIS

Das Projekt Green Navigation ist Teil des Spitzenclusters Elektromobilität Süd-West.

Projektpartner:

- : IPG Automotive GmbH, Karlsruhe
- : CarMedialab GmbH, Bruchsal
- : Daimler FleetBoard GmbH, Stuttgart
- : Forschungszentrum Informatik (FZI), Karlsruhe
- : PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe
- : Robert Bosch GmbH, Hildesheim



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

Anzeige

ENTWICKELN SIE MIT UNS IDEEN FÜR DIE MOBILITÄT VON MORGEN!

GREENING

THE ECO WAY OF ENGINEERING

WWW.GREENING.DE/KARRIERE