



© IPG Automotive

Entwicklung einer Reichweitenfunktion basierend auf E-Horizon-Informationen

Die Reichweite eines Elektro-Pkws genau vorherzusagen, ist eine große Herausforderung in der Fahrzeugentwicklung. IPG Automotive zeigt beispielhaft, wie eine geeignete Entwicklungsumgebung aufgebaut sein muss, um eine präzise Reichweitenvorhersage auf Basis prädiktiver Funktionsalgorithmen zu erzielen.

Die Ermittlung der Reichweite von Elektro-Pkw stellt aktuell eines der größten Entwicklungsthemen in der Automobilindustrie dar. Ziel ist es, das weitverbreitete Gefühl der Reichweitenangst zu vermeiden, indem die Reichweite präzise vorhergesagt wird [1]. Dabei spielt die Konnektivität der Bordsysteme untereinander im Gesamtfahrzeug sowie mit der Umwelt eine entscheidende Rolle. Für die Reichweitenvorhersage kommen prädiktive Funktionsalgorithmen in unter-

schiedlichen Ausbaustufen zum Einsatz. Diese stützen sich beispielsweise auf Daten des elektronischen Horizonts (Electronic Horizon, kurz E-Horizon), der auf Navigationsinformationen, Kartens- und Live-Daten (Verkehr, Witterungsverhältnisse etc.) basiert.

Aufgrund der aktuellen Entwicklungsanforderungen ist es notwendig, eine geeignete Entwicklungsumgebung für die Reichweitenvorhersage zu schaffen. So kann der Algorithmus bereits früh im

AUTOR



Dr. Pascal Piecha
ist Business Development Manager Powertrain bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.

Entwicklungsprozess optimiert werden, und Entwickler können den Einsatz teurer realer Prototypen auf die zur Absicherung benötigten Tests beschränken. Dies eröffnet große Einsparpotenziale. IPG Automotive zeigt hier auf, wie die Entwicklung, Optimierung und Absicherung von Reichweitenfunktionen anhand einer Gesamtfahrzeugsimulation unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen in den verschiedenen Entwicklungsstufen realisiert werden können. Die Gesamtfahrzeugsimulation wird in diesem Beispiel mithilfe der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker von IPG Automotive realisiert – sowohl als reine Computersimulation als auch in Kombination mit einem Hardware-in-the-Loop(HiL-)System beziehungsweise einem Prüfstand.

PRÄDIKTION DER REICHWEITE

Für die Reichweitenprädiktion sowie für das intelligente Energiemanagement in batterieelektrischen Fahrzeugen werden Funktionsalgorithmen eingesetzt. Diese basieren auf realen Fahrrdaten, (halb-)empirischen Modellen oder zunehmend auf physikalisch modellbasierten Ansätzen. Mehrere Publikationen belegen, dass letztere gegenüber realen Fahrrdaten eine präzisere Restreichweitenvorhersage ermöglichen [1, 2].

Abgeleitete (halb-)empirische Modellansätze für die Reichweitenprädiktion beruhen auf bestehenden Daten. Für die Reichweitenprädiktion ist es notwendig, durch Fahrten mit seriennahen Pkw-

Prototypen eine ausreichend große Datenbasis zu generieren und entsprechende Einflussfaktoren wie Fahrbahnsteigung, Umgebungstemperatur oder Verkehrsdichte zu definieren. Um an dieser Stelle den Aspekt der Funktionsabsicherung zu berücksichtigen, muss eine Vielzahl von Tests durchgeführt werden. Auf diese Weise kann ein empirisches Modell, etwa über mehrere Einflusskennfelder, erstellt und für die Reichweitenprädiktion eingesetzt werden.

Für (halb-)empirische Modellansätze werden einzelne Einflussgrößen wie die Verkehrsdichte anhand von physikalisch-basierten Ansätzen berücksichtigt, sodass beispielhaft die Verkehrsdichte als Verkehrsflussgeschwindigkeit einen energetischen Einfluss auf die Reichweitenvorhersage ausübt. Die umfangreiche Datenbasis für empirische Modellansätze stellt gleichzeitig eine Einschränkung in Bezug auf die Entwicklungsumgebung des Berechnungsalgorithmus dar, weil im Zuge der Datenbasisgenerierung bisher häufig reale Fahrzeugprototypen eingesetzt werden.

Physikalisch-modellbasierte Ansätze berücksichtigen eine energetische Betrachtung der relevanten auftretenden physikalischen Phänomene. So werden etwa die Fahrwiderstände (Luft-, Roll- und Steigungswiderstand) geschwindigkeitsabhängig berücksichtigt oder das thermische Verhalten der Einzelkomponenten und deren Kopplung an die Umgebung betrachtet. Hierfür ist es notwendig, auf Basis des Start- und Zielpunkts entlang der Route einen Lösungsraum für das Geschwindigkeitsprofil zu be-

stimmen. Dieses Geschwindigkeitsprofil befindet sich dabei – je nach Fahrerprofil – im Bereich zwischen der maximalen Geschwindigkeit (definiert durch die Geschwindigkeitsbegrenzung an den Straßen) und der minimalen Geschwindigkeit, **BILD 1** [3]. Dieses Vorgehen ermöglicht eine energetische Betrachtung. Dafür müssen entsprechende Streckendaten vorliegen, die Auskunft über das Höhenprofil, Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Straßentypen geben. Unter Berücksichtigung weiterer Datenservices, die Umgebungsinformationen wie Wetterdaten, Temperaturprofile oder Staudaten bereitstellen, können zusätzliche Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

In modernen Fahrzeugen werden Kartendaten entlang der geplanten Route bereits von weiteren Funktionen wie einer adaptiven Abstandsregelung oder einem Autobahnpiloten in Form eines E-Horizon genutzt. Auch eine Funktion zur Reichweitenprädiktion kann von den vorhandenen Informationen der digitalen Karte profitieren. Ein einheitliches und häufig verwendete Protokollformat mit Schnittstelleninformationen ist das Protokoll des Forums Advanced Driver Assistance Interface Specifications (ADASIS). Dieses Protokollformat für E-Horizon-Informationen setzen bereits viele OEMs, Zulieferer, Navigations- und Karten-datenanbieter sowie Software-Unternehmen im Automobilsektor nativ oder mit Anpassungen ein.

Für eine auf diesem Protokoll basierende Bereitstellung der Streckendaten, wie sie für eine Reichweitenfunktion eingesetzt werden kann, sind die Subsysteme E-Horizon (EH) Provider, ADASIS Message und Reconstructor notwendig, **BILD 2**. Der EH Provider stellt die Streckendaten (Kartendaten) auf Basis der aktuellen GNSS-Position des Fahrzeugs im spezifischen Protokollformat bereit. Die im ADASIS-Protokollformat transferierten Daten (Messages) werden anschließend an den Reconstructor übermittelt. Dieser interpretiert die notwendigen Informationen und bereitet sie für die eigentliche Funktion im Steuergerät auf. Auf diese Weise kann der Funktionalgorithmus der Reichweitenprädiktion beispielsweise Informationen über Steigungen und Gefälle, Kreuzungen oder auch Verkehrszeichen verarbeiten.

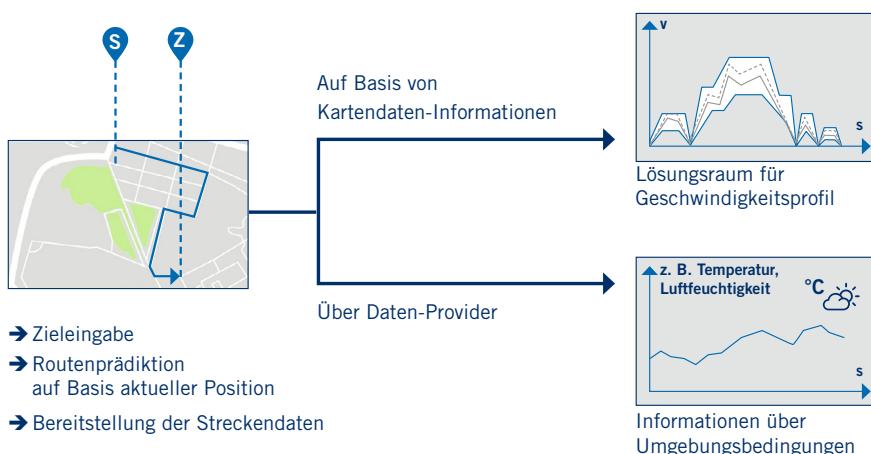


BILD 1 Berücksichtigung verschiedener Umgebungsinformationen für das Geschwindigkeitsprofil v (S = Start-, Z = Zielpunkt; s = Strecke) (© IPG Automotive)

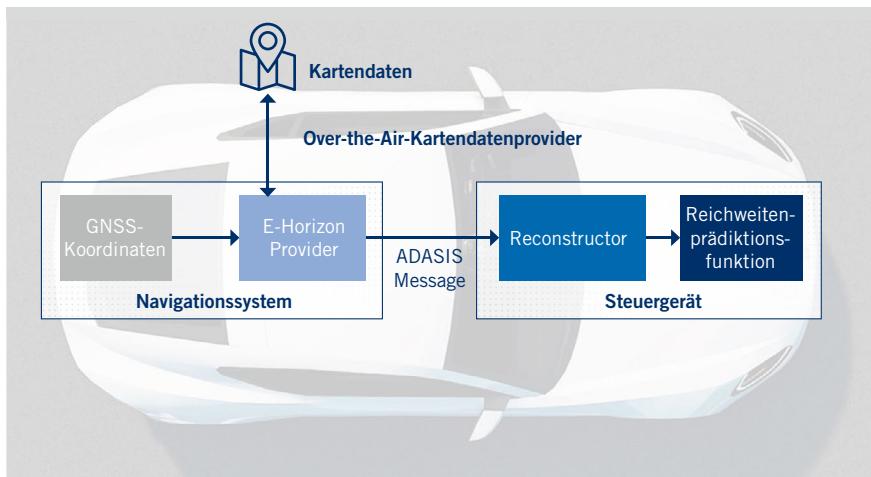


BILD 2 Bereitstellung der Streckendaten basierend auf dem ADASIS-Protokoll (© IPG Automotive)

Um eine solche Reichweitenprädiktion zu entwickeln, zu optimieren beziehungsweise abzusichern, ist es sinnvoll, eine Gesamtfahrzeugsimulation in Kombination mit einer Umgebungssimulation einzusetzen. Die offene Integrations- und Testplattform CarMaker von IPG Automotive bietet eine geeignete Entwicklungs-umgebung für prädiktive Algorithmen zur Reichweitenberechnung. Sowohl empirische als auch physikalisch-basierte Modellansätze können hier in verschiedenen Entwicklungsphasen adressiert werden. Dies geschieht unabhängig davon, ob synthetisches Kartenmaterial oder reales – von Kartendatenprovidern bereitgestelltes – Material eingesetzt wird.

ENTWICKLUNGSUMGEBUNGEN

Für die Entwicklung und Absicherung einer Reichweitenprädiktionsfunktion können verschiedene Entwicklungsumgebungen in unterschiedlichen Ausbau-stufen – von der reinen Simulation bis hin zum HiL-Bereich – sowie der reale

Fahrversuch eingesetzt werden. In frühen Entwicklungsphasen empfiehlt sich der rein virtuelle Ansatz vor allem für grundlegende Entwicklungszwecke. Dabei wird der virtuelle Prototyp eines Gesamtfahrzeugs aufgebaut, der über einen hinreichenden Detaillierungsgrad der Subsystemmodellierung verfügt. Abhängigkeiten der einzelnen Subsysteme, die für den eigentlichen prädiktiven Funktionsalgorithmus relevant sind, müssen durch die Modellierung berücksichtigt werden. Für batterie-elektrische Fahrzeuge spielt hier besonders der thermische Zusammenhang eine große Rolle, sodass die thermische Abbildung und Kopplung der einzelnen Modelle im Antriebsstrang (zum Beispiel Elektromotor, Batterie und Inverter) zielführend sind.

Wie auch in der Realität soll ein entsprechend aufgebauter virtueller Prototyp im breiten Anwendungsfeld getestet werden. Dafür werden verschiedene Realfahrszenarien in der virtuellen Welt abgebildet, die eine realistische Sprei-

zung möglicher Einsatzgebiete abdecken. So werden etwa Szenarien in kalten Regionen wie Finnland, in heißen städtischen Umgebungen wie in Kalifornien (USA) oder mit einem anspruchsvollen Lastniveau bei einer Autobahnfahrt abgebildet, BILD 3. Umgebungsbedingungen wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Verkehrssituation werden gemäß realistischen Vorgaben angepasst und variiert.

Auf Steuergerätebene wird anschließend der eigentliche Funktionsalgorithmus integriert. Je nach Umsetzung können die prädiktiven Streckendaten – beispielsweise E-Horizon-Daten – aus den Streckeninformationen entlang der bevorstehenden Route, direkt aus dem virtuellen Szenario in CarMaker oder über entsprechende Cloud-Dienste von Karten-datenprovidern ausgelesen werden. Anschließend werden sie dem Algorithmus zur Berechnung im ADASIS-Protokollformat bereitgestellt. Auf diese Weise kann der eigentliche Funktionsalgorithmus in einer Vielzahl realitätsnaher Szenarien entwickelt und abgesichert werden.

Die Entwicklungsumgebung eignet sich sowohl für die Nutzung mit physikalisch-modellbasierten als auch mit (halb-)empirischen Modellansätzen. Über bestehende High-Performance-Computing-Lösungen mit CarMaker kann eine hohe Anzahl von Szenarien über einen kurzen Zeitraum berechnet und als Datenbasis für weitere Entwicklungsphasen eingesetzt werden. Gegenüber realen Tests ist mit dieser Vorgehensweise ein enormer Zeit- und Kostenvorteil erzielbar. Zudem können Einflussfaktoren für den prädiktiven Funktionsalgorithmus wie Fahrereigenschaften, Umgebungsbedingungen und Verkehrssituationen definiert variiert werden, was in der Realität kaum umsetzbar wäre.



BILD 3 Abbildung von drei Realfahrszenarien in der virtuellen Welt unter verschiedenen Umgebungsbedingungen wie Winter (links), Sommer in der Stadt (Mitte) und Autobahn (rechts) (© IPG Automotive)

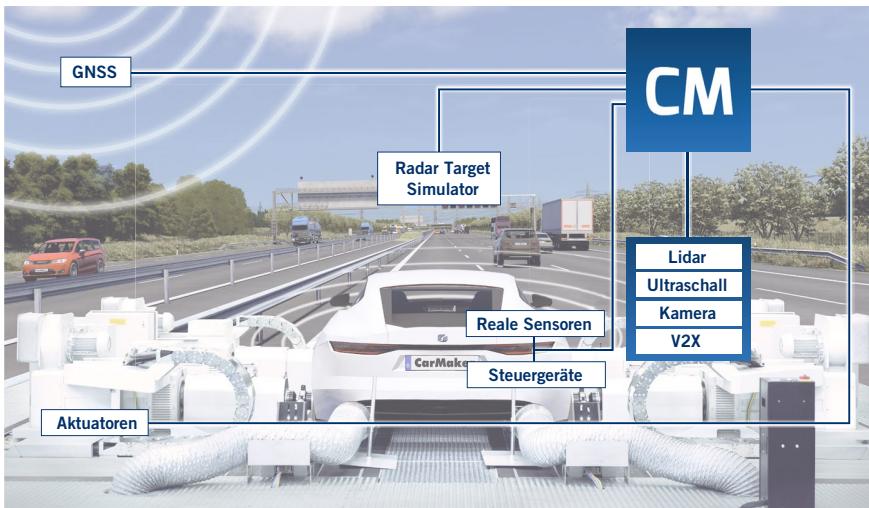


BILD 4 Reichweitentest auf einem Integrationsprüfstand, kombiniert um die Plattform CarMaker (CM)
© IPG Automotive

Als Erweiterung der rein virtuellen Absicherung des prädiktiven Funktionsalgorithmus zur Reichweitenberechnung kann auch mit einem realen Steuergerät im HiL-Umfeld getestet werden. Hierzu werden die realen CAN-Bus-Botschaften, wie sie auch im Fahrzeug vorhanden sind, von CarMaker dem realen Steuergerät zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise kann eine Absicherung der prädiktiven Funktion realisiert werden. Eine derartige Umsetzung erfordert eine Restbus-Simulation. Durch den Einsatz entsprechender Automatisierungswerkzeuge (wie dem Test Manager von IPG Automotive) können Testabfolgen automatisiert geprüft werden. Dafür werden bevorzugt jene Testfahrten geprüft, die sich aus der reinen Software-Entwicklungsumgebung als besonders kritisch ergeben haben.

Um eine Absicherung auf Gesamtfahrzeugebene zu erreichen, ist der Einsatz eines hochintegrativen Gesamtfahrzeugprüfstands empfehlenswert. Dieser kann als Rollen- oder Antriebsstrangprüfstand aufgebaut sein. Dabei wird das Gesamtfahrzeug auf eine Weise in die Entwicklungsumgebung integriert, dass die gesamte Sensorik durch die Simulation bedient wird und das Fahrzeug sich so verhält, als würde es sich in einem realen Szenario bewegen. Dafür werden entsprechende Signale wie das GNSS-, Kamera- oder Radarsignal in der virtuellen Welt simuliert, **BILD 4**, und dem Fahrzeug bereitgestellt. Zudem werden abhängig vom Prüfstandsaufbau Rad-drehzahlen und Drehmomente bezie-

hungweise Aufstandskräfte mit dem realen Prüfling ausgetauscht, sodass sich das Fahrzeug im Closed-Loop-Ansatz innerhalb der virtuellen Welt bewegt und entsprechende Einflüsse erfährt [4]. So kann der prädiktive Funktionsalgorithmus vor allem durch die Simulation des GNSS-Signals (Signale aus allen Regionen der Welt sind umsetzbar) in einem realen Umfeld mit einem realen Fahrzeugprototyp getestet werden. Auch hier empfiehlt sich die Absicherung der kritischen Szenarien, die sich aus der rein virtuellen Testumgebung ergeben haben.

In diesem Umfeld können auch seriennahe Prototypen getestet werden, die über keine Straßenzulassung verfügen. Einen weiteren Vorteil stellt die domänenübergreifende Absicherung des Funktionsalgorithmus dar. Beispielsweise kann so der Einfluss eingesetzter ADAS-Funktionen wie eine adaptive Abstandsregelung oder ein Spurwechselassistent auf die eigentliche Reichweitenfunktion bewertet werden.

Ergänzt durch die abschließende Absicherung auf realen Straßen stellen die genannten Entwicklungsumgebungen die gesamte mögliche Kette für das Entwicklungsumfeld eines prädiktiven Reichweiten-Funktionsalgorithmus dar. Sowohl in frühen Entwicklungsphasen als auch bei der Absicherung des Funktionsalgorithmus bietet der Einsatz der virtuellen Entwicklungsumgebungen einen enormen Vorteil in Bezug auf den Effizienzgewinn und die Kostenreduktion.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hinblick auf den stark wachsenden Testaufwand für Funktionen zur Reichweitenvorhersage bieten virtuelle Entwicklungsumgebungen die Möglichkeit, die Absicherung und Optimierung in nahezu beliebig vielen Szenarien gefahrlos, reproduzierbar und automatisiert durchzuführen. Mithilfe des prädiktiven Funktionsalgorithmus, der auf E-Horizon-Informationen basiert, kann die Reichweite von Elektro-Pkw präziser kalkuliert werden. Dies leistet einen großen Beitrag dazu, den Anwendern die Reichweitenangst zu nehmen und den Ausbau der Elektromobilität zu unterstützen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Faraj, M.; Basir, O.: Range anxiety reduction in battery-powered vehicles. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Dearborn, Juni 2016
- [2] Hellwig, M.; Rohkamper, S.; Ritschel, W.: Data Acquisition for Simulation Based Predictive Energy Calculation. 20th IEEE International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM), Wels, Mai 2019
- [3] Hellwig, M.: Erzeugung optimaler Fahrstrategien für Elektrofahrzeuge. Hagen, Fernuniversität, Doktorarbeit, 2021
- [4] Korous, P.; Lenz, P.; Gedan, B.; Piecha, P.: Konzeptstudie an einem Fahrdynamiksimulator für Hybrid-Betriebsstrategien. In: ATZ 124 (2022), Nr. 2-3, S. 52-56



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com