

Verbesserte Ankunftsprognose im Schienenverkehr

Berücksichtigung von Zugpositionen und Fahrzeugstörungen für eine bessere Prognose der Ankunftszeit

CHRISTIAN BLANK | LARS JOHANNES |
ANDREAS KLUGE | MICHAEL MÖNSTERS

Ziel des Projektes war es, eine verbesserte Ankunftsprognose für den öffentlichen Schienenverkehr zu entwickeln. Durch die Kombination der kontinuierlich vorliegenden Positionen, der aktuellen Fahrzeugzustände und Fahrphysik der Züge werden unter Einbeziehung von Routinginformationen Prognosen über die Ankunftszeiten berechnet. Mithilfe der Fahrplandaten werden daraus aktuelle Verspätungen abgeleitet. Die Entwicklung und der Test der Algorithmen wurden mit Daten aus einer Messkampagne durchgeführt.

Die gesamte Prozesskette wurde als Echtzeitanwendung entwickelt, lässt aber die Nutzung aufgezeichneter Daten zu. Durch die Verwendung kontinuierlicher Positionsdaten, der Einbeziehung von Fahrdynamikdaten sowie Fahrzeugfunktionsstörungen entstand eine hochaktuelle und genaue Ankunftsprognose.

Zielsetzung

Das Projekt IKT Services (Informations- und Kommunikationstechnologie Services, IKTS) hat sich das Ziel gesetzt, einen Beitrag zur verbesserten Mobilität der Zukunft zu erbringen. Es war eines von 30 Projekten im Schaufenster Elektromobilität Niedersachsen und wurde mit

ca. 3,9 Mio. EUR vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert. Insgesamt waren neun Projektpartner beteiligt [1].

Auf Seiten des öffentlichen Personenverkehrs war das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) für die Umsetzung einer genauen Prognose der Ankunftszeiten zuständig. Genauere Ankunftsprognosen können innerhalb des öffentlichen Verkehrs helfen, Dispositionsentscheidungen zu optimieren. Damit ist eine Verbesserung der Anschlüsse möglich. Der Fahrgast erhält präzisere Vorhersagen beispielsweise über erreichbare Umsteigebeziehungen. Darüber hinaus werden genauere Ankunftsprognosen auch für die Verbesserung des intermodalen Verkehrsangebots benötigt.

Für die Entwicklung der Algorithmen wurde zunächst die notwendige Datengrundlage wie Position, Dynamik und Zustand der Schienenfahrzeuge herausgestellt. Die darauf basierenden Prognosealgorithmen wurden unter Einbeziehung von Fahrphysik, Routeninformationen und internen Einflüssen aus dem Fahrzeug hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit analysiert. Für die Entwicklung der Algorithmen wurden bekannte Konzepte entsprechend der projektspezifischen Randbedingungen modifiziert, erweitert und anschließend softwaretechnisch implementiert. Zur Validierung der Prognosealgorithmen wurden sowohl simulierte als auch reale Daten aus einer Messkampagne verwendet.

Methodik

Algorithmen zur Prognose einzelner Fahrtverläufe sowie des zukünftigen Betriebszustandes lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: solche, die die mikroskopische Infrastruktur mit Weichen und Signalen sowie Fahrzeugdaten berücksichtigen und zum anderen solche, die für die Fortschreibung einer Zugbewegung allein Informationen aus dem Fahrplan verwenden (Fahrplanzeit plus Verspätung).

Systeme, die auf fahrplanbasierten Algorithmen aufsetzen, stoßen allerdings an ihre Grenzen, wenn eine Neuberechnung der Prognose aufgrund geänderter Rahmenbedingungen erforderlich ist. Zum Beispiel kann durch Ausfall einer Antriebseinheit die Antriebsleistung so verringert sein, dass sich die bei Erstellung des Fahrplans berechnete Fahrzeit nicht mehr einhalten lässt. Auch temporäre Langsamfahrstellen erzeugen Fahrzeitverlängerungen, die nicht ohne Weiteres aus dem Fahrplan berechnet werden können. Um auch in solchen Situationen eine zuverlässige Prognose gewährleisten zu können, sind Algorithmen erforderlich, die eine genaue Fortschreibung der Fahrzeugbewegung auf der zugrunde liegenden Infrastruktur mit aktuellen Fahrzeugdaten wie fahrzeugseitiger Höchstgeschwindigkeit und Antriebsleistung durchführen.

Für die Berechnung der Fahrzeugbewegung zwischen zwei Halten bzw. der aktuellen Zugposition und dem nächsten Halt wird in diesem

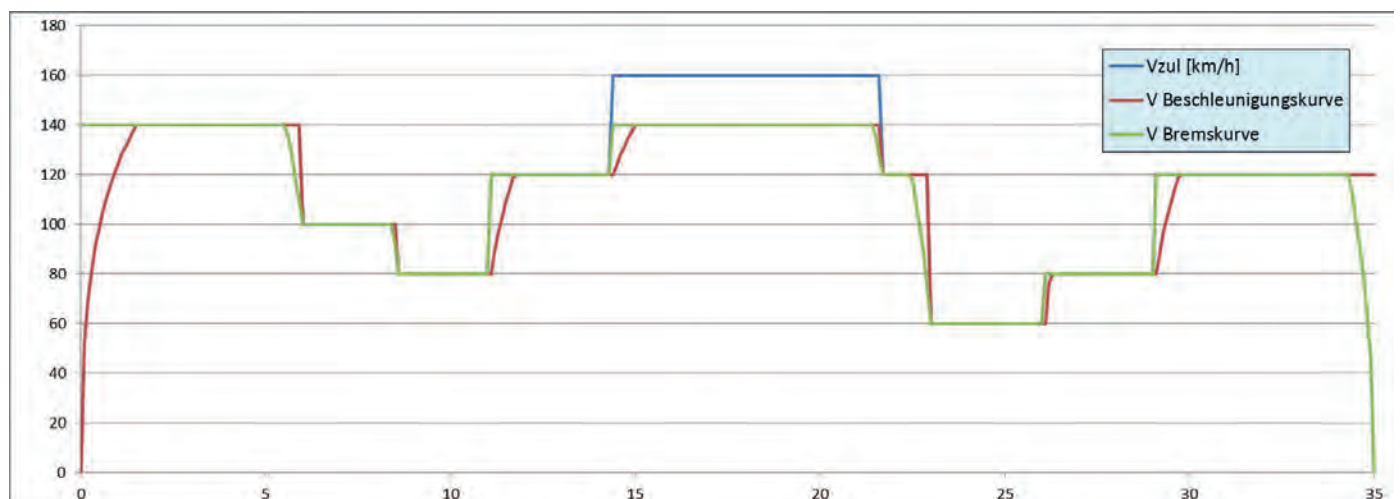


Abb. 1: Berechnung der Beschleunigungs- und Brems-Geschwindigkeitskurve mittels Wegschrittverfahren

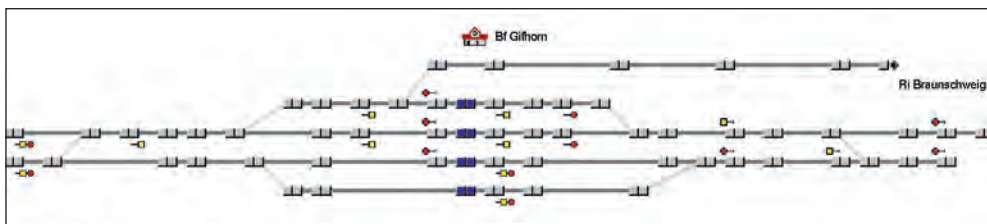


Abb. 2: Bahnhof Gifhorn an der Strecke Hannover – Wolfsburg, Beispiel für die Abbildung der Infrastruktur mittels Knoten-Kanten-Modell in OpenTrack

Projekt das Wegschrittverfahren mit einer Schrittweite von 10 m verwendet [2]. Die Berechnung besteht aus zwei Teilschritten: Zum einen werden die Beschleunigungsprozesse, zum anderen die Bremsprozesse berechnet. Eine Beharrungsfahrt ist bei beiden Berechnungsschritten enthalten. Die Beschleunigungen werden in Fahrtrichtung berechnet, die Bremsungen entgegen der Fahrtrichtung. Durch eine Analyse des punktwisen Minimums beider Kurven ergibt sich die Kurve der kürzesten Fahrzeit. In Abb. 1 ist die Beschleunigungs-Geschwindigkeitskurve in rot und die Brems-Geschwindigkeitskurve in grün zu sehen. Die zulässige Geschwindigkeit (blau) kann im Beispiel nicht überall ausgefahren werden, da das Fahrzeug nur 140 km/h fahren kann. Der bis hierhin berechnete Fahrtverlauf wird als „untere Schranke“ für den tatsächlichen Fahrtverlauf verwendet. Die tatsächliche Fahrbewegung, wie sie nach Vorgabe des Triebfahrzeugführers vom Fahrzeug realisiert wird, kann insbesondere bei Vorhandensein einer Fahrzeitreserve von der berechneten zeitlich optimalen Trajektorie abweichen. Daher wird im nächsten Schritt eine „obere Schranke“ für den tatsächlichen Fahrtverlauf berechnet, indem die Fahrzeitreserve gleichmäßig auf die Strecke verteilt wird. Die tatsächlich gefahrene Trajektorie bewegt sich damit im Regelfall innerhalb der berechneten Schranken. Aus beiden Schranken ergeben sich für den nächsten Halt unmittelbar eine früheste und eine späteste Ankunftszeit.

Fahrzeugstörungen können einen erheblichen Einfluss auf die Ankunftszeit eines Zuges an den nachfolgenden Bahnhöfen haben. Daraus resultierende Verspätungen können zu betrieblichen Konflikten und Folgeverspätungen bei anderen Zügen führen. Es können bspw. nachfolgende, schnellfahrende Züge des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV) behindert werden. Bislang wird die aktuelle Verspätung eines Zuges in die Zukunft fortgeschrieben. Dabei werden Fahrzeugstörungen nicht im Detail berücksichtigt, sondern allenfalls pauschal angerechnet. Ziel dieses Projekts war unter anderem die Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugzustands vor dem Hintergrund einer genaueren Ankunftsprognose. Dadurch sind deutlich zuverlässigere Ankunftsprognosen erstellbar. Da im Rahmen des Projekts keine ständige Fahrzeugdaten-Übertragung von Schienenfahrzeugen im Untersuchungsge-

biet Hannover – Braunschweig – Wolfsburg zur Verfügung stand, wurde ein Teil der Zugläufe in einer Messkampagne im Oktober 2014 aufgezeichnet. Anschließend wurden Fahrzeugstörungen in einer Simulation manuell erzeugt und möglichst realitätsgetreu in den Betriebsablauf eingefügt.

Weil im Projekt nicht alle Fahrzeugstörungen abgebildet werden konnten, wurden drei exemplarische Störungen näher untersucht. Dazu gehören Türstörungen, der Ausfall von Antriebseinheiten sowie eine defekte Pfeifeinrichtung. Ein erhöhtes Fahrgastaufkommen in Verbindung mit Türstörungen führt zur verspäteten Abfahrt im Bahnhof. Bei dem Ausfall der Antriebseinheit wird ein modifiziertes Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm zugrunde gelegt. Der Ausfall der Pfeifeinrichtung an der Front des Zuges bewirkt eine Limitierung der Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h [3].

Erstellung Infrastrukturmodell

Neben dem Entwurf einer geeigneten Prognosemethodik ist die adäquate Abbildung des Untersuchungsraums sehr wichtig. Grundlage für die Digitalisierung war die Nutzung des bahnspezifischen Datenaustauschformats railML 2.2, welches auf XML basiert. Für die betrachtete Strecke zwischen Hannover und Wolfsburg wurde eine railML-Datei erstellt. Die Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt der Modellierungsansicht. Darin enthalten sind alle notwendigen Informationen zur Infrastruktur, zu den Fahrzeugen und zum Fahrplan.

Die Infrastruktur wurde zunächst mikroskopisch mit der Bahnsimulationssoftware OpenTrack abgebildet. Für das Map-Matching der Fahrzeuge mussten im nächsten Schritt wichtige Punkte wie bspw. Weichen und Haltepositionen der Züge georeferenziert werden. Die Positionen dieser Punkte wurden aus OpenStreetMap ausgelesen und die jeweiligen Streckenelemente innerhalb der railML-Datei um entsprechende Geokoordinaten ergänzt.

Anschließend wurden die unterschiedlichen Fahrzeugtypen wurden mit ihren Eigenschaften in die railML-Datei integriert und die Parameter wie Leistung, Masse, Höchstgeschwindigkeit, Zuglänge, Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm sowie Widerstände hinterlegt. Die Fahrplandaten in der railML-Datei beinhalten für den Betrachtungszeitraum (neben dem Fahrzeugtyp und der Zugnummer) die planmäßigen Ankunfts- und Abfahrtszeiten sowie die Gleisnummern in den Bahnhö-

fen. Die railML-Datei dient als Input für das Simulationsprogramm, welches unter „Methodik“ dargestellt wurde.

Vom Bahnserver bis zur Anwendung für den Reisenden

Für die erfolgreiche Entwicklung einer genaueren Ankunftsprognose ist die Kenntnis der realen Fahrsituationen von äußerster Wichtigkeit. Es wurde daher ein Konzept zur Erhebung dieser Daten entwickelt. Kernelement des Konzeptes sind mobile technische Komponenten, die es gestatten, die tatsächlichen Zugfahrten sensorisch in Form von Geokoordinaten und Zeit zu erfassen. Die Daten sollen schon während der Zugfahrten zu einer zentralen Datenmanagementlösung (Bahnserver) kommuniziert werden. Da Züge oft durch dünnbesiedelte ländliche Regionen fahren, ist eine Abdeckung mit hinreichender Kommunikationsinfrastruktur oft nicht gegeben. Der Berücksichtigung dieses Umstandes musste deshalb ebenso Rechnung getragen werden wie die Genauigkeit der Positionsbestimmung der Einheiten. Die dafür entwickelten Prototypen bestimmen kontinuierlich ihren Ort und die Zeit. Sie sind weiterhin mit einer autarken Stromversorgung ausgestattet [4].

Bahnserver als Backend und Datendrehscheibe

Mit dem DLR-Bahnserver steht ein Datenverarbeitungssystem zur Verfügung, das statische und dynamische Daten unterschiedlicher Herkunft bündelt [5]. Das Ziel ist eine Verbindung statischer Streckendaten mit dynamischen Positionsdaten in Form einer ansprechenden grafischen Aufbereitung. Die Geodaten der Schienenverkehrsinfrastruktur sind die Datengrundlage für das Map-Matching der Fahrzeuge sowie für die Algorithmen zur Ankunftsprognose. Sie können aus verschiedenen Quellen stammen und werden über standardisierte Schnittstellenformate in die Bahnserver-Datenbank eingelesen. Die Schnittstelle zwischen dem Bahnserver und dem Benutzer ist eine Kartenansicht, die über einen projektspezifischen Login auf Basis eines Mandanten-Zugangssystems auf einer Website zu erreichen ist.

In der gleichen Weise wie die statischen Geodaten werden auch die Echtzeitdaten in einer Datenbank gespeichert. Bei den Echtzeitdaten erfolgt eine direkte Weiterleitung an das Programm zur Prognoseberechnung.

Entwicklung Datenlogger zur Aufzeichnung von Fahrdaten

Basierend auf den Erfahrungen mit dem DLR-Zweiwegemessfahrzeug RailDrIVE [6] wurde eine generische Datenaufzeichnungssoftware entwickelt. Das Konzept bedient sich einer modularen Software- und Hardwarelösung und ist skalierbar auf minimale Computersysteme und gestattet eine kostengünstige Entwicklung von Prototypen. Das Datenaufzeichnungssystem des RailDrIVE wurde für die Anwendung innerhalb von IKTS stark vereinfacht und modifiziert. Im Rahmen des Projekts wurde eine tragbare Kofferlösung mit integriertem Einplatinenrechner entwickelt, die mit einem GPS und einer Kommunikationseinheit ausgestattet wurden [4]. Die Einheiten speichern die zurückgelegte Strecke auf einem internen Speicher und versenden die aktuellen Positionen in naher Echtzeit an den zentralen Datenserver.

Zusätzlich entwickelte Smartphone-Apps für die Plattformen iOS (Apple) und Android (Google) nutzen die intern verfügbaren Sensoren und vorhandene Kommunikationsstrecken. Die Apps ergänzen die Datengewinnung der Einplatinenrechner und stehen in höherer Stückzahl zur Verfügung. Über eine verschlüsselte Verbindung konnten auch die Smartphone-Einheiten die Zugfahrt dokumentieren, um Kenntnisse zum realen Fahrgeschehen zu erhalten (Abb. 3).

Messkampagne zur Gewinnung von Fahrdaten

In einer Messkampagne wurden verschiedene Personen auf unterschiedliche Züge im Einsatzgebiet Hannover – Braunschweig – Wolfsburg verteilt. Für eine umfassende Datengrundlage über den Betriebsablauf des Schienenpersonenverkehrs wurden im Oktober 2014 an einem Tag insgesamt 24 Zugfahrten begleitet.

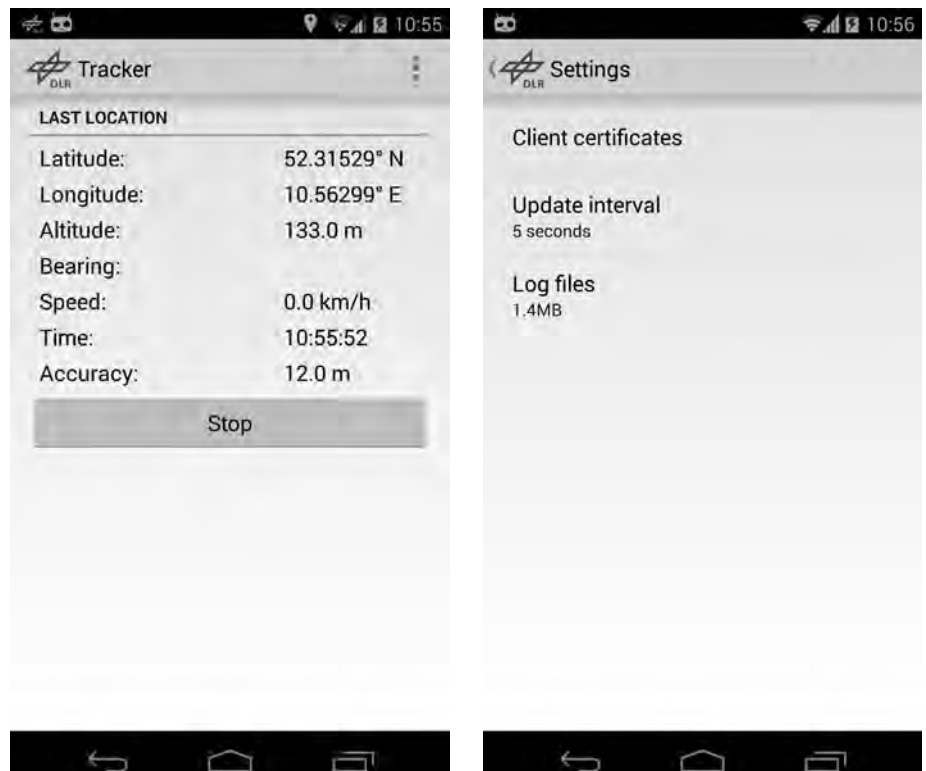


Abb. 3: Android-App zur Erfassung der Positionsdaten während der Messfahrt, lokale Speicherung auf dem Endgerät und verschlüsselte Übertragung an den Bahnserver

Im Zeitraum zwischen 11.00 Uhr und 13.00 Uhr wurden die GPS-Positionen aller Personenzüge im Untersuchungsraum einmal pro Sekunde an den Server gesendet. Jede mobile Messeinheit hat die Positionsmeldungen erfasst und die Datentelegramme über eine mobile Internetverbindung an den DLR-Bahnserver übermittelt. Ein Operator im Büro überwachte per Telefon und Bahnserver die Fahrten der Teilnehmer. Dabei wurde der Bahnserver-Web-

service „MapView“ genutzt. Dieser visualisiert die aktuellen Positionen und die Tracks der einzelnen Züge auf der Streckenkarte (Abb. 5). Mit der Messkampagne konnten mehrere Ziele erreicht werden: Die einzelnen Messfahrten dienten als umfassender Hardware-, Software- und vor allem Servertest. Die gewonnenen Messdaten wurden im weiteren Projektverlauf als abspielbare Live-Positionsdaten genutzt, die auch im Rahmen der De-

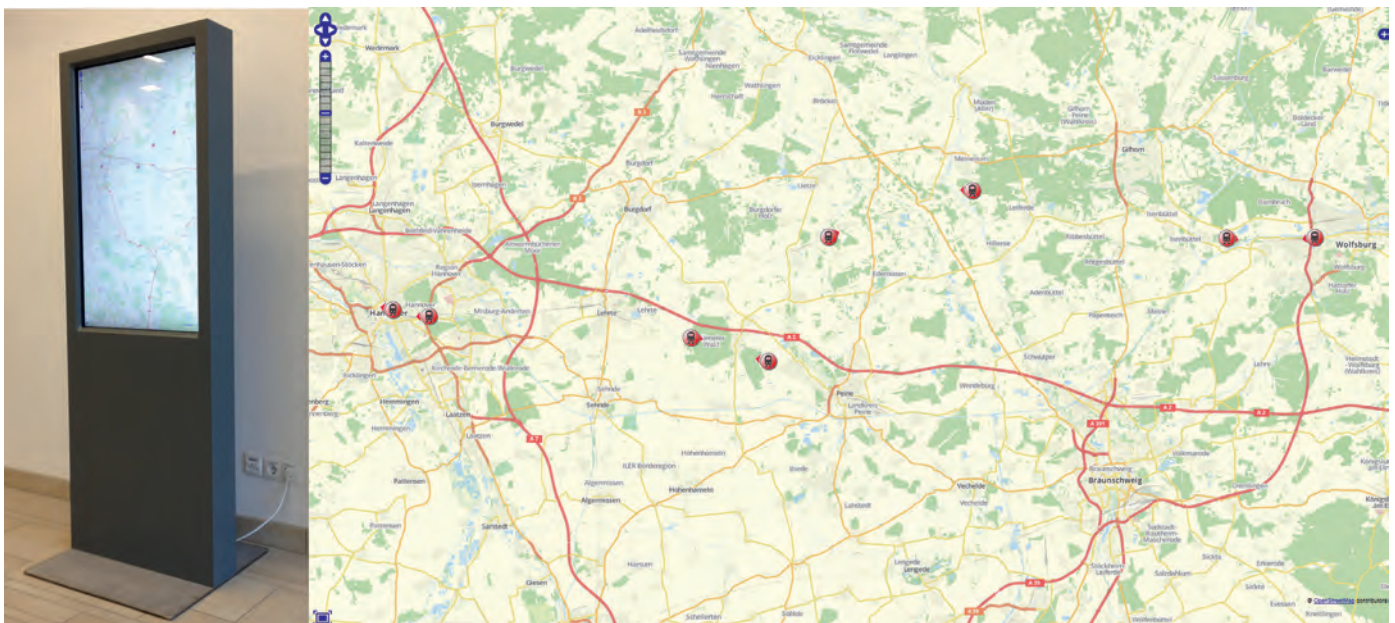


Abb. 4: Infosäule (links) als stationäre Reisendenanwendung mit der Kartenansicht (rechts)

monstration Anwendung fanden. Darüber hinaus wurden die Messdaten für die Validierung der Prognosealgorithmen benötigt.

Stationäre Reisedatenanwendung und weiterer Ausblick

Die stationäre Reisedatenanwendung wurde als Infosäule konzeptioniert und gebaut. Sie ermöglicht den Reisenden z. B. im Bahnsteigumfeld aktuelle Fahrinformationen der Züge abzurufen (Abb. 4). Zu sehen ist der Korpus mit dem integrierten Monitor und die aktuellen Positionen und Fahrtrichtungen der Fahrzeuge. Als Anwendung läuft der eigens erstellte Dienst zur Ankunftsprognose von Schienenfahrzeugen.

Die Berechnung der aktuellen Ankunftsprognosen erfolgt unter Einbeziehung ständig verfügbarer Ortungsdaten sowie dynamischer Informationen zum Fahrzeugzustand.

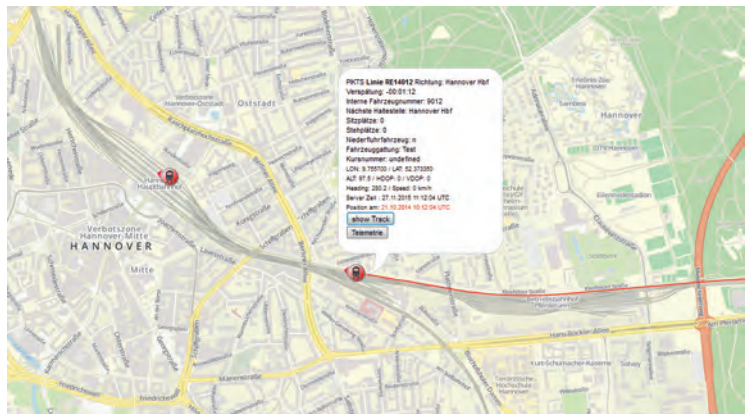
Der Anwender hat nun die Möglichkeit, die einzelnen Fahrzeuge über den berührungsempfindlichen Monitor auszuwählen. Anschließend öffnet sich ein weiteres Fenster mit zusätzlichen Informationen über die gefahrene Linie, die momentane Verspätung basierend auf der Ankunftsprognose, die interne Fahrzeugnummer, die nächste Haltestelle, die Anzahl der Sitz- und Stehplätze, ob es sich um eine Niederflerfahrzeug handelt, die Fahrzeuggattung, die Kursnummer, die Position mit Höhenangabe, die Fahrtrichtung, die Geschwindigkeit und die aktuelle Zeit (Abb. 5).

Die nächsten Schritte sind die Erweiterung um weitere fahrzeugseitige und die Ergänzung streckenseitiger Störungen. ■

QUELLEN

- [1] Dokumentation der Ergebnisse Schaufenster Elektromobilität Niedersachsen „Metropolregion elektrisiert...“, Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH, Hannover, Dezember 2015
- [2] Wende, D.: Fahrdynamik des Schienenverkehrs, Vieweg+Teubner Verlag, 2003

Abb. 5: Detailansicht bei Auswahl einer Zugfahrt



- [3] DB AG, Konzernrichtlinie 408.0691: Züge fahren – Sonstige Unregelmäßigkeiten an technischen Einrichtungen – Regeln für Zugpersonal, 13.12.2009
- [4] Kluge, A.; Johannes, L.: Innovative minimale Rechnerplattformen für den Einsatz im Bahnbereich, in: Signal+Draht, Heft 12/2015

- [5] Schubert, L.A., Rahmig, C., Scholz, M.: Zentrales Echtzeit-Datenmanagement für Anwendungen im Bahnverkehr, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 6/2016
- [6] Lüddecke, K.; Kluge, A.: Mobiles Labor RailDrive – synchrone Erfassung von Sensordaten, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 1/2014



Dipl.-Ing. Christian Blank
christian.blank@dlr.de



MBA Dipl.-Inf. (FH) Andreas Kluge
andreas.kluge@dlr.de



Dr.-Ing. Lars Johannes
lars.johannes@dlr.de



Michael Mönsters M.Sc.
michael.moensters@dlr.de

alle Autoren; Wissenschaftliche Mitarbeiter
Institut für Verkehrssystemtechnik Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Braunschweig



Fachmedien für die ganze Bahn-Branche
Print · Digital · Online



www.eurailpress.de