

25. Verkehrswissenschaftliche Tage 2016

- Integration individuell abrufbarer Personentransportsysteme in den ÖPNV -

**Dr.-Ing. Lars Schnieder¹, Werner Kohl²,
Marta Barrilero¹, Katharina Karnahl¹**

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V, Institut für Verkehrssystemtechnik,
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

² Mentz GmbH, Grillparzerstr. 18, 81675 München

1 Einleitung

Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) streben einen Betrieb an, der wirtschaftlich, sicher und für die Fahrgäste attraktiv ist. Neben einer ausreichenden räumlichen und zeitlichen Bedienung mit Verkehrsleistungen umfasst dies weitere Komfortmerkmale. Die Bereitstellung aktueller betrieblicher Informationen für alle im Sinne kollektiver Auskunftsmedien ist seit langer Zeit im Betrieb von ÖPNV-Systemen erfolgreich etabliert. In der zunehmenden Verfügbarkeit des mobilen Internets und einer entsprechenden Ausstattungsrate der Fahrgäste mit Smartphones besteht jedoch das Potenzial, neben der Bereitstellung von Echtzeitinformation auch Anwendungsprogramme (Apps) zur Assistenz der Reisenden bei verkehrsträgerübergreifenden Reiseketten zu entwickeln und bereitzustellen (vgl. [1] und [2]). Parallel hierzu zeichnet sich eine sukzessive Zunahme der Fahrzeugautomation ab. Am Ende dieser Entwicklung wird das autonome Fahrzeug stehen. Auf dieser technologischen Grundlage werden bedarfsorientierte Bedienformen in Form individuell abrufbarer Transportsysteme in städtischen Quartieren langfristig umsetzbar (vgl. [3] und [4]). Dieser Beitrag beschreibt, wie individuell abrufbare Transportsysteme auf Basis autonom fahrender Fahrzeuge in die Informationsdienste des ÖPNV integriert werden können.

2 Fahrerlose Fahrzeuge - Risiko oder Chance für den ÖPNV?

Die Entwicklung und der Einsatz fahrerlos fahrender Fahrzeugeinheiten werden einen disruptiven Effekt auf den Verkehrsmarkt haben. Die heutigen Nutzungsmuster, Besitz- und Geschäftsmodelle werden sich grundlegend verändern. Die traditionellen Grenzen zwischen den Verkehrssystemen (vgl. [5] und [6]) verschwimmen zusehend. Das selbstfahrende Fahrzeug kann im Prinzip alles sein: ein individuell/privates Verkehrsmittel (bspw. als privates Auto), ein individuell/öffentliches Verkehrsmittel (z.B. Taxi), ein kollektiv/öffentliches Fahrzeug (Bus), bzw. ein kollektiv/privates Verkehrsmittel (z.B. im Sinne eines Ride-Sharings).

¹ Korrespondierender Autor: lars.schnieder@dlr.de; www.dlr.de/ts

² kohl@mentz.net

Die aktuelle Diskussion, ob fahrerlos fahrende Fahrzeugeinheiten aus Sicht des öffentlichen Verkehrs eine Chance oder ein Risiko darstellen (vgl. [7]), bewegt sich zwischen den folgenden Extremen:

- Fahrerlos fahrende Fahrzeugeinheiten stellen eine *Existenzbedrohung* für den Öffentlichen Verkehr dar. Das fahrerlose Fahren macht das Autofahren wesentlich attraktiver. Durch die Entlastung von der Fahraufgabe wird Lebenszeit zurückgewonnen. Die Zeit im Auto kann zum Telefonieren, Schlafen, bzw. Konsum von Online-Angeboten genutzt werden. Am Zielort steigt man vor der Tür aus, danach sucht sich das Fahrzeug selbstständig einen Parkplatz – oder es steht anderen Personen zur Verfügung. Nutzer wenden sich zunehmend vom ÖPNV ab und wenden sich dem motorisierten Individualverkehr zu.
- Fahrerlos fahrende Fahrzeugeinheiten stellen im positiven Falle einen *zentralen Teil des öffentlichen Verkehrssystems* dar und sind in diesen integriert. Das fahrerlose Fahrzeug ist Bestandteil einer Flotte von „Roboter-Minibus-Taxis“. Ein solches System gliedert sich idealerweise in eine hierarchische Netzkonzeption des öffentlichen Verkehrs ein. Es ergänzt leistungsfähige auf Bündelungseffekte ausgerichtete Verkehrssysteme (Bussysteme hoher Kapazität, bzw. Stadt- und S-Bahnen) im Sinne eines anliegende Wohngebiete erschließenden Zu-, bzw. Abbringers.

Unter der Prämisse, dass sich fahrerlos fahrende Fahrzeugeinheiten in den ÖPNV integrieren werden, wird im Folgenden ein Ansatz zur verkehrlichen Integration dieser Mobilitätskonzepte (vgl. Abschnitt 3) sowie zu ihrer systemtechnischen Integration in bestehenden Informationsdienste des ÖPNV (vgl. Abschnitt 4) vorgestellt

3 Integration fahrerloser Fahrzeuge in den ÖPNV

Die auf der Grundlage fahrerloser Fahrzeugeinheiten operierenden individuell abrufbaren Personentransportsysteme werden wegen ihrer geringen Kapazität absehbar eine zu-, bzw. abbringende Funktion zu übergeordneten Verkehrssystemen im ÖPNV-System (z.B. S-Bahn) übernehmen. Abbildung 1 zeigt eine exemplarische Reisekette. Zunächst übernimmt eine fahrerlose Fahrzeugeinheit eine zubringende Funktion zum übergeordneten Verkehrssystem (sog. Zubringer). Das übergeordnete ÖPNV-System wird angebotsorientiert bedient (in Analogie zur Logistik hier als Hauptlauf bezeichnet). Die Haltestellen des Hauptlaufs sind mit dem Zeichen 224 der Straßenverkehrsordnung dargestellt, ggf. ist der Hauptlauf selbst eine mehrfach gebrochene Reisekette. Am Ende des Hauptlaufs übernimmt eine fahrerlose Fahrzeugeinheit eine abbringende Funktion vom übergeordneten Verkehrssystem (sog. Abbringer). Bei einer solchen hierarchischen Netzkonzeption treten aus Sicht des Fahrgastes mit seinem Wunsch nach einer verlässlichen Verkehrsbedienung die zwischen diesen Teilsystemen bestehenden Kontaktpunkte in den Vordergrund. Bereits in der Planung der Reisekette sind die zwischen Teilsystemen bestehenden Anschlussbeziehungen als zusätzliche Restriktionen für die Routing- und Dispositionsalgorithmen zur berücksichtigen. So ergibt sich beispielsweise die erforderliche Ankunftszeit des zubringenden flexiblen Quartiersbusses an der Umstiegshaltestelle zum übergeordneten Verkehrsmittel aus der veröffentlichten Abfahrtszeit des angebotsorientiert verkehrenden übergeordneten Verkehrsmittel abzüglich der den Fahrgästen für den Übergang von einem zum anderen Fahrzeug gewährten Über-

gangszeit. Während der Betriebsdurchführung werden dann für die Sicherung des Anschlusses die aktuellen Fahrplanlagen des Zubringers und des Abbringers verglichen. Die hieraus resultierende tatsächlich für die Fahrgäste verfügbare Übergangszeit an der Anschlusshaltestelle wird mit der von den Fahrgästen benötigten Übergangszeit verglichen. Im Ergebnis kann das Abbringerfahrzeug in einer definierten Zeitspanne angewiesen werden auf das Zubringerfahrzeug zu warten.

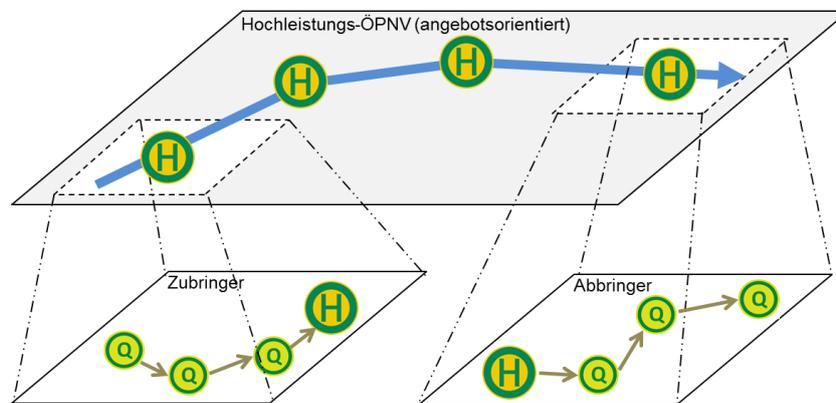


Abbildung 1: Gesamtsystemkonzept als Wechselspiel angebots- und bedarfsorientierter Bedienformen

4 Systemtechnische Integration von Buchung und Disposition fahrerloser Fahrzeuge

Mit fahrerlosen Fahrzeugeinheiten kann der ÖPNV auf eine neue technologische Basis gestellt werden. Hierfür ist eine Integration der Buchung und Disposition dieser Fahrzeuge in bestehende Informationsdienste im öffentlichen Verkehr zu leisten. Die kundenbezogenen Mehrwertdienste im öffentlichen Verkehr lehnen sich an einschlägige Branchenstandards im öffentlichen Verkehr an (u.a. [12] und [13], bzw. [14] und [15]).

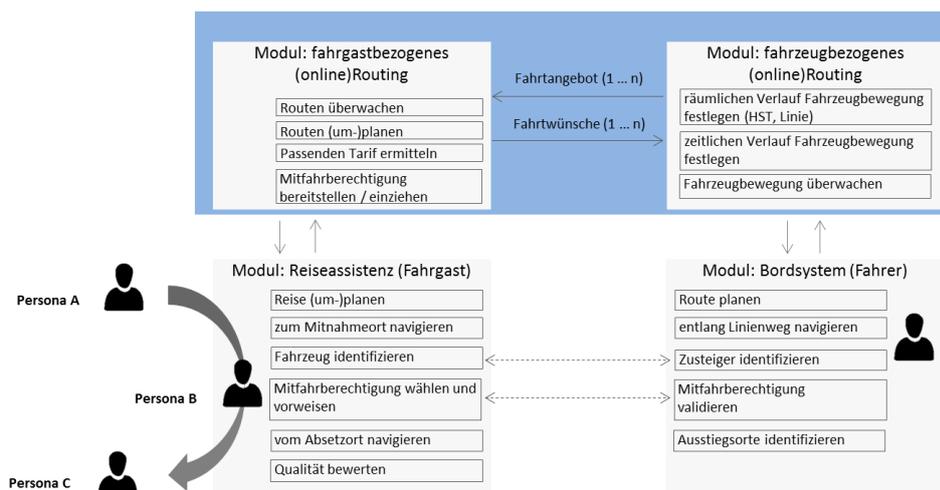


Abbildung 2: Funktionale Dekomposition des individuell abrufbaren Personentransportsystems

Abbildung 2 zeigt die einzelnen Komponenten des individuell abrufbaren Personentransportsystems in ihrem Zusammenwirken. In einem ersten Schritt wurden hierbei in einer abstrakten funktionalen Betrachtung einzelne Basisdienste identifiziert. Die Realisierung dieser einzelnen Funktionen geschieht unter Berücksichtigung von zuvor aufgestellten Personas mit ihren Vorlieben und weiteren Merkmalen. Die in Abbildung 2 dargestellten Basisdienste sind im Systemkonzept eines am Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) konzipierten Labordemonstrators vorgesehen. Die einzelnen Systemkonstituenten, bzw. Dienste werden nachfolgend beschrieben.

4.1 Modul Reiseassistentz (Fahrgast)

Der Fahrgast erhält eine Reiseassistentzanwendung auf seinem Smartphone. Er kann Verbindungsanfragen an die Hintergrundsysteme senden und plant damit seine Reise vom Start- zum Zielpunkt (vgl. [13] und [14]). Der Fahrgast wird von seinem aktuellen Startpunkt zu Fuß zum Mitnahmeort geleitet. Dort hilft die Reiseassistentzanwendung dem Fahrgast, das ihm für seine Fahrt bereitgestellte Fahrzeug zu identifizieren und die Anfahrt des Fahrzeugs einige Minuten vor dem vereinbarten Mitnahmezeitpunkt online zu verfolgen (sog. „Haltestellenmonitoring“, vgl. [15]). Diese Information ist für den Fahrgast insbesondere insofern relevant, als dass klassische, den ÖPNV prägende Prämissen, wie definierte Haltestellen, a-priori bekannte Linienwege, bzw. publizierte Fahrpläne in einem individuell abrufbaren Personentransportsystem nicht mehr existieren. Im Falle eines Umstiegs vom oder zum übergeordneten Verkehrssystem wird der Fahrgast von seinem Ausstieg zum Einstieg des anschließenden Verkehrsmittels geführt. Am Ende seiner Reisekette wird der Fahrgast zu Fuß von seinem Absetzort zu seinem Zielpunkt geführt.

4.2 Modul fahrgast-, bzw. fahrzeugbezogenes Routing

Im Hintergrundsystem werden die bislang offline erstellten Sollfahrplänen zu dynamisch generierten Sollfahrplänen. Darüber hinaus verschmelzen die herkömmlichen getrennt bearbeiteten Aufgaben der Fahrplanerstellung, der Fahrzeugdisposition und der Fahrplanauskunft. Es sind nunmehr fahrgastbezogene Routingaufgaben und fahrzeugbezogene Routingaufgaben integriert und eng miteinander verwoben. Hierbei gibt es im zeitlichen Verlauf einer Reisekette verschiedene Konkretisierungsstufen:

- *Konkretisierung des Sollfahrplans*: Neue fahrgastbezogene Routenwünsche, bzw. Fahrtstornierungen führen zu einer neuen Fahrtroute des Fahrzeugs. Ebenso haben Routenupdates des Fahrzeugs - in Folge zusätzlicher gewünschter Fahrten der Fahrgäste – erneut Routenupdates der bislang „eingebuchten“ Fahrgäste zur Folge. Der Sollfahrplan resultiert also aus den vorliegenden Buchungswünschen der Fahrgäste (dynamische Fahrplansolldaten). Der verkehrlichen Rolle des individuell abrufbaren Personentransportsystems als Zu- bzw. Abbringer zu konventionellen, angebotsorientierten ÖPNV-Angeboten entsprechend, decken die dynamischen Fahrplansolldaten des Quartierbusses nicht den vollständigen Mobilitätsbedarf der Fahrgäste ab (vgl. Abbildung 1). Um eine globale (d.h. quartiersübergreifende) Reisekette zu planen, müssen verschiedene Teilinformationen konsistent zu einer Gesamtroute zusammengefasst werden (Teilroute Zubringer, Teilroute Hauptlauf, Teilroute Abbringer).

- *Ermittlung des Ist-Fahrplans:* Die dynamischen Fahrplansolldaten werden um Informationen ergänzt, die sich kurzfristig aus der verkehrlichen oder betrieblichen Situation ergeben. Es handelt sich dabei um fahrtbezogene Informationen. Diese können Ergebnisse der verkehrlichen Lage (Verspätungen, Stau) oder dispositiver Maßnahmen (Umleitung) sein. Die online von den Fahrzeugen übermittelten Ist-Daten werden auf den zuvor generierten Solldatenbestand bezogen und eingeordnet. Durch Differenzbildung wird festgestellt und ob sich etwas geändert hat und – sollte dies der Fall sein - was sich geändert hat
- *Kurzfristige Fahrplanprognosen:* Auf der Grundlage verschiedenster Einflussgrößen, bzw. auf Basis vorhandenen statistischen Materials (beispielsweise kantenbezogene Verkehrsstärken) werden Prognoserechnungen durchgeführt. Hierbei werden Informationen über prognostizierte Zeiten für sämtliche zukünftig anzufahrenden Haltestellen ermittelt. Diese Prognosen werden nur für eine begrenzte Vorschauzeit ermittelt (z.B. maximal 20 Minuten). Dies ist auf Grund der begrenzten Umlauflängen fahrerloser Quartiersbusse eine realistische Annahme.

4.3 Modul Bordsystem (Fahrzeugautomation)

Der Fahrer (bzw. eine Schnittstelle zur Fahrzeugautomation im Falle autonom verkehrender Fahrzeuge) erhält über das Hintergrundsystem Informationen zu seiner Fahrroute und wird entlang des dynamisch generierten Linienwegs navigiert. Eine wesentliche Funktion ist die Identifikation von Zusteigern, bzw. die Identifikation von Ausstiegsorten, da diese nicht mehr „klassische“ Haltestellen sind. Das Fahrzeug stellt seine aktuellen Informationen (Geschwindigkeit und Ort) für die zentrale Prognose (siehe oben) zur Verfügung.

5 Fazit und Ausblick

Der Beitrag beschreibt einen systemtechnischen Rahmen zur prototypischen Umsetzung eines individuell abrufbaren Personentransportsystems. Im Rahmen des grundfinanzierten DLR-Forschungsvorhabens ‚Urbane Mobilität‘ sowie in dem vom Land Baden-Württemberg geförderten Vorhaben ‚Reallabor Schorndorf‘ wird die Vision in Form eines haltestellenlosen Quartierbussystems näher präzisiert und untersucht. Hierfür werden die Anforderungen der Reisenden aus Sicht von zuvor abgeleiteten Personas untersucht. Dies betrifft insbesondere die konkrete Ausgestaltung einer Smartphone-App, welche dem Nutzer gestattet, das Transportsystem für die individuelle Verwendung abzurufen (vgl. [4]). Darüber hinaus ist die Nutzung des individuell abrufbaren Transportsystems in eine verkehrsträgerübergreifende Reiseassistenz integriert. Die Betrachtungen zu individuell abrufbaren Personentransportsystemen werden auch die Anwendungspotenziale selbsttätig fahrender Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen (ohne menschlichen Eingriff) in den Vordergrund rücken. Die in den genannten Projekten gesammelten Erfahrungen in der nutzerorientierten Gestaltung eines individuell abrufbaren Personentransportsystems können zukünftig bei einer betrieblichen Integration automatisierter Fahrzeuge in den ÖPNV aufgegriffen werden. Hierbei sind allerdings spezifische Fragestellungen der Nutzerakzeptanz eines öffentlichen Personenverkehrssystems ohne Anwesenheit von Betriebspersonal vertieft zu betrachten.

6 Literatur

- [1] Janssen, J.; Krings, Daniel: *Mit Chip und Smartphone – IPS und IPSI vernetzen Handy-Ticket-Systeme in Deutschland*. In: Der Nahverkehr 1-2/2014, S. 7 – 9.
- [2] van Eimeren, Birgit; Frees, Beate: *79 Prozent der Deutschen online – Zuwachs bei mobiler Internetnutzung. Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2014*. In: Media Perspektiven 7/8 (2014), S. 378 – 396.
- [3] Pavone, Marco: *Autonomous Mobility-on-Demand Systems for Future Urban Mobility*. In: Maurer, M. et al.: *Autonomes Fahren*. Springer (Berlin) 2015, S. 400 – 416.
- [4] Beiker, Sven: *Implementierung eines selbstfahrenden und individuell abrufbaren Personentransportsystems*. In: Maurer, M. et al.: *Autonomes Fahren*. Springer (Berlin) 2015, S. 287 – 307.
- [5] Schnieder, Lars: *Optimierung an der Nahtstelle zwischen individueller und kollektiver Mobilität*. ZEVrail 138 (2014) 10, S. 435 - 441.
- [6] Schnieder, Lars; Köster, Frank: *Assistenz und Automation am Übergang zwischen individueller und kollektiver Mobilität*. In: Internationales Verkehrswesen 67 (2015) 3, S. 96-99.
- [7] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen: *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge - Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen*. Positionspapier, Köln, November 2015.
- [8] Löcker, G.: *Differenzierte Bedienungsweisen – Nahverkehrsbedienung zwischen großem Verkehrsaufkommen und geringer Nachfrage*. Düsseldorf: Alba Fachverlag (1994).
- [9] Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft*. Acatech Position, Berlin (2015).
- [10] Flache, H.; Westphal, E.: *Ein Quartierbus für Leipzig-Grünau*. In: Der Nahverkehr (2011) 9, S. 58–61.
- [11] Wortmann, I.; Rüde, M; Blank, C.: *Erfolg mit Quartier-Buslinien*. In: Der Nahverkehr (2001) 4, S. 52–54.
- [12] Bandelin, H.; Franke, T., Kruppa, R.; Wehrmann, A.; Weißer, D.: *Einheitliche Plattform für ÖPNV-Kommunikation auf gutem Weg*. In: Der Nahverkehr, 30 (2012) 7+8, S. 44.
- [13] VDV-Schrift Nr. 430: *Mobile Kundeninformation im ÖV - Systemarchitektur*. Gesamtbearbeitung 01/2014, VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen)
- [14] VDV-Schrift Nr. 452: *VDV-Standardschnittstelle Liniennetz/Fahrplan*. 07/2013, VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen).
- [15] VDV-Schrift Nr. 454: *Ist-Daten-Schnittstelle*. 03/2008, VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen).