Shuttle-Modellregion Oberfranken: Forschung im Realbetrieb

Erste Ergebnisse aus der betriebsbegleitenden Forschung

Prof. Dr. Ralf Reißing, Prof. Dr. Mathias Wilde, Coburg; Dr. -Ing. Eugen Wige, Kronach-Neuses; M. Sc. Lars Abeler, Ingolstadt; Dipl.-Ing. Philipp Lindner, M. Sc. Felix Piechaczyk, Chemnitz

Bereits in Ausgabe 6/2021 von DER NAHVERKEHR wurde eines der umfangreichsten Forschungsprojekte mit automatisierten Shuttles in Deutschland, die Shuttle-Modellregion Oberfranken (SMO) vorgestellt. Im Frühsommer 2021 konnte aufgrund des Rückgangs der Corona-Infektionen in den drei Modellkommunen der Fahrgastbetrieb starten. In Hof, Kronach und Rehau sind jeweils zwei automatisierte Shuttles der Firma Navya unterwegs. Hier wird der Einsatz und die Akzeptanz fahrerloser Fahrzeuge in jeweils eigenen Anwendungsfällen erprobt (touristischer Verkehr in Kronach, Verbindung Bahnhof-Innenstadt in Hof, Werksverkehr in Rehau). Die ersten Monate im Fahrgastbetrieb sind erfolgreich verlaufen und stießen auf großes Interesse der Bevölkerung in Oberfranken. In den ersten drei Betriebsmonaten konnten im öffentlichen Verkehr in Hof und Kronach knapp 4000 Fahrgäste befördert werden.

Im vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten SMO-Projekt wird die Umsetzung des Shuttle-Betriebs durch eine umfangreiche Begleitforschung zum automatisierten Fahren ergänzt. Während die Städte

Abb. 1: Shuttle in Rehau.

Foto: Logistik Agentur Oberfranken

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

Hof und Rehau sowie die Landkreise Hof und Kronach die Fahrrouten auswählen und vorbereiten, verantworten die Partner DB Regio Bus und Rehau AG + Co. den Fahrgastbetrieb. Valeo befasst sich vor allem mit der technischen Weiterentwicklung, insbesondere im Bereich der Fahrzeugsensorik. Darüber hinaus sind die Hochschulen Hof und Coburg sowie die Technische Universität Chemnitz intensiv mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Projektkontext befasst. Koordiniert wird SMO durch den Konsortialführer Valeo in Kronach, unterstützt durch die Berliner Mobilitätsberatung Nuts One.

Im Folgenden werden die ersten Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschungsarbeiten des bis Mitte 2022 laufenden Vorhabens zusammengefasst.

DB Regio Bus: Shuttle-Betrieb und intermodale Infoplattform

DB Regio Bus ist im Rahmen des SMO-Projektes für den Betrieb der Shuttles in den Städten Hof und Kronach zuständig und verantwortet neben dem Fahrgastbetrieb die Einführung einer intermodalen Auskunftsplattform. Am dritten Einsatzort in Rehau wird der Shuttle-Betrieb durch die Rehau AG + Co durchgeführt, da es sich dort um einen internen Werksverkehr handelt. Im Fokus der Untersuchungen stehen die unterschiedlichen Anwendungsfälle in der Modellregion. Gerade die in diesen Bereichen gewonnenen Erkenntnisse ergänzen die bereits gesammelten Erfahrungen im automatisierten Verkehr auf anderen Testfeldern und sind wertvoll für den weiteren Einsatz der Technologie im ÖPNV. Insbesondere die Entwicklung zukünftiger Geschäftsmodelle ist eng mit der Identifikation passender Anwendungsfälle verbunden. Neben der Weiterentwicklung von Finanzierungsmöglichkeiten geht es um die Integration von automatisierten Shuttles in das tägliche Geschäft eines Verkehrsunternehmens. Dabei wird beispielsweise untersucht, welche Betriebsabläufe angepasst oder verändert werden müssen. So werden weitere Erkenntnisse über den realen Einsatz und wichtige Informationen über die Zuverlässigkeit der Shuttles im Vergleich zu bestehenden Linienbussen gesammelt.

Da vor dem Betriebsstart ein mehrmonatiger Testbetrieb – coronabedingt ohne Fahrgäste – durchgeführt wurde, konnten bereits wichtige Erkenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten und Performance der Shuttles gewonnen werden. Zudem arbeiteten die Konsortialpartner und der Fahrzeughersteller eng zusammen, um geeignete Routen in den Einsatzorten zu finden. So können zukünftig die Einsatzszenarien der Shuttles ergänzt und der technische Stand weiter optimiert werden.

Darüber hinaus besteht aus Betreibersicht ein weiteres wichtiges Thema des SMO-Projekts darin, die Akzeptanz des automatisierten Fahrens in der Bevölkerung weiter zu stärken. DB Regio Bus will dabei die Fahrt für die Fahrgäste besonders informativ und angenehm gestalten. Hierbei kommt den in den Fahrzeugen mitfahrenden, speziell ausgebildeten Operatoren eine wichtige unterstützende Rolle zu. Der Operator überwacht zu jeder Zeit das System und erhöht so zusätzlich das Sicherheitsempfinden der Fahrgäste.

Des Weiteren wurden die Shuttles auch in die „Wohin Du Willst"-App der DB Regio Bus sowie in den DB Navigator integriert. Die verkehrsübergreifende digitale Informations- und Buchungsplattform soll es ermöglichen, zusätzliche Informationen über die automatisierten Shuttles abzurufen und zu visualisieren. Neben den Abfahrtszeiten und dem Fahrtverlauf werden über die direkte Schnittstelle zum Fahrzeug auch Echtzeitdaten zum Ladezustand oder die aktuelle Geschwindigkeit ausgegeben.

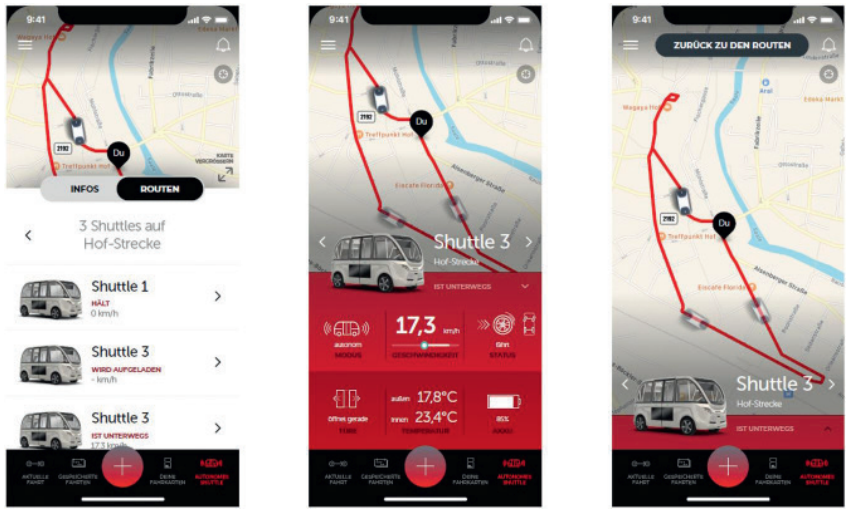

Abb. 2: Darstellung der automatisierten Shuttles in der App „Wohin-Du-Willst". Abb.: DB Regio Bus

Hochschule Coburg: Verkehrsplanung, Interaktion und Sicherheit

Die an der Hochschule Coburg bearbeiteten Fragestellungen befassen sich mit den Auswirkungen auf das Verkehrssystem und die Implikationen für die kommunale Verkehrsplanung, der Mensch-Maschine-Interaktion und dem Management von Störfällen. Das Teilvorhaben erarbeitet unter anderem die Grundlagen für ein Sicherheits- und Störfallmanagementkonzept, trägt Nutzungsanforderungen für mobile Anwendungen zur Buchung und Information zusammen und ermittelt die Akzeptanz in der Bevölkerung.

Akzeptanz in der Bevölkerung

Vor Aufnahme des Shuttle-Betriebes wurde eine Akzeptanzstudie durchgeführt. Deren Ergebnisse zeigen eine positive Grundhaltung in der Bevölkerung gegenüber den Shuttles sowie dem Engagement der Kommunen auf. Genauso zeigen die Werte eine hohe Erwartungshaltung an die Technik: Die Menschen verbinden mit dem Betrieb flexible Abfahrten und eine hohe Taktdichte, Pünktlichkeit und neue Strecken, bessere Erreichbarkeit und Angebote in Randzeiten. Die aktuelle Generation der Fahrzeuge kann diese Erwartungen allerdings kaum erfüllen.

Besonders deutlich veranschaulichen die Wünsche an die Geschwindigkeit eine Diskrepanz zwischen Erwartung und technischer Machbarkeit: Je nach Straßenquerschnitt wären die Fahrgäste gerne mit Geschwindigkeiten von 20, 30 oder sogar 50 km/h unterwegs (Abb. 3) – hingegen beträgt die zulässige Höchstgeschwindigkeit lediglich 18 km/h. Sollten die Erwartungen enttäuscht werden, wird wahrscheinlich eine Ernüchterung eintreten. Bei aller

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

Technikeuphorie ist es daher erforderlich, in der Bevölkerung die gegenwärtigen Möglichkeiten zu veranschaulichen.

Integration in den ÖPNV

Das Modellprojekt zeigt die Hürden auf, die zu nehmen sind, damit fahrerlose Shuttles den Betrieb aufnehmen können: Neben Herstellung der Fahrbereitschaft und Ertüchtigung von Infrastruktur besteht eine komplexe Beziehungsstruktur zwischen Betreiber, Versicherer, Aufgabenträger, Fahrzeughersteller und Genehmigungsbehörden, welche die Aufnahme des Betriebes erschwert. Für den Regelbetrieb gilt es daher, die Prozesse und Konstellationen zu verschlanken und überschaubarer zu gestalten. Andernfalls bleiben Barrieren bestehen, die bei manchen Kommunen einen Regelbetrieb verhindern würden.

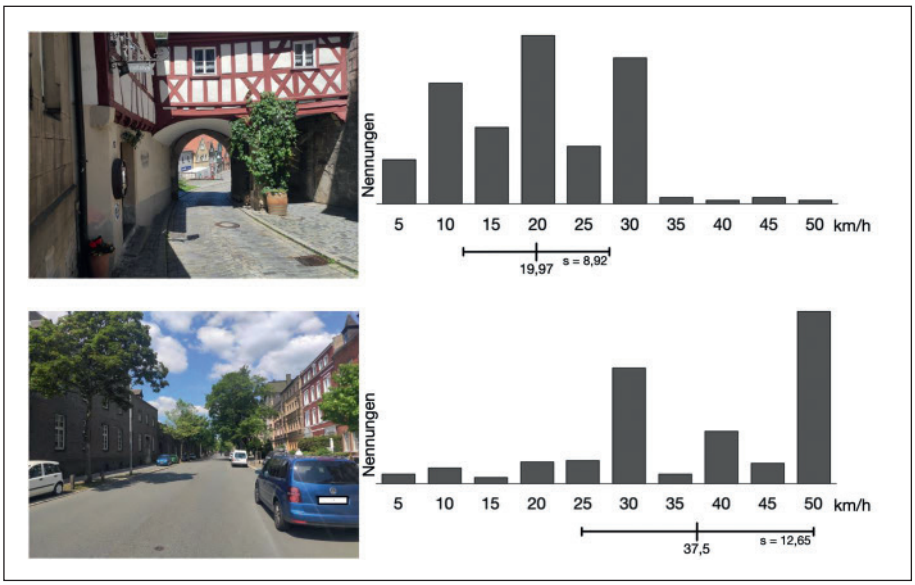

Abb. 3: Wunschgeschwindigkeiten bei verschiedenen Straßenquerschnitten.
Oben: Kronach. Unten: Hof.
Foto: Hochschule Coburg

Sicherheits- und Störfallmanagement

Das Modellprojekt setzt Shuttlebusse ein, die automatisiertes Fahren im Level 2 (Teilautomatisierung) unterstützen, das heißt, es ist während der Fahrt eine ständige Überwachung und gegebenenfalls ein Eingriff durch einen Menschen erforderlich. In Sicherheitsanalysen wurde ermittelt, welche Störfälle mit einem Sicherheitsfahrer (Operator) an Bord eintreten können. Das betrachtete Gesamtsystem besteht aus den Teilsystemen Shuttle, Operator, Fahrgäste und Umwelt (zum Beispiel Straße, andere Fahrzeuge, Witterung). Für jedes dieser vier Teilsysteme wird untersucht, welche Störfälle mit welcher Wahrscheinlichkeit eintreten können und welche Konsequenzen sich mit welcher Schwere daraus ergeben. Dabei ist auch ein Ausfall des Operators zu berücksichtigen. Im Anschluss werden geeignete Maßnahmen abgeleitet. Präventive Maßnahmen beschäftigen sich mit der Frage, wie die Störfälle von vorneherein vermieden werden können, reaktive Maßnahmen mit der Frage, wie mit dem Eintritt der Störfälle umgegangen werden kann.

Die Sicherheitsfunktionen des Shuttles sind so implementiert, dass das Shuttle im geringsten Zweifel immer die Geschwindigkeit verringert und gegebenenfalls auch über eine Notbremsung in den sicheren Zustand „Stillstand" übergeht. Dies entspricht nach dem aktuellen Stand der Shuttle-Technik dem „risikominimalen Zustand", wie er im neuen Gesetz zum autonomen Fahren definiert und gefordert wird. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Unfallgefahr und der potenziellen Unfallschwere, wirkt sich aber bisweilen auch negativ auf das Fahrerlebnis aus, da es im Betrieb zu ruckartigen Bremsungen oder auch dem kurzzeitigen Stillstand des Fahrzeugs im fließenden Verkehr kommen kann. Die standardmäßig verbaute Sensorik setzt dem System weitere Grenzen, sodass das Shuttle nach dem aktuellen Stand der Technik bei starkem Regen, Schneefall und anderen ungünstigen Wetterbedingungen nur eingeschränkt betrieben werden kann.

Auf Basis der Analyse des Gesamtsystems wurden viele Maßnahmen für die Vermeidung und den Umgang mit Störfällen abgeleitet. Wegen der noch beschränkten Fähigkeiten der Shuttles und der Notwendigkeit, diese durch menschliche Eingriffe auszugleichen, hat sich eine intensive Schulung der Operatoren als besonders wichtig erwiesen. Als wesentliche präventive Maßnahme wurde eine Checkliste für die tägliche Inbetriebnahme eines Shuttles abgeleitet. Ein Beispiel für eine reaktive Maßnahme ist eine Unfallcheckliste, die der Operator im Falle eines Unfalls abarbeiten kann.

Valeo: Remotecontrol, Shuttle Upgrade und Leitstelle

Bei automatisiert fahrenden Fahrzeugen stellt sich (vor allem) in der Anlaufphase die wichtige Frage der Operation in Grenzsituationen. Da diese im Regelfall nicht vorhersehbar sind, muss ein Rückfallsystem entwickelt werden. Solange der Fahrer noch in der Verantwortung der Fahrzeugführung ist (zum Beispiel bei Systemen bis Automatisierungslevel 3), könnte er eingreifen. Bei Systemen ab dem Level 4 werden derzeit unterschiedliche Formen der Teleoperation in der Forschung vorbereitend für die Standardisierung besprochen. Die folgende Abbildung 4 aus dem EU-Förderprojekt Fifth Generation Cross-Border Control (5GCroCo) [1] veranschaulicht einen möglichen Anwendungsfall der Teleoperation.

Im oberen Teilbild erkennt man eine Unfallsituation Dritter, bei der ein automatisiertes Fahrzeug nicht mehr in der Lage ist, weiterzufahren und deshalb einen Teleoperator zur Unterstützung benötigt. Im unteren Teilbild wird die zeitliche Abfolge eines solchen Szenarios verdeutlicht. Dieses und ähnliche Szenarien werden derzeit in unterschiedlichen Arbeitsgruppen besprochen und die daraus abgeleiteten Anforderungen zur Standardisierung vorgeschlagen, zum Beispiel 5G Automotive Association (5GAA-ToD) [2].

In den in Oberfranken eingesetzten Shuttlebussen werden derzeit Operatoren für die Grenzszenarien auf öffentlichen Straßen eingesetzt, die einschreiten, um das Shuttle wieder in den ordnungsgemäßen Operationsmodus zu bringen. Ferner ist der Operator auch für den operativen Regelbetrieb und das Erkennen von Fehlfunktionen verantwortlich. In SMO wird eine Leitstelle als Kontrollzentrum entwickelt, welche langfristig die Aufgabe der aktuell eingesetzten Operatoren übernehmen soll. Abbildung 5 illustriert das Konzept für die

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

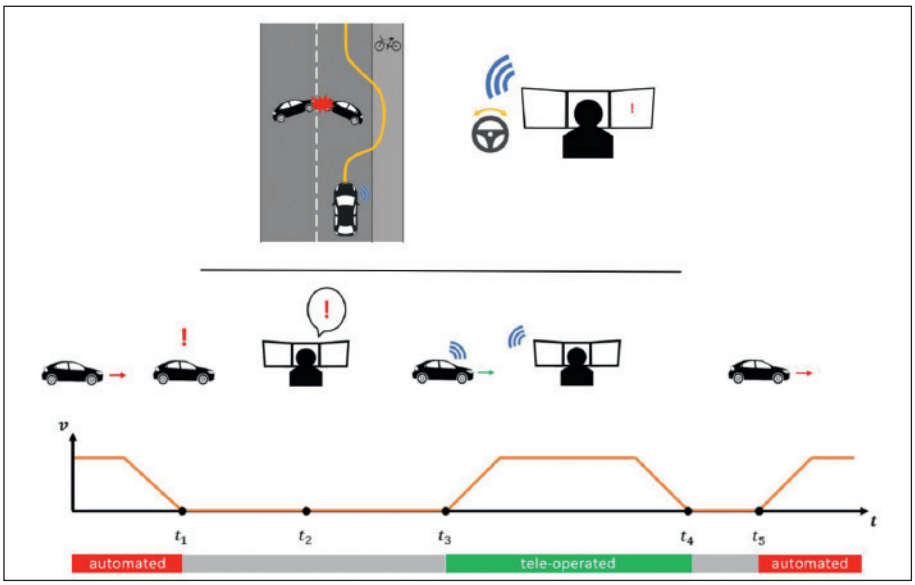

Abb. 4: Illustration eines Anwendungsfalls für Teleoperation. Grafik: 5GCroCo

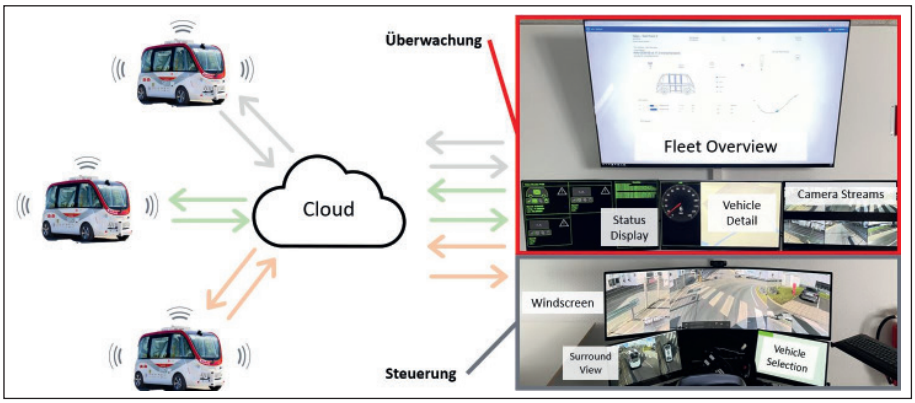

Abb. 5: Überwachung und Steuerung der Shuttlebusse mittels der Leitstelle. Links: Anbindung der Shuttles an die Leitstelle. Rechts: Anordnung der Displays in der Leitstelle mit den Inhalten, die der bedienenden Person angezeigt werden. Foto: Valeo

im Moment entwickelte Lösung und den Einsatz der Leitstelle, die prototypisch im Valeo-Labor in Kronach-Neuses implementiert wurde und derzeit in der für SMO vorgesehenen Leitstelle in der Hofer Innenstadt installiert wird.

Es sind drei Shuttles (links) und eine Leitstelle (rechts) illustriert. Dabei hält jedes Fahrzeug eine Hin- und Rückverbindung zur Leitstelle über das 4G-Mobilfunknetz (illustriert als Cloud), worüber der Leitstelle verschiedene Sensordaten und Ereignis-Nachrichten der Shuttlebusse bereitgestellt werden. Dazu wurden die Fahrzeuge mit Sensoren zur Umfelderfassung (zum Beispiel Lidar, Ultraschall und diverse Kameras), 4G-Telematikeinheiten und Computer-Hardware von Valeo ausgestattet. Im Kontrollzentrum kann der Teleoperator auf die übermittelten Daten zugreifen und sich ein detailliertes Bild von der Situation verschaffen, zum Beispiel die Umgebung von allen Seiten beobachten. Der Arbeitsplatz ist in einen Überwachungs- und einen Steuerungsbereich unterteilt.

Der Überwachungsbereich besteht aus den vier oberen Monitoren. Auf dem großen Monitor kann man die aktuelle Position eines Shuttles, Fahrzeug-Sensordaten und eintretende Ereignisse (zum Beispiel Stopp, Tür auf/zu, Geschwindigkeit et cetera) beobachten, die über die Schnittstelle der Herstellers Navya bereitgestellt werden. Die darunter liegenden Anzeigen wurden speziell für SMO entwickelt und werden wiederum in drei Teilbereiche unterteilt. Der Bereich links stellt eine Übersicht der eingesetzten Shuttles dar. Hier kann man den jeweiligen Status (zum Beispiel Tür auf/zu, Automatisierungsstatus, Verbindungsstatus, Problemstatus et cetera) auf einen Blick erkennen und/oder die mitgeloggten Ereignisse verfolgen. Ereignisse oder Status, die die sofortige Aufmerksamkeit des Teleoperators benötigen, werden in gesonderten Farben dargestellt, welche er im peripheren Sichtfeld unmittelbar erkennt. Während der mittlere Bildschirm die Position und Geschwindigkeit eines aktuell beobachteten Shuttles darstellt, zeigt der rechte Bildschirm die verschiedenen Kameraansichten.

Der Steuerungsbereich (unten) schließlich soll es ermöglichen, die Fernsteuerung eines ausgewählten Shuttles zu übernehmen. Dort sind unter anderem ein großer Curved Monitor für die Umgebungsvisualisierung, zwei Touch Displays zur Anzeige der 360°-Visualisierung mittels Fischaugenkameras und zur Aktivierung der Fahrzeugfernsteuerung sowie ein Lenkrad mit Pedalen zur eigentlichen Fernsteuerung verbaut (nicht dargestellt im Bild). Die Umgebungsvisualisierung beinhaltet drei Ansichten nach vorne (geradeaus, links und rechts) sowie drei Ansichten nach hinten (ähnlich der Rück- und Seitenspiegel in einem Kraftfahrzeug).

Mithilfe der Leitstelle werden verschiedene Fragestellungen untersucht, wie zum Beispiel: Ist es möglich, den Shuttlebetrieb effizient und zuverlässig aus der Leitstelle zu überwachen und wie ist eine solche Leitstelle aufzubauen? Oder: Welche und wie viele Sensordaten sind für die Überwachung sinnvoll? Bereits erste Tests haben gezeigt, dass die Überwachung möglich ist, jedoch auch, dass hohe Datenraten mit der aktuell eingesetzten Mobilfunkgeneration nicht überall stabil erreichbar sind, was eine Ratenreduktion der Bilddaten auf Kosten der Bildqualität erforderte. Darüber hinaus kann die Latenz der Datenübertragung nicht unter 100 ms garantiert werden und liegt noch häufig sogar über der 200-ms-Marke. Nichtsdestotrotz soll die Fernsteuerung auf nicht-öffentlichem Gelände mit dem Valeo-eigenen Shuttle innerhalb dieses Projekts realisiert und erprobt werden, um auch in diesem Bereich ein besseres Verständnis für den zukünftigen Betrieb aufzubauen.

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen sollen verwendet werden, um die Leitstelle weiter zu verbessern, zum Beispiel im Hinblick auf Bedienbarkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Ferner eröffnet der derzeitige Ausbau des 5G-Mobilfunknetzes in der Modellregion neue Möglichkeiten

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

für die Leitstelle und damit auch für das Vorantreiben der Mobilisierung. Hier wird das SMO-Projekt von dem aktuell etablierten 5G-Testfeld Kronach [3] mit seinen zwei Campus-Netzen am Lucas-Cranach-Campus und auf dem Valeo-Gelände in Kronach profitieren können.

Hochschule Hof: Mensch – Maschine – Interaktion

Automatisiert fahrende (Klein-)Busse müssen nicht nur im Verkehr zurechtkommen, sondern sie müssen auch die Kommunikation mit dem Umfeld übernehmen, die üblicherweise der Fahrer übernimmt. Dazu gehört sowohl die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden als auch die Interaktion mit den Fahrgästen. Da wesentliche Elemente der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden über die vorgeschriebenen Signalanlagen des Fahrzeugs abgedeckt sind, hat die Hochschule Hof im Projekt die Fahrgastkommunikation im Fokus.

Eine typische Kommunikation von Fahrgästen mit einem Busfahrer bezieht sich auf Auskünfte über Ziel und Fahrverlauf des Fahrzeugs („Fährt dieser Bus auch zur Marktstraße?“) und Informationen über Anschlussmöglichkeiten („Sie steigen am Rathausplatz in die Linie 17 um, die von derselben Haltestelle losfährt“). Wichtig ist auch, dass der Fahrer die Fahrgäste über Ausnahmesituationen oder Notfälle informiert („Durch einen technischen Defekt kann der Bus nicht weiterfahren. Bitte verlassen Sie das Fahrzeug und steigen in den Ersatzbus ein“). Außerdem ist der Fahrer für die Einhaltung von Sicherheitsregeln zuständig. In automatisierten Shuttles dürfen zum Beispiel Personen derzeit nicht stehend befördert werden. Entsprechend darf das Fahrzeug erst dann losfahren, wenn alle Personen ihren Platz eingenommen haben.

Im Unterschied zu einem klassischen Fahrzeug mit Fahrer sollte ein automatisiert fahrendes Fahrzeug zusätzliche Informationen liefern, die das Vertrauen der Passagiere in die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Fahrzeugs stärken. Hier können Informationen über den Fahrzeugzustand sowie die Aktionen des Fahrzeugs helfen. Dazu gehören neben Standarddaten wie Lokalisierung oder Geschwindigkeit des Fahrzeugs insbesondere Informationen über die Sensorik, so dass den Fahrgästen bewusst wird, was und wie zuverlässig das Fahrzeug sein Umfeld wahrnimmt.

Zum Autor

Prof. Dr. Ralf Reißing ist Professor für Automobilinformatik an der Hochschule Coburg und Leiter des Steinbeis-Transferzentrums Automotive Software Engineering. Nach Studium und Promotion in Informatik an der Universität Stuttgart war er lange Zeit bei der Daimler AG als Entwicklungsingenieur tätig. Er beschäftigt sich mit Softwareentwicklung für das Automobil, insbesondere Test und Absicherung, sowie Sicherheitsanalysen im Zusammenhang mit funktionaler Sicherheit und Cybersicherheit.

Zum Autor

Prof. Dr. Mathias Wilde ist Wirtschaftsingenieur und promovierter Geograf. Er hat Verkehrs- und Transportwesen an der Fachhochschule Erfurt und der Technischen Universität Vilnius studiert. Seine Forschungsinteressen liegen an der Schnittstelle von Verkehrsgeographie, Sozialgeographie sowie der Analyse alltäglicher Mobilität. Er lehrt und forscht an der Hochschule Coburg zu Themen nachhaltiger Mobilität und der Gestaltung zukunftsfähiger Verkehrssysteme.

Zum Autor

Dr. -Ing. Eugen Wige ist Abteilungsleiter für Forschung und Entwicklung bei Valeo Schalter und Sensoren GmbH in Kronach-Neuses. Die Abteilung ist unter anderem für die Entwicklung der Leitstelle und die Mobilfunkanbindung der Shuttlebusse in SMO verantwortlich. Darüber hinaus ist er auch Valeo-Projektleiter und Konsortialführer für das vom BMVI geförderte Forschungsprojekt “5G-gestützte autonom fahrende Einzel- oder Flottenfahrzeuge für den Einsatz als öffentliche Verkehrsmittel im ländlichen Raum“ – kurz „5GKC“. Vor der Zusammenarbeit mit Valeo arbeitete er an Videokommunikation und mobiler Datenkommunikation für Citrix, Universität Erlangen-Nürnberg und für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

Zum Autor

M. Sc. Lars Abeler betreut als Referent für innovative Mobilitätsplanung und autonomen ÖPNV bei der DB Regio Bus zusammen mit seinen Kollegen das SMO-Projekt. Die DB Regio Bus ist innerhalb des Projektes für den Betrieb der Shuttlebusse in Hof und Kronach zuständig. Darüber hinaus werden die weiteren Projektpartner bei der Forschungsarbeit unterstützt. Dabei kann auf eine seit 2017 ausgebaute Expertise zum Betrieb von autonomen Shuttlebussen zurückgegriffen werden. Abeler ist unter anderem auch verantwortlich für die Projektbetreuung im HEAL-Projekt in Bad Birnbach.

Zum Autor

Dipl.-Ing. Philipp Lindner ist Mitarbeiter der Forschungsgruppe Sensordatenfusion an der TU Chemnitz. Im SMO-Projekt koordiniert er die Chemnitzer Forschungsarbeiten zu dezentraler Datenfusion und Umfeldwahrnehmung. Er ist Gründungsmitglied des Interdisziplinären Zentrums für Fahrerassistenz und Automation (I-FAS) – einer gemeinsamen Forschungsgruppe aus Informationstechnologie und Geisteswissenschaften. Seine aktuellen Forschungsaktivitäten sind vernetzte Fahrzeuge, verteiltes maschinelles Lernen und Situationsbewertung für autonomes Fahren.

Zum Autor

M. Sc. Felix Piechaczyk ist seit 2018 Mitarbeiter der Forschungsgruppe Sensordatenfusion an der TU Chemnitz. Im Projekt SMO erweitert er durch Methoden des Maschinellen Lernens und der dezentralen Datenanalyse die Umfeldwahrnehmung der Shuttles. Der Schwerpunkt seiner Forschungsarbeiten sind neuartige mathematische Verfahren zur Echtzeitfusion von Sensordaten räumlich verteilter Agenten im Verkehrsumfeld.

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

Abb. 6: Aufbau der Benutzeroberfläche. Screenshot: Hochschule Hof

Naheliegend für die Kommunikation mit dem Fahrzeug wäre eine Spracherkennung, damit sich die Passagiere mit dem Fahrzeug unterhalten können. Zusätzlich kann mit einer Kamera der Innenraum überwacht und zum Beispiel überprüft werden, ob alle Passagiere vor der Abfahrt des Fahrzeugs einen Platz gefunden haben. Schließlich können die verschiedenen Informationen über Bildschirme im Fahrzeug ausgegeben werden. Leider ist mit dem heutigen Stand der Spracherkennung eine zuverlässige Kommunikation schwierig. Da im Fahrzeug außerdem mehrere Personen sprechen sowie verschiedene Störgeräusche auftreten können, ist eine solche Lösung nicht sinnvoll. Das Projekt hat deshalb eine andere Lösung entwickelt. Sie nutzt die notwendigen Kameras für die Innenraumüberwachung. Dazu wurden Stereokameras in die Fahrzeuge eingebaut, die neben dem Bild auch noch Tiefeninformationen (also Abstände von der Kamera) für das aufgenommene Bild liefern. Zur Verbesserung der Tiefenwahrnehmung verfügen diese Kameras zusätzlich über Infrarotprojektoren, die Muster in das Gesichtsfeld projizieren.

Mit Hilfe der Kameras können Passagiere mit einer Benutzeroberfläche interagieren, die auf den Bildschirmen dargestellt wird. Eine typische Geste ist eine Bewegung der Hand, mit der ein Mauszeiger gesteuert wird. Verharrt der Mauszeiger über einem Auswahlfeld, dann wird die zugehörige Aktion ausgeführt. Wesentlich ist dabei die Erkennung der Geste über einen größeren Abstand, damit die Fahrgäste diese Gesten auch sitzend bei fahrendem Fahrzeug durchführen können.

Durch den Abstand zwischen Kamera und Passagier ist nur die Erkennung einfacher Gesten möglich. Trotzdem lässt sich zum Beispiel auch das Zeigen von eins bis fünf Fingern erkennen. Damit lassen sich die Interaktionsmöglichkeiten effizienter gestalten.

Den grundsätzlichen Aufbau der zweigeteilten Benutzeroberfläche zeigt Abbildung 6. Auf der linken Seite wird der Fahrverlauf gezeigt und auf der rechten Seite werden weitere Informationen auf verschiedenen Darstellungsebenen durchrotiert. Die Darstellungsebenen auf der rechten Seite können auch Auswahlflächen enthalten, mit denen Passagiere durch Gesten weitere Informationen abfragen können. Dazu fokussiert das System auf einen Passagier und akzeptiert für einen begrenzten Zeitraum nur Aktionen dieses Passagiers.

Insgesamt ist mit diesem Ansatz eine Lösung entstanden, welche durch die Visualisierung der Informationen deutlich über die Möglichkeiten der Kommunikation mit einem Fahrer hinausgeht. Gleichwohl sind die Arbeiten noch nicht abgeschlossen. Gerade die Erkennung weiterer Gesten ist eine Herausforderung, welche die Interaktionsmöglichkeiten nochmal deutlich verbessern würden. Besonders interessant, aber auch sehr anspruchsvoll, wäre die Erkennung von Gesten anderer Verkehrsteilnehmenden.

TU Chemnitz: Künstliche Intelligenz (KI), Deep Learning, Vehicle-to-Everything (V2X)

Zentrale Forschungsaufgabe der Professur für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Chemnitz im Projekt ist eine verbesserte Fahrzeug-Umfeld-Wahrnehmung durch die Vernetzung verschiedener Shuttles untereinander und mit der Infrastruktur.

Eine der Herausforderungen beim automatisierten Fahren ist das vorausschauende Fahren mit dem Bewältigen komplexer Verkehrssituationen und der Teilnahme am Mischverkehr. Um vorausschauend fahren zu können, braucht es einen sicheren Überblick über das gesamte Verkehrsgeschehen. Für intelligente Fahrzeuge muss das dafür notwendige Wissen mit Hilfe verschiedener Informationsquellen und Sensoren in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung modelliert werden. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt daher auf dezentralem Maschinellen Lernen, das zu einem besseren Verständnis der Shuttles für das Verkehrsgeschehen beiträgt. Dabei sollen KI-Systeme in den Fahrzeugen in Zukunft durch gewonnene Erfahrungen robuster werden und erworbenes Wissen auch mit anderen Shuttles teilen.

Weiterhin ist die Professur an der Integration von V2X-Technologien in den Shuttles beteiligt, die eine standardisierte Kommunikation mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur ermöglicht. Auf diesem Weg können die Shuttles Umfeldinformationen empfangen, die über die eigene Sensorik nicht erfassbar sind.

Herausforderung Straßenkreuzung

In der Vorbereitungsphase des Projekts wurden schlecht einsehbare Kreuzungen als wichtiger Bedarfsfall identifiziert, in dem eine externe Wahrnehmung ein Shuttle bei der Umfeldwahrnehmung unterstützen muss. An Kreuzungen erschweren Gebäude und parkende Fahrzeuge den Einblick in vorrangige Querstraßen, sowohl für automatisierte als auch durch Menschen gesteuerte Fahrzeuge. Die Sensorik eines Shuttles kann diese Umgebung heute nur begrenzt wahrnehmen.

Kooperative Umfeldwahrnehmung im Straßenverkehr

Fehlende Informationen über die Umgebung können unter anderem durch die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder mit der Infrastruktur ergänzt werden. Dafür eignet sich die sogenannte V2X-Technologie (IEEE 802.11p) [4], die einen standardisierten Informationsaustausch im Straßenverkehr ermöglicht. An Kreuzungen wird eine mit V2X-Technologie ausgestattete Infrastruktur Verkehrsinformationen an das Shuttle übermitteln und einen direkten Einblick in betreffende Querstraßen liefern. Das Umfeldwissen des Shuttles wird damit entsprechend erweitert. So könnte das Shuttle beispielsweise in seiner Datenverarbeitung berücksichtigen, welche Fahrzeuge sich in der Kreuzungsumgebung befinden, auch wenn diese gar nicht in der Sichtlinie sind.

Für die Umsetzung dieser Kommunikation wird ein hybrider Ansatz verfolgt: Für zügi-

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021

ge Prototypenentwicklung und Machbarkeitsnachweise wird ein WLAN-Netzwerk eingesetzt. Dieses bietet mehr Freiheiten bei der Wahl der übertragenen Informationen und erleichtert damit die Forschungsarbeit. Um die Anwendungen in praxisfähige Implementierungen zu überführen, wird in einem anschließenden Schritt die Kommunikationsschnittstelle durch V2X (802.11p) ersetzt.

Wie in Abbildung 7 skizziert, sind dafür verschiedene Software-Komponenten nötig: Eine Komponente wurde für die eingesetzte V2X-Hardware programmiert und auf deren Schnittstelle angepasst. Sie ist eng mit den Softwarekomponenten des Herstellers verknüpft, um V2X-Nachrichten zu senden und zu empfangen. Die zweite Komponente („Binärformat Encoder/Decoder") wurde für jene Rechner implementiert, die an der Kommunikation teilnehmen, das heißt die Umfelddaten senden (zum Beispiel smarte Infrastruktur) oder empfangen (Shuttle) sollen. Die Verbindung beider Komponenten ermöglicht einen Nachrichtenaustausch zwischen V2X-Hardware und Rechner und damit eine Kommunikation von Rechnern über den V2X-Kanal. Die implementierte rechnerseitige Software-Lösung ermöglicht eine Vernetzung von beliebig vielen Teilnehmern via V2X. Sie bietet zudem Schnittstellen für weitere lokale Software-Komponenten für eine weiterführende Datenfusion.

Der Datenaustausch über V2X wurde zunächst erfolgreich im Labor der TU Chemnitz getestet. Anschließend wurde ein gemeinsamer Test der Projektpartner durchgeführt, für den die beschriebene Kommunikationslösung jeweils in Versuchsträger der Partner integriert wurde. Während dieser Tests konnten im Frühjahr 2021 erfolgreich Sensorinformationen zwischen den Versuchsträgern via V2X ausgetauscht werden.

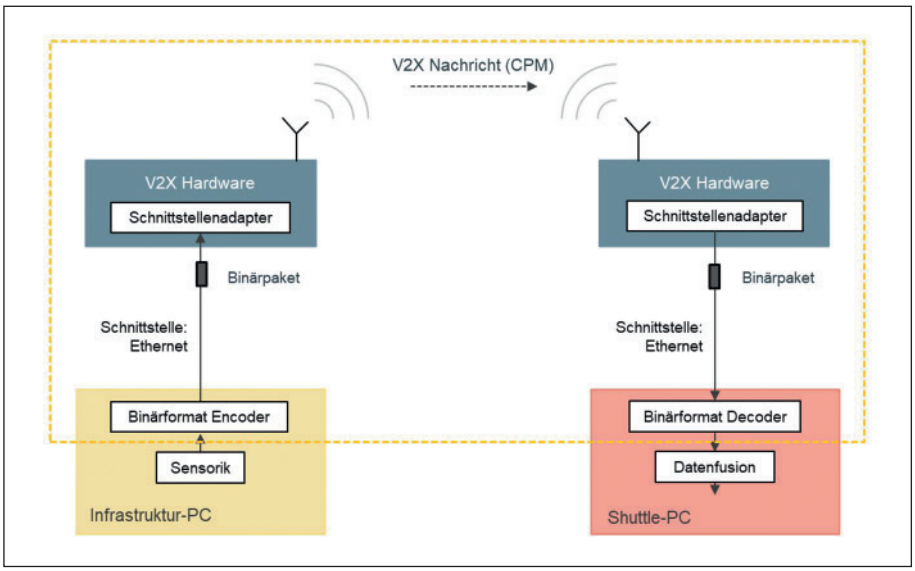

Abb. 7: Architekturskizze für Kommunikation über V2X. Grafik: Felix Piechaczyk

Fazit und Ausblick

Es ist erkennbar, dass in Oberfranken an vielen Facetten des automatisierten Fahrens gleichzeitig geforscht wird. Die im vergangenen Jahr erarbeiteten Grundlagen werden nun im aufgenommenen Realbetrieb umgesetzt und weiter erforscht. Auch in Zukunft bleibt aus der Sicht des Konsortiums eine Reihe von offenen Fragen zu klären, um automatisierte Shuttles als ideale Ergänzung im ÖPNV zu etablieren. Das kürzlich verabschiedete Gesetz zum autonomen Fahren ermöglicht dazu neue Anwendungsfälle, die nahtlos an die Arbeiten anschließen. Beispielsweise stellt die nun erlaubte Fernüberwachung neue Anforderungen an das Sicherheits- und Störfallmanagement. Außerdem ist es weitgehend ungeklärt, wie die Fahrgäste auf Fahrten ohne Operator reagieren.

Literatur/Anmerkungen

[1] 5GCroCo: Deliverable D2.1 'Test Case Definition and Test Site Description Part 1', *https://5gcroco.eu/images/templates/rsvario/images/5GCroCo_D2_1.pdf*.

[2] 5GAA-ToD: 5GAA Deliverable D1.1 'Tele-Operated Driving (ToD): Use Cases and Technical Requirements', *https://5gaa.org/wp-content/uploads/2020/07/5GAA_XW5-200029_ToD_D1.1-Use-Cases-and-Technical-Requirements-2.pdf*

[3] 5G-Testfeld Kronach ist ein weiteres Projekt aus einem BMVI-Innovationswettbewerb, *https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/5g-innovationswettbewerb-tabelle.html*

[4] IEEE 802.11p ist ein 2010 publizierter Standard, um die WLAN-Technik in Personen-Kraftfahrzeugen zu etablieren und eine zuverlässige Schnittstelle für Anwendungen intelligenter Verkehrssysteme zu schaffen. Quelle: Wikipedia.

[5] Weitere Informationen zum Projekt unter *https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/*

Zusammenfassung/Summary

Shuttle-Modellregion Oberfranken: Forschung im Realbetrieb

Im vom BMVI geförderten Projekt „Shuttle-Modellregion Oberfranken" werden sechs automatisierte Kleinbusse in den Städten Hof, Kronach und Rehau im Regelbetrieb eingesetzt. In einzigartiger Weise findet in diesem Projekt eine umfangreiche Verknüpfung von Realbetrieb und angewandter Forschung statt. Dabei handelt es sich neben intensiver Nutzerakzeptanzforschung und der Umsetzung einer intermodalen Buchungsplattform unter anderem um die Realisierung einer Shuttle-Leitstelle inklusive der Möglichkeit des Remote-Zugriffs auf mehrere fahrerlose Shuttles an verschiedenen Orten oder neue Lösungen zur Mensch-Maschine-Interaktion. Die ersten Forschungsergebnisse werden in diesem Artikel vertieft.

Shuttle Model Region Upper Franconia: Research in Real Operation

In the "Shuttle-Modellregion Oberfranken" project funded by the German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, six automated minibuses are being used in regular operation in the cities of Hof, Kronach and Rehau. This project is a unique combination of real-world operation and applied research. In addition to intensive user acceptance research and the implementation of an intermodal booking platform, this project involves, among other things, the realization of a shuttle control center including the possibility of remote access to several driverless shuttles at different locations or new solutions for human-machine interaction. The initial research results are discussed in more detail in this article.

Nutzung unter https://www.shuttle-modellregion-oberfranken.de/ zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2021