



© IAV

Hochautomatisiertes Lkw-Fahren auf der Autobahn und in der Stadt

AUTOREN



Dr.-Ing. Alexej Janz ist Entwicklungsingenieur für longitudinale und laterale Assistenz bei IAV in Chemnitz/Stollberg.



Dr.-Ing. Uwe Schob ist Projektleiter für longitudinale und laterale Assistenz bei IAV in Chemnitz/Stollberg.

Im Gegensatz zu Pkw stellen Nutzfahrzeuge durch ihre Länge und Mehrgliedrigkeit bei Fahrerassistenzsystemen ganz besondere Anforderungen. Im Forschungsprojekt eJIT untersuchte IAV an einer Prototyp-Sattelzugmaschine unter anderem, wie mit diesen Systemen hochautomatisiert von Laderampe zu Laderampe gefahren werden kann.

NUTZFAHRZEUGE AUF DEM WEG ZUM AUTOMATISIERTEN FAHREN?

Moderne Fahrzeugtechnik zeichnet sich durch einen hohen Grad an Automatisierung aus. Bei Automobilherstellern wie beispielsweise Volkswagen, Tesla, Audi oder Ford werden

Fahrerassistenzsysteme wie ACC oder LKA serienmäßig in Fahrzeuge integriert. Sie stellen einen entscheidenden technischen Baustein dar, der auch höhere Grade der Automatisierung ermöglicht. Schon heute kann ein Fahrer mit nur geringem Einwirken auf Autobahnen nahezu

hochautomatisiert fahren. Weitere Assistenzsysteme umfassen etwa Einparkfunktionen, die es erlauben, eine Parklücke zu finden und selbstständig einzuparken. In dazugehörigen Software-Entwicklungsumgebungen (zum Beispiel das Automotive Data and Time-triggered Framework, ADTF) lassen sich in der Regel sehr flexibel verschiedene Funktionen wie intelligente Trajektorienplanung, Objekterkennung oder Verkehrszeichenerkennung implementieren und darauf aufbauende Verarbeitungen realisieren.

Die bekanntesten (und medienwirksamsten) Fortschritte in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen sind fast ausschließlich im Pkw-Bereich sichtbar. Der Bereich der Nutzfahrzeuge stellt hingegen ganz besondere Herausforderungen dar. Im Gegensatz zu Pkw sind Nutzfahrzeuge nicht nur deutlich größer und länger, sondern bestehen oft aus mehrgliedrigen Sattelzügen mit Gesamtlängen von mehr als 16 m. Nicht alle Straßen können ohne Einschränkungen befahren werden. Lkw-Anhänger sind in ihrer Bauart sehr variabel, insbesondere auch in ihren geometrischen Abmessungen. Eine Zugmaschine ist üblicherweise nicht an einen bestimmten Anhängertyp gebunden. Allein diese Tatsachen stellen beispielsweise Bahnplanungsalgorithmen vor komplexe Herausforderungen. Weitere spannende Fragestellungen beim automatisierten Fahren in urbanen Gebieten sind:

- Wie erkennt ein Algorithmus zuverlässig, dass eine enge Straße nur passiert werden kann, wenn der Gegenverkehr wartet?
- Wie detektiert man bewusst wartenden Gegenverkehr (der vorausschauende Fahrer lässt dem entgegenkommenden Lkw Platz) und unterscheidet ihn von zufällig wartenden Fahrzeugen?
- Wie kann ein Fahrzeug beim In-einen-Kreisverkehr-Einfahren den Gegenverkehr verlässlich in seiner Fahrtrichtung präzisieren (biegt das andere Fahrzeug ab oder nicht?)
- Was ist notwendig, um mit einem mehrgliedrigen Sattelzug rückwärts einzuparken beziehungsweise eine bestimmte Halteposition anzufahren?

ANWENDUNGSBEISPIEL AUS DER JUST-IN-TIME-LOGISTIK

Die zuvor geschilderten Fragestellungen auf dem Weg zu einem automatisiert fahrenden Nutzfahrzeug wurden im Forschungsprojekt eJIT aufgegriffen [1]. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Vorhaben hat zum Ziel, auf zwei Just-in-Time-Logistikstrecken elektrische Sattelzugmaschinen einzusetzen und im realen Betrieb zu testen. Im Sommer des Jahres 2017 wurde die erste elektrische Sattelzugmaschine in Betrieb genommen und für Anfangsversuche eingesetzt, **BILD 1**.

Neben dem rein elektrischen Betrieb soll darüber hinaus auch eine der Strecken hochautomatisiert von Laderampe zu Laderampe abgefahren werden. Die zu absolvierenden Abschnitte reichen vom Fahren um enge Kurven über das Ein- und Ausfahren in einen Kreisverkehr, das Linksabbiegen in den Gegenverkehr bis zum Parken an einer Laderampe. Der relevante Streckenabschnitt in Leipzig ist in **BILD 2** dargestellt.

Aus diesem Fahrscenario lassen sich im Detail mehrere Anforderungen an die Algorithmen und insbesondere an die Trajektorienplanung für verschiedene Teilszenarien ableiten. Auf einige dieser Herausforderungen und grundsätzliche Lösungsansätze wird im Folgenden näher eingegangen.

HERAUSFORDERUNGEN BEIM FAHREN MIT LKW-ZÜGEN

Das Fahren mit einem Lkw stellt einige Herausforderungen gegenüber dem mit einem Pkw dar. Abgesehen davon, dass Lastfahrzeuge größere Abmessungen haben, muss auch die ganze kinematische Kette aus Zugmaschine und einem oder mehreren Anhängern und Aufliegern berücksichtigt werden. Dies wird in engen Kurven oder Kreuzungen offensichtlich, wo die Lkw-Fahrer Fahrzeugbewegungen unter Berücksichtigung der Fahrzeugmaße weit vorausplanen müssen.

BILD 1 Vollelektrischer Sattelzug aus dem Forschungsprojekt eJIT für hochautomatisiertes Fahren von Laderampe zu Laderampe (© IAV)





BILD 2 Streckenverlauf der Logistikroute in Leipzig (© IAV)

Ein Fahrerassistenzsystem kann problemlos diese Aufgabe übernehmen, indem es die Fahrspur als initialen Pfad annimmt und daraus einen fahrzeugspezifischen Pfad berechnet. In urbanen Gebieten, wo die Fahrgeschwindigkeit in den Kreuzungen niedrig ist, können der Fahrzeug- und Anhängerpfad mit der Fahrspur gleichgesetzt und der Pfad für das Führerhaus unter Anwendung der Fahrzeugkinematik mit einem Einspurmodell berechnet werden. Dadurch wird schon gewährleistet, dass kein Teil des Fahrzeugs die innere Spurbegrenzung der Kurve überschreitet. Es ist aber zu erwarten, dass der berechnete Pfad aufgrund der Fahrzeugabmessungen die Überschreitung der äußeren Spurbegrenzung nicht vermeiden kann und das Fahrzeug doch in die Gegenspur ausschwenken muss, BILD 3.

Hieraus wird eine weitere Herausforderung ersichtlich – die Vermeidung von Kollisionen mit Fahrzeugen der Gegenspur. Die Sensorik für die Objekterkennung wie Radar- oder Lasersensoren in Kombination mit der Datenfusion ermöglicht Messungen der Position, Größe und Bewegungsvektoren der anderen Verkehrsteilnehmer. Mit diesen Bewegungsdaten ist es also möglich, die Objekte in

Gruppen wie Fußgänger, Zweirad-, Pkw- und Lkw-Fahrer zu klassifizieren und deren Bewegungen in Form eines Pfades vorherzusagen. Werden diese Objekt-pfade und der fahrzeugeigene Pfad über-einandergelegt, lässt sich eine Kollisions-möglichkeit vorherbestimmen. Wenn zum Beispiel das prädierte Fahrzeug aus der Gegenspur zum Zeitpunkt des Ausschwenkens des eigenen Fahrzeugs die Gefahrzone bereits passieren würde, wird die Kollisionswahrscheinlichkeit niedrig, und das eigene Fahrzeug bekommt eine Freigabe zum Ausführen des aktuellen Manövers.

Wenn aber das prädierte Fahrzeug sich noch in der Gefahrzone befindet, wird das eigene Fahrzeug verzögern oder gar anhalten, um das prädierte Fahrzeug passieren zu lassen und dadurch eine Kollision zu vermeiden. Dieses Verfahren kann ebenso an Verkehrsteilnehmern in Querrichtungen oder in eigener Bewegungsrichtung angewendet werden. Aufgrund der sensorischen Unschärfe der Richtungsprädiertion von Objekten ist jedoch kaum mit einer 100-%-igen Verlässlichkeit zu rechnen.

Neben den dynamischen spielen jedoch auch statische Objekte eine große Rolle. Da eine Zugmaschine mit

Auflieger deutlich mehr Straßenfläche überstreicht als nur die Zugmaschine allein, müssen die statischen Hindernisse nicht nur frontal, sondern auch seitlich mit genügend Abstand passiert werden. Typische Beispiele für diese Hindernisse sind am Straßenrand geparkte Pkw, Baustellenabsperrungen und sonstige fahrspurverengende Objekte. Die statischen Objekte müssen hierbei nicht unbedingt genau identifiziert werden und können mit „freien Flächen“ – 360°-Polygon begrenzt mit den Messpunkten von Radar- oder Lasersensoren – beschrieben werden. Wenn ein solches Hindernis, BILD 4, in der eigenen Spur detektiert wird, wird der Pfad automatisch angepasst, um ihm auszuweichen. Der Pfad wird mit kinematischen Berechnungen optimiert und über die bereits beschriebene Kollisionsvermeidung plausibilisiert.

Rückwärtsparken mit Auflieger stellt den Lkw-Fahrer vor eine weitere schwierige Aufgabe. Das zu lösen, erfordert vom Fahrer viel Erfahrung und Gespür, dies in einen Algorithmus zu übertragen ist aber technisch machbar. Ein rückwärtsfahrender Lkw mit Auflieger kann mit einem inversen Pendel – typisches Beispiel eines instabilen Systems in der

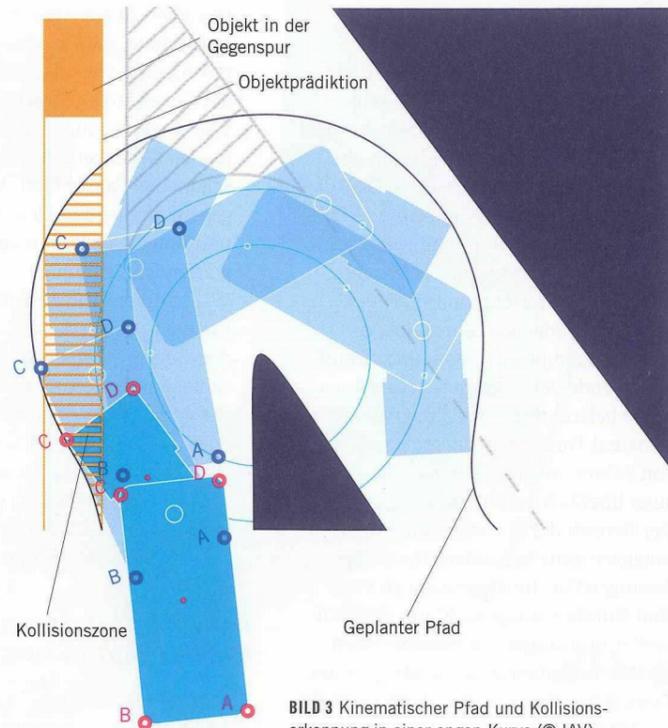


BILD 3 Kinematischer Pfad und Kollisionserkennung in einer engen Kurve (© IAV)

Regelungstechnik – verglichen werden [2]. Um ein solches System zu stabilisieren, kann eine Regelung des Winkels zwischen dem Anhänger und der Zugmaschine benutzt werden, wobei analog zum 2-D-Inverspendelmodell die Querbeschleunigung in der Zugmaschine-Anhänger-Kupplungsposition als Stellgröße benutzt wird, BILD 5. Das inverse Pendel sieht vor, dass es aufrecht zu stabilisieren ist und so nicht umfällt. Der rückwärts parkende Lkw stellt eine etwas komplexere Aufgabe dar – der Anhängerwinkel ist stets von Null verschieden, wenn das Einparkmanöver anders als ein lineares Zurücksetzen ist. Anders ausgedrückt muss eine Bahnplanung diesen Winkel vorgeben. Die Planung kann mithilfe eines η^4 -Splines [3] realisiert werden, der die Start- und Stoppkonfiguration des Fahrzeugs als Eingangsdaten verwendet und beispielsweise durch die Wahl eines maximalen Lenkwinkels optimiert werden kann.

Eine solche Regelung ist unmöglich ohne entsprechende dynamische Erfassung des Anhängerwinkels. Da Anhänger kaum über Einrichtungen für eine solche Winkelerfassung verfügen für eine solche Winkelerfassung verfügen und ein häufiger Anhängerwechsel üblich ist, muss der Winkel anhand von zugmaschineneigenen Sensoren erkannt und gemessen werden. Beispielsweise kann dies durch bekannte Rückfahrkameras und passende Detektionsalgorithmen realisiert werden.

Um nun die Parklücke mit Zugmaschine und Anhänger genau treffen zu können, muss die Zielposition und Form mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Egal, ob die Zielposition anhand einer bordeigenen Sensorik definiert oder über die Infrastruktur bereitgestellt wird, müssen die Hindernisse erkannt werden. Im Rahmen des Projekts fiel die Entscheidung auf eine externe Sensorik, die mit einem Laserscanner den toten Winkel überwacht. Die Informationen über die sichtbare freie Fläche werden per Funkstrecke zu Zugmaschine übermittelt. Die Zugmaschine fusioniert die Informationen mit seinen eigenen Sensorbildern und kann daraus erkennen, inwiefern ein geplanter Pfad über freie Flächen führt. Werden hingegen Hindernisse erkannt, so erfolgt keine

Unser Erfolgsrezept über 70 Jahre Erfahrung in der Gummiherstellung



FTE automotive – Innovation drives

Unter Einsatz neuester Rohstoffe und Verfahren entwickeln und produzieren wir seit vielen Jahren Gummimischungen für die verschiedensten und innovativsten Technologien. Dabei genießen die Wünsche und Anforderungen unserer Kunden, technische Spezifikationen und eine möglichst hohe Kosteneffizienz stets die oberste Priorität.

www.fte.de

Pfadumplanung, sondern das Fahrzeug hält an und signalisiert dem Fahrer die Situation. Organisatorisch sollten Laderampen frei von Hindernissen sein, was

sich aber in der Realität nie zu 100 % gewährleisten lässt. Das Anhalten und die Übergabe der Verantwortung an den Fahrer ist somit das sicherere Vorgehen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die beschriebenen Beispiele und Konzepte stellen einen Teil der Gesamtherausforderung „automatisierter Lkw“ dar, die das Forschungsprojekt eJIT zu lösen versucht. Auch wenn hiermit noch keine serientaugliche Lösung entsteht, so lassen sich doch zahlreiche Problemstellungen im realen Umfeld erproben. Besonders durch den realen Schichtbetrieb (ab 2018) werden viele hilfreiche Erkenntnisse erwartet.

Um sich langfristig dem autonomen Fahren anzunähern, sind schon heute weiterführende Aufgaben identifiziert worden. Allein im Logistikbetrieb ist der häufige Anhängerwechsel ein Problem. Unterschiedliche geometrische Ausführungen, Beladungen und damit kinematische Eigenschaften sind bisher nirgendwo elektronisch erfasst, sodass ein Algorithmus nicht darauf reagieren kann.

Auch der Blick hinter den Anhänger mit eigener Sensorik ist ein schwieriges Thema. Aus wirtschaftlichen Gründen ist jede Verteuerung eines Aufliegers kaum vertretbar. Auch eine stabile Kommunikation über die gesamte Zuglänge lässt sich lösen, erfordert jedoch gegebenenfalls andere Vernetzungstechniken.

Trotz der offenen Themen erscheinen die Probleme alle lösbar und vor allem technisch beherrschbar. Nichtsdestotrotz sind weitere Anstrengungen und vor allem langfristige Projekte notwendig, um das dennoch komplexe Themenfeld des automatisierten Fahrens mit Nutzfahrzeugen zu meistern.

LITERATURHINWEISE

- [1] RKW Sachsen Rationalisierungs- und Innovationszentrum e. V.: Forschungsprojekt eJIT. Online: <http://e-jit.de/>, aufgerufen am 25.10.2017
- [2] Nilsson, S.; Abraham S.: Trailer Parking Assist. In: Report No. EX055/2013, Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden, 2013
- [3] Ghilardelli, F.; Lini, G.; Piazzoli, A.: Path Generation Using η^4 -Splines for a Truck and Trailer Vehicle. In: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 11 (2014), Nr. 1, Januar 2014

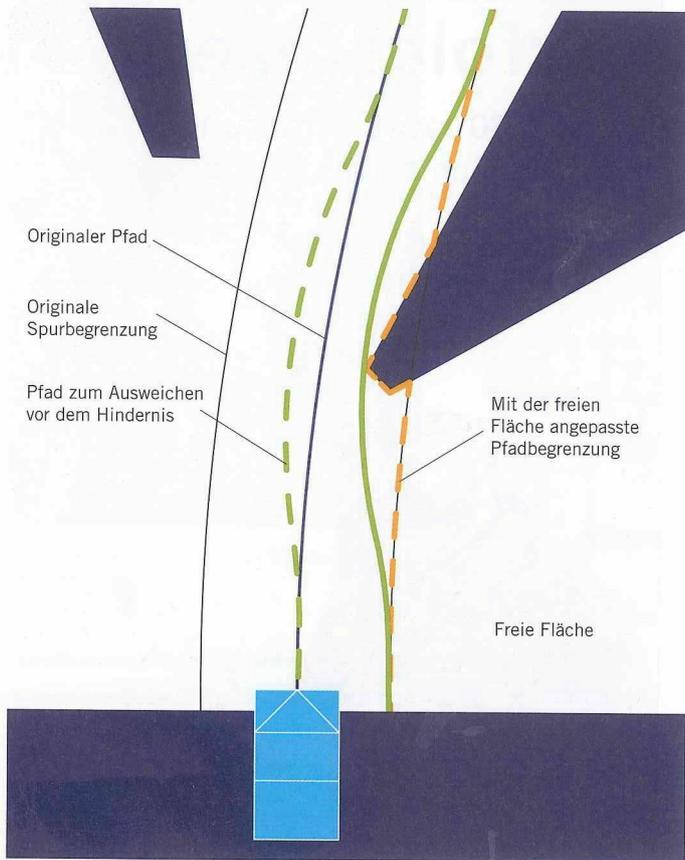
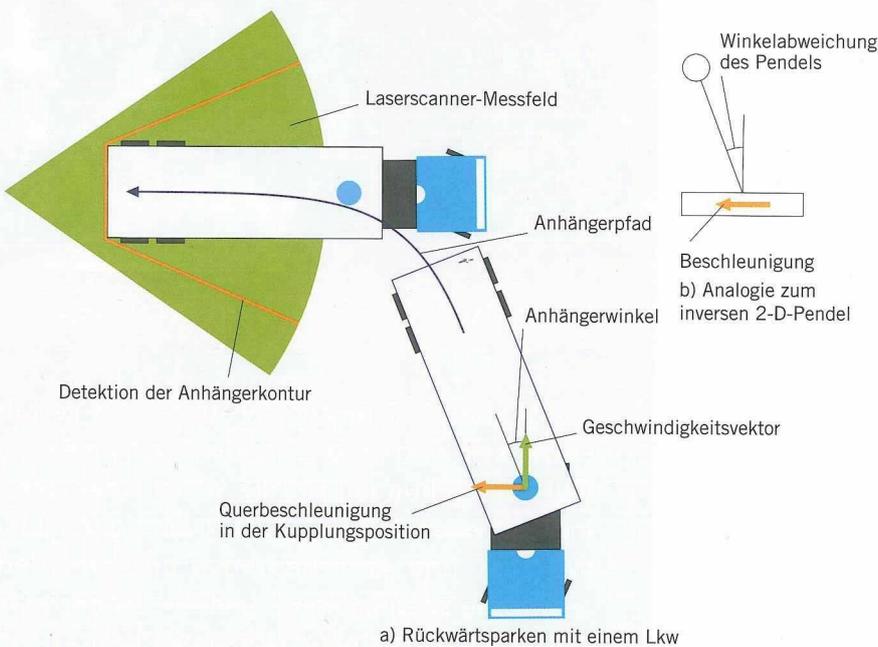


BILD 4 Ausweichen vor Hindernissen (© IAV)



a) Rückwärtsparken mit einem Lkw

BILD 5 Konzept des Rückwärtsparkens mit einem Lkw (© IAV)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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