



© Sina Ettmer | AdobeStock

Autonome Fahrfunktionen für öffentlichen Nahverkehr mit virtuellem Fahrversuch entwickeln

# Minimierung des physischen Testaufwands

Die Freigabe autonomer Fahrfunktionen stellt die Automobilindustrie vor große Herausforderungen. Es sind extrem viele Tests erforderlich, um mögliche kritische Szenarien abzusichern – das wird als die Freigabefälle des autonomen Fahrens bezeichnet. Speziell für autonome Stadtbusse kommen weitere Faktoren erschwerend hinzu.

**Dr. Sami Bilgic Istoc und Martin Herrmann**

Im Vergleich zu einem mit einem Autobahnpiloten ausgerüsteten Pkw muss sich ein autonom fahrender Stadtbus fehlerfrei im komplexen, sich schnell verändernden urbanen Umfeld fortbewegen. Außerdem wird oftmals eine große Zahl an Fahrgästen befördert. Der virtuelle Fahrversuch gilt deshalb in vielen Forschungsprojekten als erfolgversprechende Methode, um einen Großteil der notwendigen Szenarien zu überprüfen und damit eine große Testabdeckung erzielen zu können [1, 2, 3].

Für den virtuellen Fahrversuch werden Komponenten benötigt, die in der Simulation Closed-Loop, also sinnbildlich als geschlossener Regelkreis, zusammenarbeiten. Die Grundlage des virtuellen Fahrversuchs bildet ein für den jeweiligen Anwendungszweck vali-

diertes Fahrzeugmodell. Dieses fährt definierte Routen in einer virtuellen Umgebung ab und interagiert mit ihr über die autonome Fahrfunktion. Die Umgebung besteht aus statischen und dynamischen Komponenten und wird durch verschiedene Sensormodelle an die Fahrfunktion übermittelt. Nachfolgend wird erläutert, wie die unterschiedlichen Komponenten für den virtuellen Fahrversuch mit autonomen Stadtbussen eingesetzt werden können.

## Fahrzeugmodell

Auch wenn die Fahrdynamik in vielen Ansätzen zur virtuellen Erprobung autonomer Fahrfunktionen eine scheinbar untergeordnete Rolle spielt, ist eine valide Fahrdynamiksimulation tatsächlich

meist Grundvoraussetzung. Jede Bewegung des Fahrzeugs wird auf die am Fahrzeugchassis befestigten Sensoren, wie Kamera oder Lidar, übertragen. Deswegen besteht bei zu stark vereinfachter Fahrdynamiksimulation eine große Diskrepanz zwischen der Sensor-Performance in der Simulation und in der Realität. Darüber hinaus muss die Aktorik des Fahrzeugs innerhalb ihrer Grenzen entsprechend modelliert sein, um eine korrekte Bewegungsplanung zu erlauben.

Speziell bei Stadtbussen gibt es zahlreiche Fahrzeugvarianten, die zu einer erhöhten Komplexität führen. Beim Chassis reichen diese Varianten vom kurzen oder langen Radstand bei zweiachsigen Bussen bis hin zu komplexen Gelenkbussen. Hierfür bietet die offene Integrations- und Testplattform



Bild 1: Simulation eines Stadtbusses in CarMaker © IPG Automotive

TruckMaker die Möglichkeit, unterschiedliche Chassis-Varianten von einem Grundmodell abzuleiten. Sofern etwa für das Drehgelenk ein kundenspezifisches Modell zum Einsatz kommen soll, kann dieses über verschiedene Schnittstellen eingebunden werden: Als Functional-Mock-up-Unit (FMU) oder als C-Code-Plug-In läuft das Submodell hochintegriert mit maximaler Rechengeschwindigkeit. Über die Co-Simulationsschnittstelle zu MATLAB/Simulink ist eine hohe Flexibilität gewährleistet. Diese Modellintegrationsmöglichkeiten bieten sich auch für die unterschiedlichen Powertrain-Architekturen an, die bei Stadtbussen zu finden sind.

CarMaker (Bild 1) und TruckMaker beinhalten detailliert parametrierbare Modelle für konventionelle, batterieelektrische und hybridisierte Antriebsstränge. Für Brennstoffzellenbusse

existieren ebenfalls Lösungen, um kundenspezifische Brennstoffzellen-Systemmodelle zu integrieren. Eine häufige Anwendung ist dabei die Auslegung von Betriebsstrategien, also die Lastverteilung zwischen Brennstoffzelle und Batterie sowie die daraus abgeleiteten optimalen Geschwindigkeitsprofile.

**Sensorsimulation**

Eine der größten Herausforderungen bei der Freigabe autonomer Fahrfunktionen stellt die hinreichend präzise Umgebungserfassung durch das Fahrzeug dar. Diese wird durch Sensoren bewerkstelligt: GPS-, Radar, Lidar- und Kamerasensoren haben sich für diesen Anwendungsfall als zweckmäßig erwiesen. Allerdings ist die Wahrnehmung der Umwelt durch diese Sensoren kei-

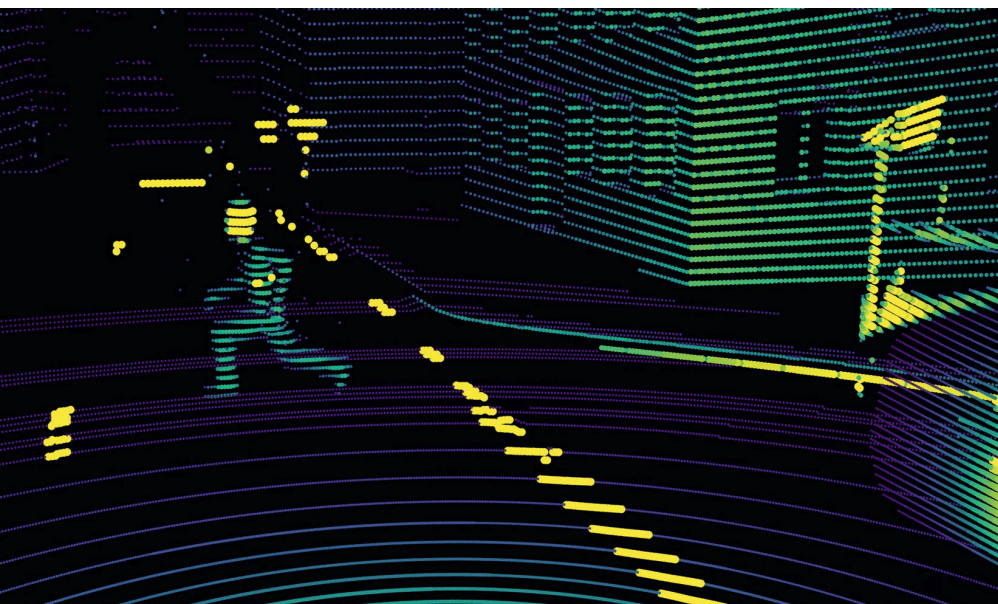


Bild 2: Erzeugung synthetischer Lidar-Daten mithilfe der physikalischen Sensormodelle von CarMaker und TruckMaker © IPG Automotive

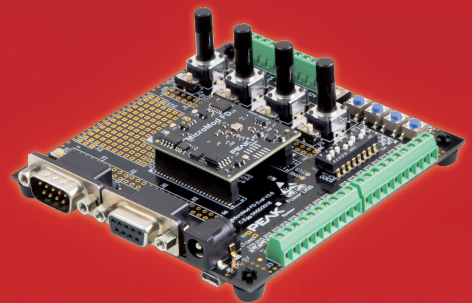
You CAN get it...

Hardware und Software für CAN-Bus-Anwendungen...



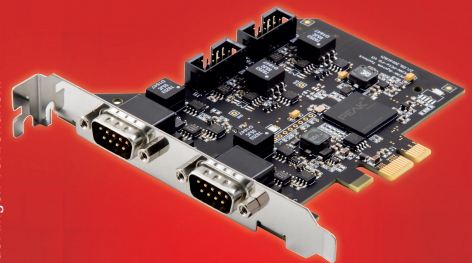
**PCAN-MiniDiag FD**

Handheld zur grundlegenden Diagnose von CAN- und CAN-FD-Bussen. Messung der Bitrate, Terminierung, Buslast und Pegel am D-Sub-Anschluss.



**PCAN-MicroMod FD**

Universelles Einsteckmodul mit I/O-Funktionalität und CAN-FD-Interface. Erhältlich mit Evaluation-Board für die Entwicklung eigener Anwendungen.



**PCAN-PCI Express FD**

CAN-FD-Interface für PCI Express. Erhältlich als Ein-, Zwei- und Vierkanalkarte inkl. Software, APIs und Treiber für Windows und Linux.

Irrtümer und technische Änderungen vorbehalten.





**Bild 3:** Simulation eines autonomen Shuttles in einem Digital Twin von San Francisco © IPG Automotive

neswegs perfekt, sondern unterliegt einer Reihe möglicher Störungen, die in der Simulation berücksichtigt werden müssen. Neben offensichtlichen Störeinflüssen wie Regen oder Nebel müssen GPS-Sensoren beispielsweise auch die Abschattung in Häuserschluchten ausgleichen können. Bei Kameras kommen Linsenreflexionen hinzu, während Radarsensoren unterschiedliche Radarquerschnitte der detektierten Objekte korrekt verarbeiten müssen. Zur Simulation der Sensorwahrnehmung unter Berücksichtigung der Störeinflüsse verfügt die CarMaker-Produktfamilie über Sensormodelle in unterschiedlichen Abstraktionsgraden.

Ideale Sensoren detektieren Objekte, die sich in einem definierten Bereich befinden. Sie können beispielsweise zum Einsatz kommen, um den Einfluss der Fahrzeugchassis-Bewegung auf die Detektion unter idealen Bedingungen zu untersuchen. Die sogenannten High-Fidelity-Sensoren verfügen darüber hinaus über die Möglichkeit, Sensorfehler abzubilden. Das reicht von Receiver-Noise- und Common-Mode-Fehlern bei GPS-Sensoren über den Einfluss von Regen auf die Strahlausbreitung bei Radar-Sensoren bis hin zu auflösungsbedingten Kamerafehlern. Am aufwendigsten sind schließlich die physikalischen Sensormodelle, die die Ultraschall-, Lidar- und Radar-Wahrnehmung auf Basis von Raytracing berechnen (**Bild 2**).

### Umgebungssimulation

Die Umgebungssimulation setzt sich aus einer Vielzahl statischer und dynamischer Komponenten zusammen (**Bild 3**).

Für Testszenarien eines autonomen Stadtbusses sind insbesondere die dynamischen Bestandteile der Umgebung relevant, also Fußgänger oder Fahrgäste, die an der Bushaltestelle nahe der Fahrbahn warten. Die Anfahrt an diese Haltestelle ist besonders kritisch, weil sich Personen sehr nah am Fahrzeug befinden oder schnell die Fahrzeugtrajektorie kreuzen, um den Bus zu erreichen. Hierfür stehen in CarMaker und TruckMaker verschiedene animierte Fußgängercharaktere zur Verfügung. Der übrige Verkehr wie Radfahrer, Pkw und Lkw lässt sich dynamisch berechnen und interagiert auf diese Weise mit dem Bus. Für sämtliche Verkehrsteilnehmer existieren entsprechend separate Verhaltensmodelle.

Auch für statische Objekte wie Häuser, Bäume oder Baustellenabsperrungen stehen umfangreiche Modellbibliotheken zur Verfügung. Indem Straßentopologie und -beschaffenheit, etwa Kopfsteinpflaster oder Schlaglöcher, detailgetreu modelliert werden, wird eine realistische Simulation des Kraftstoffverbrauchs ermöglicht. Die Fahrbahnoberfläche hat darüber hinaus einen großen Einfluss auf die Umgebungswahrnehmung des autonomen Fahrzeugs. Das stellt einen oftmals vernachlässigten Einfluss dar: Durch die Bewegung des Fahrzeugchassis bei der Fahrt über eine unebene Fahrbahn sind die fest mit dem Fahrzeugchassis verbundenen Sensoren erheblichen Relativbewegungen gegenüber der Fahrbahn und der Umgebung ausgesetzt. Die dadurch hervorgerufenen Fehler in der Umgebungswahrnehmung müssen von den Fahrzeugsystemen entsprechend kompensiert werden. Durch die detail-

getreue Modellierung der Fahrdynamik lassen sich solche Einflüsse bereits in der Simulation testen, bevor ein realer Prototyp zur Verfügung steht.

Der Aufbau der Testszenarien kann beispielsweise über den internen Szenario-Editor erfolgen. Dieses Vorgehen stellt eine einfache Möglichkeit dar, mithilfe eines grafischen Editors Objekte zu platzieren und ihnen bestimmte Eigenschaften zuzuweisen. Alternativ können auch vermessene, digitalisierte Straßen oder Straßen im OpenDRIVE-Format importiert werden.

### Skalierung der Simulation

Für die Freigabe des automatisierten Fahrens werden voraussichtlich Millionen von Testszenarien erforderlich sein. Selbst mit dem virtuellen Fahrversuch stößt man dabei an die Grenzen der wirtschaftlich vertretbaren Machbarkeit. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Simulation zu skalieren. Hierfür bietet die CarMaker-Produktfamilie die Möglichkeit, Tests parallelisiert auszuführen – lokal auf Rechenclustern oder High-Performance-Computern sowie alternativ in der Cloud. Auf diese Weise können autonome Fahrfunktionen tagsüber entwickelt und nachts getestet werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht deutlich schnellere Iterationen als mit konventionellen Fahrversuchen im realen Prototyp umsetzbar wären. ■ (eck)

[www.ipg-automotive.com](http://www.ipg-automotive.com)

### Quellenverzeichnis

- [1] „TEMPUS-Testfeld München – Pilotversuch Urbaner automatisierter Straßenverkehr“, 2021: <https://www.itiv.kit.edu/7600.php> [Zugriff am 13.06.2022]
- [2] „Das Projekt HEAT – Die Zukunft fährt autonom“, 2021: <https://www.hochbahn.de/de/projekte/das-projekt-heat> [Zugriff am 13.06.2022]
- [3] „ZF Mobility Solutions“: <https://www.zf.com/site/zms/de/zms.html> [Zugriff am 13.06.2022]



**Martin Herrmann** ist Business Development Manager ADAS & Automated Driving bei IPG Automotive.  
© IPG Automotive



**Dr. Sami Bilgic Istoc** ist Business Development Manager Off-Highway bei IPG Automotive.  
© IPG Automotive