Tram-Simulator als Ausbildungs- und Testumgebung

Nutzerzentriertes Prototyping von Assistenzsystemen für Straßenbahnen

Die Zukunft des städtischen Nahverkehrs erfordert klimafreundliche, sichere und innovative Konzepte. Straßenbahnen spielen dabei eine Schlüsselrolle, stehen aber vor Herausforderungen wie Automatisierung und Fachkräftemangel. Der IABG Tram-Simulator vereint realistische Technik, präzise Streckensimulation und Fahrtraining – für Test, Schulung und Konzeptentwicklung.

Christian Eizenberger, M. Sc. (TUM)
Projektleiter Automatisiertes Fahren
Eizenberger@iabg.de

Dipl.-Ing. Martin Margreiter
Leiter Mobility Innovation Campus
Margreiter@iabg.de

Alexander Loch
Senior Software Architect
Loch@iabg.de

1. Motivation

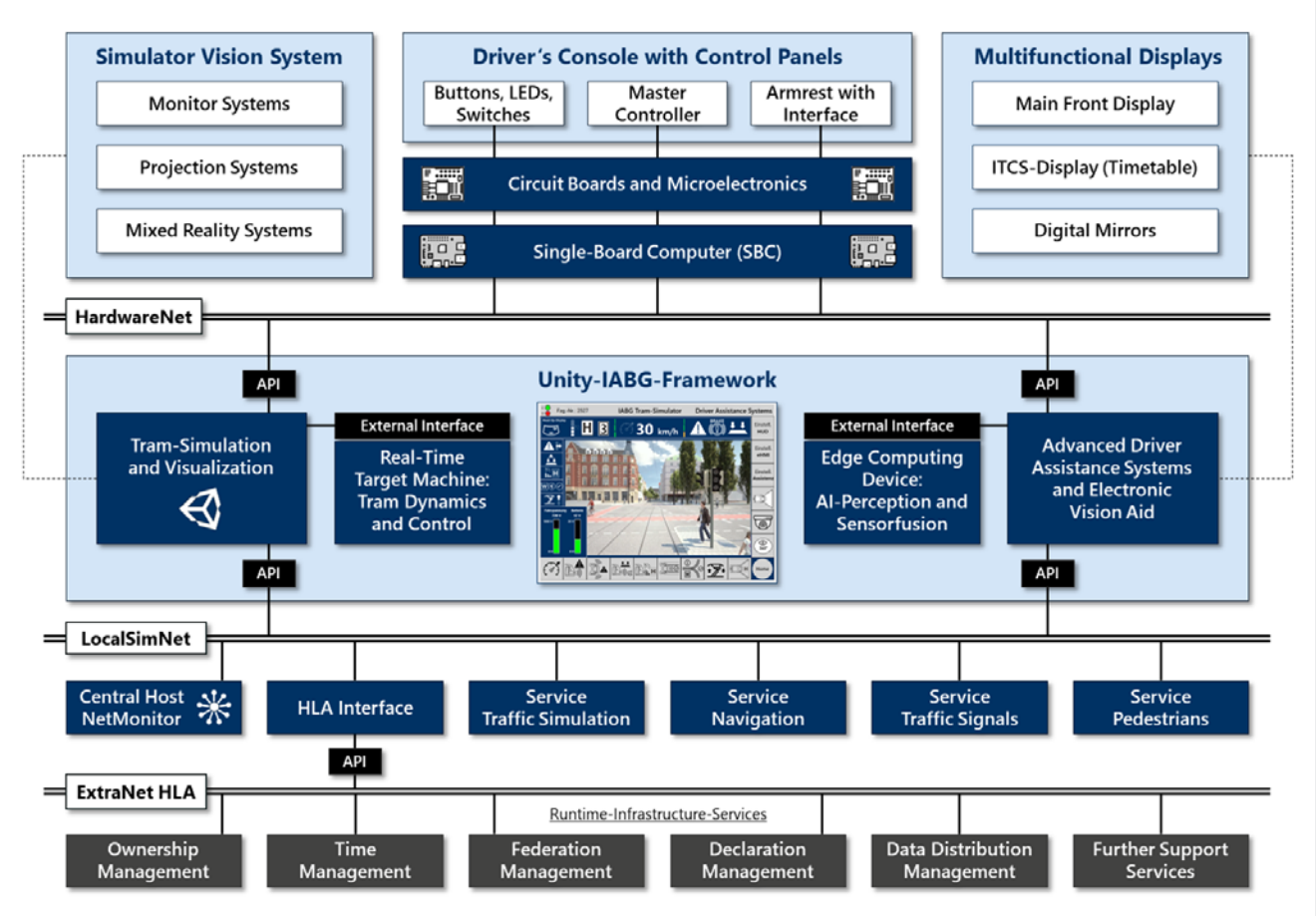
Die Verkehrswende erfordert neue Mobilitätsstrategien für klimafreundliche, leistungsfähige und sichere Verkehrsträger. Steigendes Passagieraufkommen erhöht die Anforderungen an die Transportkapazität, Pünktlichkeit und insbesondere an die Verkehrssicherheit im ÖPNV. Die Reduzierung von Unfallzahlen, der Schutz von Fahrgästen und Verkehrsteilnehmenden sowie die bestmögliche Vorbereitung des Fahrpersonals sind zentrale Ziele. Unfallstatistiken zeigen jedoch weiterhin eine erhebliche Zahl an Unfällen mit Personenschäden in deutschen Städten [1]. Neben Fahrerassistenzsystemen ist vor allem die Qualifikation und Professionalisierung des Fahrpersonals ein Schlüsselfaktor für mehr Sicherheit im Fahrgastbetrieb. Studien [2, 3, 4] belegen, dass eine Simulator-gestützte Ausbildung die Anzahl sicherheitsrelevanter Fehler deutlich verringern und damit vermeidbare Unfälle reduzieren kann.

Höhere Automatisierung im ÖPNV kann zudem Taktfrequenzen steigern und den Fachkräftemangel abfedern. Straßenbahnen haben großes Potenzial für Fahrerassistenzsysteme und teilautomatisierte Fahrfunktionen, die bislang in der Praxis kaum eingesetzt werden. Aktuelle Forschungsprojekte [5, 6] verdeutlichen jedoch die Herausforderungen auf dem Weg zum vollautomatisierten, fahrerlosen Straßenbahnbetrieb und dessen Zulassung.

1: Tram-Simulator der IABG mit prototypischen Fahrerassistenzsystemen

Um Straßenbahnen wettbewerbsfähig zu halten und gleichzeitig sichere, attraktive Arbeitsbedingungen für Fahrer zu schaffen, sollten Assistenzsysteme bereits in der Beschaffungsphase neuer Fahrzeuggenerationen berücksichtigt werden. Genau hier setzt der Tram-Simulator an: Er verknüpft realistische Fahrzeugtechnik,

Nutzung unter www.iabg.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025



2: Systemarchitektur des Tram-Simulators

hochdetaillierte Streckensimulation und praxisnahes Fahrtraining zu einer integrierten Plattform. Damit bietet er bereits vor Projektbeginn ein umfassendes Framework für kundenspezifische Mobilitätslösungen und beschleunigt signifikant deren Umsetzung. Das bayerische Gemeinschaftsprojekt (IABG, SWM/MVG, GERSYS und Optify) wurde dafür mit dem CNA-Innovationspreis „Coup de Cœur" [7] für Mobilität ausgezeichnet – ein Beleg für seine Bedeutung für die Mobilität von morgen.

2. Technische Beschreibung

Der Tram-Simulator wurde als nutzerzentrierte Evaluationsplattform für Fahrerassistenzsysteme entwickelt und ermöglicht Verkehrsunternehmen, neue Systeme bereits vor der Inbetriebnahme realitätsnah zu erproben. Die von der IABG konzipierte Plattform ist flexibel, herstellerunabhängig und lässt sich auf Basis eines modernen Straßenbahn-Fahrerarbeitsplatzes mit gängigen Komponenten an kundenspezifische Anforderungen anpassen.

Durch simulationsgestützte Entwicklung können Betreiber belastbare, verifizierte Anforderungsspezifikationen für künftige Assistenzsysteme ableiten. Dies erhöht die Entscheidungssicherheit bei der Beschaffung, vermeidet Fehlbestellungen und nachträgliche Änderungen und reduziert damit Kosten.

Darüber hinaus bietet die Plattform neue Möglichkeiten für Ausbildung und Bewertung: Assistenzsysteme können in vielfältigen virtuellen Verkehrsszenarien getestet und das Personal darin geschult bzw. eingewöhnt werden. So lassen sich Fahrzeug- und Verkehrskonzepte bereits im Vorfeld verifizieren, optimieren und virtuell erlebbar machen.

2.1. Bestandteile und Struktur

Der Tram-Simulator basiert auf einer modularen, flexiblen Plattformarchitektur, die für jede Straßenbahnflotte spezifisch angepasst werden kann. Kernstück ist die Verknüpfung von Fahrerstand, Streckensimulation und Training in Echtzeit. So lassen sich beliebige betreiberspezifische Gleisabschnitte als 3D-Modelle nachbilden und mit einem originalgetreuen Führerstand verbinden. Die offene Architektur erlaubt die Integration moderner Sensorik und HMI, um existierende und zukünftige Assistenzsysteme einfach und realitätsnah abzubilden.

Kundenindividuelle Anpassungen ermöglichen maßgeschneiderte Simulator-Setups und HMI, etwa für spezifische Fahrzeugtypen, Assistenzfunktionen oder Anzeigeelemente. Da sowohl Software als auch Hardware vollständig von der IABG entwickelt wurden, können neue Module kurzfristig implementiert werden. Die Kombination aus simulierten Assistenzsystemen und physischer Hardware (Fahrerpult, HMI) schafft eine realistische Testumgebung für Nutzertests, Usability-Analysen sowie ein ganzheitliches Anforderungs- und Konfigurationsmanagement. So können Abhängigkeiten zwischen Netz, Fahrzeug und Assistenzsystem bereits vorab ermittelt werden, um beispielsweise Lastenhefte zu konkretisieren und zu ergänzen.

Nutzung unter www.iabg.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

3: Mobiler Tram-Simulator als modernes Werkzeug für Recruiting und Weiterbildung

2.2. Hardware-Architektur

Die Hardware-Architektur des Straßenbahn-Simulators ist auf ein realistisches, immersives Fahrerlebnis ausgelegt. Zentrales Element ist ein originalgetreues Tram-Fahrerpult mit authentischen Bedienelementen wie Fahrhebel, Leuchtdrucktastern, Wahlschaltern, Schlüsselschaltern und Pedalerie. Die Komponenten sind auf einer stabilen Bodenplatte mit Unterkonstruktion montiert und werden durch einen ergonomischen Fahrersitz mit Armlehne ergänzt, um eine praxisgerechte Arbeitsumgebung zu schaffen.

Die Darstellung erfolgt über ein leistungsfähiges Visualisierungssystem, das je nach Einsatzszenario mit LED-Monitoren, einer Projektionsleinwand oder Mixed-Reality-Technologien betrieben werden kann. Optional kann der Fahrerarbeitsplatz auf einer präzise steuerbaren Motion-Plattform installiert werden, um Fahrdynamik und Fahrzeugbewegungen zu simulieren. Ein Audio-System erzeugt realistische Geräuschkulissen.

Die technische Ansteuerung basiert auf einer Kombination aus Mikroelektronik (Raspberry Pis, Spezialplatinen und weiteren Steuerelementen) sowie einem Hochleistungsrechner im 19-Zoll-Rack, der Simulationsdaten verarbeitet und die Hardwarekomponenten synchronisiert.

2.3. Software-Architektur

Die Software-Architektur ist eng mit der Hardware verzahnt und sorgt für einen realistischen, zeitsynchronisierten Simulationsverbund. Sie basiert auf der High Level Architecture (HLA) nach dem IEEE 1516 Standard, die einen zeitsynchronen Simulationsverbund ermöglicht. Über Gateways werden die einzelnen Modelle (Fahrzeug-, Streckennetz- und Assistenzsystemmodelle) des Simulationsverbunds nahtlos gekoppelt.

Der Simulationsverbund umfasst eigens entwickelte Dienste für Signaltechnik (StVO und BOStrab), agentenbasierte Verkehrssimulation sowie Fahrplanabwicklung (gemäß ITCS). Auf Grundlage hochpräziser Karten wird das Stadtgebiet digitalisiert und das Schienennetz detailgetreu in 3D modelliert. Das physikalische Fahrmodell der Straßenbahn wird über einen Echtzeitrechner eingebunden und bildet Fahrzeugdynamik und Fahreigenschaften realistisch ab.

Für die visuelle Darstellung wird Unity 3D eingesetzt, inklusive dynamischer Wetter- und Tageszeitensimulation. Eine Nvidia Jetson Orin Einheit mit trainiertem KI-Modell übernimmt die Objekterkennung der simulierten Verkehrsteilnehmer und ermöglicht die Abbildung von Fahrfunktionen, die auf realen Betriebsabläufen basieren. Integrierte Logging- und Bewertungstools ermöglichen detaillierte Analysen des Verhaltens der Assistenzsysteme sowie der Performance des Fahrpersonals.

Insgesamt gewährleistet der Simulationsverbund eine enge Verzahnung von Fahrzeugdynamik, Streckenvisualisierung und neuartigen Assistenzsystemen, wodurch der Simulator sowohl als Trainingsumgebung als auch als Test- und Validierungsplattform für innovative Straßenbahntechnologien fungiert.

Nutzung unter www.iabg.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

3. Anwendungsbereiche

Der Tram-Simulator deckt ein breites Einsatzspektrum ab – von Ausbildung und Fahrtraining über Recruiting und Streckenvisualisierung bis hin zur Validierung neuer Systeme (inklusive SIL / HIL / DIL-Tests). Seine kompakte, modulare Bauweise ermöglicht einen schnellen Auf- und Abbau sowie mobilen Einsatz, zum Beispiel in einem Kleintransporter. Dadurch kann er flexibel in Ausbildungszentren, bei Bürgerveranstaltungen oder Recruiting-Events genutzt werden.

Er unterstützt den gesamten Entwicklungsprozess – von der Konzeption neuer Assistenzsysteme über deren Prototyping bis zur abschließenden Systemvalidierung. Das Fahrpersonal kann realitätsnah trainiert werden, während Techniker Systeme evaluieren und optimieren. Virtual-Reality-Darstellungen erlauben die frühzeitige Verifikation und anschauliche Präsentation neuer ÖPNV-Konzepte, was sowohl die Planungssicherheit als auch die Öffentlichkeitsarbeit verbessert. ●

Literatur

[1] Statistisches Bundesamt (Destatis) (o. J.): Unfälle und Verunglückte im Straßenbahnverkehr. Abgerufen am 20.08.2025, von https://www.destatis.de.
[2] Olsson, N., Lidestam, B., & Thorslund, B. (2022): Effect of Train-Driving Simulator Practice in the European Rail Traffic Management System: An Experimental Study. Transportation Research Record, 2677(5), 694-706. Abgerufen am 11.09.2025, von https://doi.org/10.1177/03611981221135802 .
[3] FAAC Incorporated. (o. J.): Transportation simulation training solutions. Abgerufen am 20.08.2025, von https://www.faac.com/simulation-training/transportation/.
[4] Olsson, N. (2023): A Validation Study Comparing Performance in a Low-Fidelity Train-Driving Simulator with Actual Train Driving Performance. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 97, 109-122. Abgerufen am 11.09.2025, von https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.07.007.
[5] IABG (2021): Projekt SmarTram. Abgerufen am 18.08.2025 von https://www.iabg.de.
[6] AStriD-Konsortium (2022): AStriD – Autonome Straßenbahn im Depot. Abschlussbericht. [AStriD_2022.pdf]. Abgerufen am 18.08.2025 von https://www.astrid-projekt.de .
[7] IABG (2021): Innovativer Tram-Simulator macht Zukunft des Straßenbahnverkehrs erlebbar [Pressemitteilung]. Abgerufen am 18.08.2025 von https://www.iabg.de/news/news/detail/innovativer-tram-simulator-macht-zukunft-des-strassenbahnverkehrs-erlebbar-1.

Summary

Tram simulator as a training and test environment – User-centred prototyping of assistance systems for trams

The IABG Tram Simulator is a flexible, vendor-independent platform enabling realistic simulation of tram operations. It combines a true-to-scale driver's cab, 3D track visualization and immersive simulation to support training, system validation, integration of driver assistance systems, planning and communication. Its modular architecture and mobile deployment capability allow safe, efficient and cost-effective development and training processes. The simulator has been recognized with the CNA Innovation Award "Coup de Cœur".

Der berufsbegleitende Master of Science ÖPNV + Mobilität vermittelt Fach- und (angehenden) Führungskräften umfassende Kenntnisse rund um das Management von Verkehrsdienstleistungen. Steigen Sie jetzt mit uns in Ihre Zukunft ein!

UNIKASSEL VERSITÄT

WWW.UNIKIMS.DE/OEPNV

MELDEN SIE SICH JETZT ZUM **SCHNUPPERSTUDIUM** AN UND LERNEN SIE UNSEREN STUDIENGANG KENNEN!

UNIKIMS

Nutzung unter www.iabg.de zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025