

Einsatz von Motion Capture zur Absicherung automatisierter Fahrfunktionen

Dr.-Ing. **Christian Schyr**, AVL Deutschland GmbH, Karlsruhe;
Rene Degen, M.Sc., **Alexander Tauber**, M.Sc.,
Technische Hochschule Köln

Kurzfassung

Effiziente Methoden für die Entwicklung und Validierung von hochautomatisierten Fahrzeugsystemen spielen in der Mobilitätsindustrie eine immer wichtigere Rolle. Insbesondere die Einführung innovativer Assistenz- und Automatisierungsfunktionen erfordern neue Methoden in der Simulations- und Prüfstandstechnik. Im Beitrag wird ein neuer Ansatz für die Entwicklung einer virtuellen Testumgebung für hochautomatisierte Fahrzeuge auf Basis einer Virtual Reality Engine vorgestellt. Grundlage ist ein realistisches, georeferenziertes Stadtmodell, das in Co-Simulation reaktiv mit einem hochdetaillierten Fahrzeugmodell auf einem Vehicle-in-the-Loop-Prüfstand verbunden wird. Durch Modelle von Sensorsystemen wie Kamera und Radar kann das Fahrzeug in Echtzeit mit der Umgebung und den Verkehrsteilnehmern interagieren. Diese VRUs (Vulnerable Road Users) basieren auf einer Motion Capture Technologie und sind als realistische Avatare integriert. Der effiziente Einsatz dieser Technologie zur hochauflösenden Bewegungserfassung von VRUs wie Fussgänger, Rad- und Motorradfahrern und deren Integration als digitale Zwillinge in die Simulations- und Prüfstandsumgebungen von AVL werden vorgestellt.

Abstract

Efficient methods for the development and validation of highly automated vehicle systems are playing an increasingly important role in the mobility industry. In particular, the introduction of innovative assistance and automation functions requires new methods in simulation and test bench technology. In this paper, a new approach for the development of a virtual test environment for highly automated vehicles based on a virtual reality engine is presented. The basis is a realistic, georeferenced city model, which is reactively connected in co-simulation with a highly detailed vehicle model on a vehicle-in-the-loop test bench. Models of sensor systems such as camera and radar allow the vehicle to interact in real time with the environment and road users. These VRUs (Vulnerable Road Users) are based on motion capture technology and are integrated as realistic avatars. The efficient use of this technology for high-resolution motion capture of VRUs such as pedestrians, cyclists and

motorcyclists and the integration as digital twins into AVL's simulation and test bench environments is presented.

1. Motivation

Bei der Entwicklung zuverlässiger Assistenz- und Automatisierungsfunktionen in Fahrzeugen hoher Automatisierungsstufen erfordert die Interaktion zwischen dem Fahrzeug und verletzlichen Verkehrsteilnehmern (VRU - Vulnerable Road Users) eine besondere Aufmerksamkeit. Beide Seiten müssen einander verstehen können, um einen fließenden und unfallfreien Verkehr zu gewährleisten. Außerdem ist zu beachten, dass der Nutzer eines automatisierten Fahrzeugs nicht mehr mit der unmittelbaren Fahraufgabe betraut ist. In dieser Rolle darf der Nutzer nicht länger direkt mit anderen Verkehrsteilnehmern kommunizieren, denn das Fahrzeug wird diese Kommunikation nicht für die Regelstrategie berücksichtigen können [1]. Dazu werden neue Interaktionsformen zwischen den automatisierten Fahrzeugen und den Menschen notwendig. Stand bislang die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug (per Anzeige- und Bedienelemente) und anderen Verkehrsteilnehmern (per Gesten, Handzeichen etc.) im Vordergrund, wird das Fahrzeug der Zukunft eigenständig mit Personen in der Umwelt kommunizieren. Die über die verschiedenen Kanäle übertragenen Informationen müssen stets situationsangemessen, verständlich und eindeutig sein. Zur Absicherung dieser Funktionen sind neue zuverlässige Testmethoden zu entwickeln und in effizienten Werkzeugen zur Verfügung zu stellen. In Bild 1 ist beispielhaft die Durchfahrt eines hochautomatisierten Fahrzeugs (SAE Level 4) durch eine belebte Kreuzung in der Simulation dargestellt.

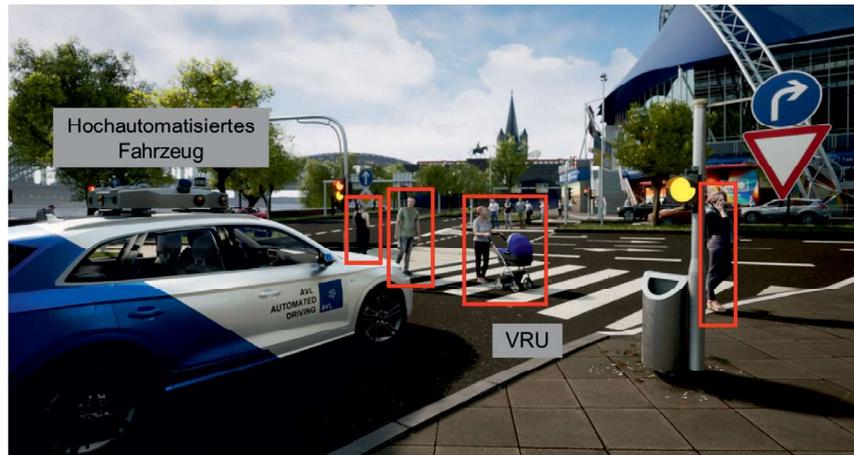


Bild 1: Interaktion mit verletzlichen Verkehrsteilnehmern (VRU) im urbanen Umfeld

2. Vehicle-in-the-Loop Prüfstand

Ergänzend zu Versuchen in der reinen Simulation, am klassischen HiL-Prüfstand und im realen Fahrversuch hat sich zur Integration, Validierung und Zulassung von Assistenz- und Automatisierungsfunktionen (ADAS/AD) der Vehicle-in-the-Loop Prüfstand (ViL) etabliert [2]. Ein wesentlicher Vorteil des ViL-Prüfstandes ist eine maximale verfügbare Anzahl an realen und voll integrierten Komponenten zur Durchführung von Versuchen unter Laborbedingungen, z.B. zum Nachweis der geforderten Zuverlässigkeit hochautomatisierter batterieelektrischer Fahrzeuge [3]. Dabei erfolgt eine reproduzierbare Interaktion aller für das hochautomatisierte Fahren relevanten Komponenten im Sinne von „Sense-Plan-Act“.

In der im Bild 2 dargestellten Ausführungsform als AVL DRIVINGCUBE™ besteht der Fahrzeugprüfstand aus folgenden Komponenten:

- Steuergeräte für die Assistenz- bzw. Automatisierungsfunktionen (ADAS/AD),
- Ansteuerung des elektrischen Antriebssystems (MCU) und Lenkungssystems (EPS),
- Hochdynamische Radaktuatoren für das Antriebssystem,
- Hochdynamischer Kraftaktuator für das Lenksystem,
- Einspeisung der simulierten Beschleunigungssignale (SRS) in die Fahrdynamik (VSC),
- Videosignale für die Stimulation des Kamerasensors,
- Objektlisten für die Emulation des Radarsensors,
- Rohdaten für die Emulation des Lidarsensors.

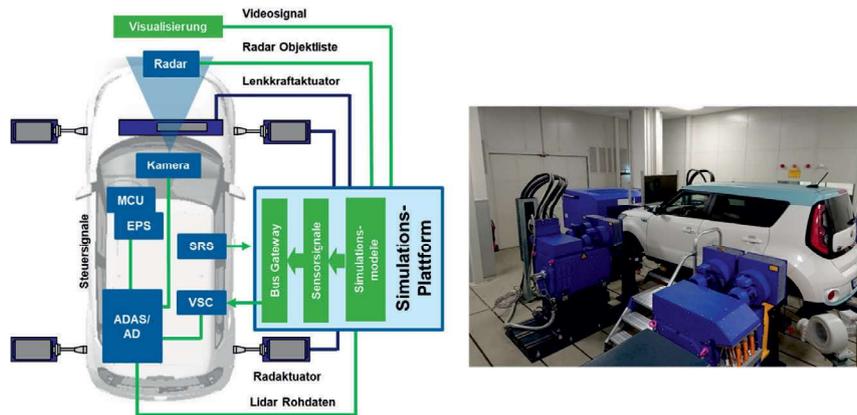


Bild 2: Vehicle-in-the-Loop Prüfstand

3. Motion Capture

Zur Aufzeichnung menschlicher Bewegungsmuster hat sich die Motion Capture Technologie (MoCap) etabliert [4]. Das in Bild 3 dargestellte System OptiTrack der TH Köln basiert auf der präzisen Lokalisierung der an den VRUs angebrachten Trackern durch Infrarot-Kameras im Raum. Zusätzlich können ADAS/AD Sensoren wie beispielsweise Radar zur synchronen Erfassung von Referenzdaten zur Bedatung und Validierung von Sensormodellen eingesetzt werden [5].

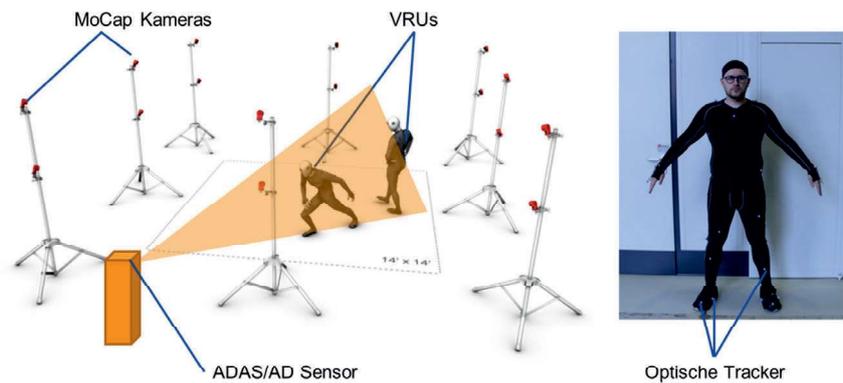


Bild 3: Erfassung der menschlichen Bewegungen durch das Motion Capture System

Wie in Bild 4 ersichtlich werden nach einmaliger Kalibrierung aus den erfassten Trackerpositionen durch eine KI-basierte Auswertesoftware die dynamischen Skelettpositionen berechnet und über eine Netzwerkverbindung zur weiteren Verarbeitung in der Simulationsplattform zur Verfügung gestellt.

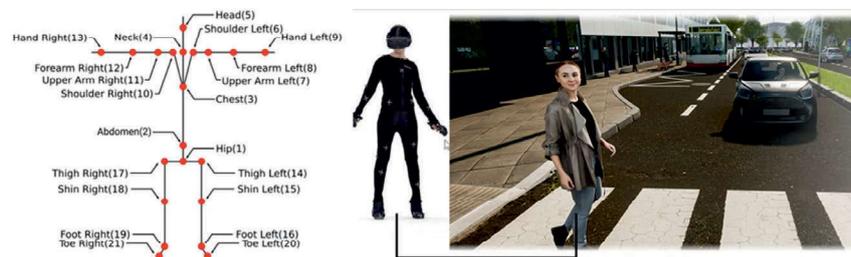


Bild 4: Berechnung der Skelettpositionen der VRUs aus den erfassten Markerpositionen

4. Integration vom Motion Capture am Fahrzeugprüfstand

Der grundlegende Ansatz zur Integration von VRUs in die Testumgebung des ViL-Prüfstands ist in Bild 5 dargestellt. Die reale Testumgebung (z.B. eine komplexe urbane Kreuzung) wird dabei in einer High-End Virtual Reality (VR) Engine als virtuelles Testfeld abgebildet. Von AVL und der TH Köln wird dabei die VR Plattform „Unreal Engine“ eingesetzt, welche vielfältige Möglichkeiten zur Integration von eigenen Funktionen als Plug-in bietet [6]. Sowohl vom MoCap-System als auch vom Fahrzeugmodell werden die Positionen der Akteure über eine Ethernet-Schnittstelle in das virtuelle Testfeld in Echtzeit übertragen. In diesem sind die einzelnen Sensormodelle an den Akteuren räumlich referenziert und liefern entsprechende Sensordaten zurück. Ein Testingenieur kann nun auch selbst als VR-Akteur in die Szene „eintauchen“ und sowohl rein beobachtend als auch in das Szenario aktiv eingreifend agieren.

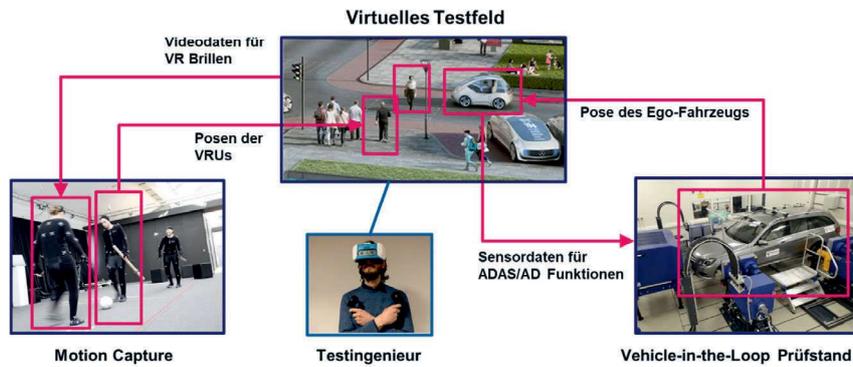


Bild 5: Integration von VRUs am ViL-Prüfstand

Ein Proof-of-Concept dieses Ansatzes wurde am Fachgebiet Kraftfahrzeuge der TU Berlin durchgeführt. In Bild 6 und 7 ist der realisierte Aufbau mit einem batterieelektrischen Fahrzeug und den darin integrierten ADAS-Funktionen Adaptiver Abstandsregler (ACC), Spurhalteregler (LKA) und automatischer Notbremsung (AEB) dargestellt. Das MoCap-System ist in einem Messraum neben dem ViL-Prüfstand aufgebaut. Die Verarbeitung der erfassten Trackerpositionen erfolgt auf einer eigenen Workstation, welche die aufbereiteten Skelettpositionen mit 100 Hz über ein lokales Ethernet an die VR Workstation im Bedienraum überträgt. Auf dieser werden alle Funktionen des virtuellen Testfelds ausgeführt, insbesondere die Integration der Positionen der einzelnen Akteure und die Berechnung aller Sensormodelle als „Sensor Engine“.

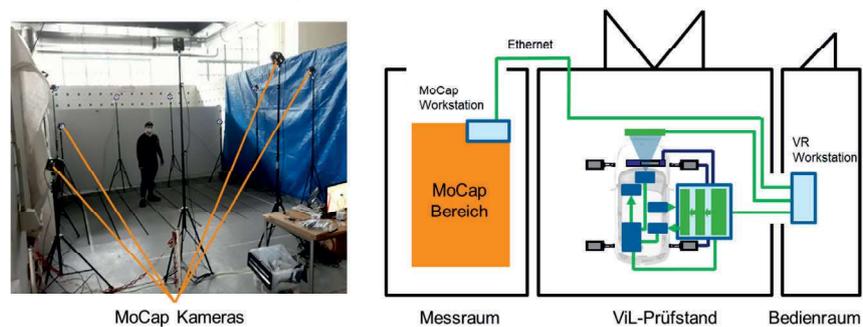


Bild 6: Beispielhafter Aufbau von MoCap am ViL-Prüfstand der TU Berlin

Auf einem eigenen Echtzeitrechner als „Physics Engine“ wird das Fahrzeugmodell mit 1 kHz ausgeführt und darin die realen Komponenten des Antriebs-, Brems- und Lenkungs systems über das Automatisierungssystem (AuSy) „in-the-Loop“ genommen. Die im Fahrzeug integrierten ADAS-Funktionen können mittels der Sensordaten die entsprechenden Eingriffe auf alle realen Fahrzeugaktuatoren mittels Drive-by-Wire ausführen.

Im Pre-Processing erfolgt für die präzise und sichere Berechnung der Aufstandspunkte des Reifenmodells der Export und Aufbereitung eines Terrain-Modells aus den Daten des virtuellen Testfelds.

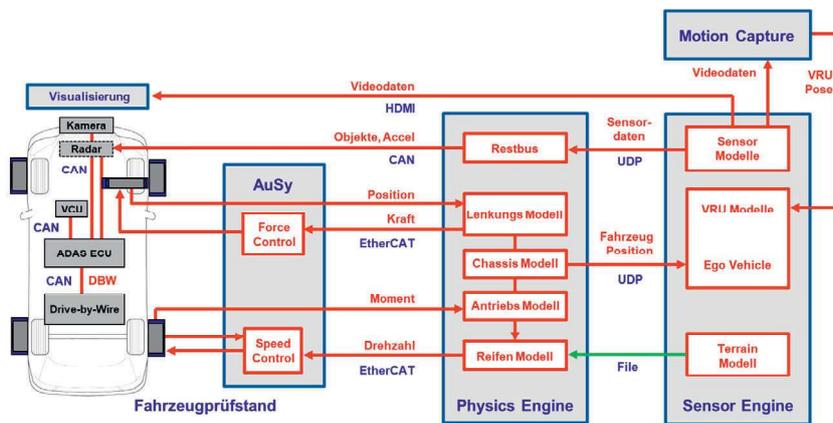


Bild 7: Signalflüsse am ViL-Prüfstand der TU Berlin

Als Use Case wurde die Interaktion eines VRU mit dem Versuchsfahrzeug an einem Fussgängerübergang am ViL-Prüfstand durchgeführt. In Bild 8 ist der entsprechende Bereich des realen und des virtuellen Testfelds in Köln dargestellt [7]. Im Bild 9 sind links die Videodaten zur Stimulation der Fahrzeugkamera, rechts die dazu synchronen Videodaten für die VR Brille des VRU im MoCap Bereich ersichtlich. In Bild 10 ist diese Szene nach Auslösen der AEB-Funktion im Fahrzeug abgebildet.



Bild 8: Reales und virtuelles Testfeld Köln



Bild 9: Interaktion zwischen Fahrzeug und VRU (Sicht der virtuellen Kameras)



Bild 10: Interaktion zwischen Fahrzeug und VRU (Sicht am Prüfstand)

5. VRUs als Avatare im virtuellen Testfeld

Eine weitere realisierte Anwendung von Motion Capture ist die Vermessung der Bewegungsmuster von VRUs, um sie als Avatare (d.h. als Repräsentation echter Personen) im virtuellen Testfeld nutzen zu können. In Bild 11 ist der Erfassung von Fußgängern in unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten auf einem Laufband, von Radfahrern auf einem Radergometer und von Motorradfahrern ersichtlich.



Bild 11: Erfassung der Bewegungsmuster von VRUs

Wie in Bild 12 dargestellt, werden anschließend durch Einsatz eines 360-Grad Kamerasets die Texturen unterschiedlich bekleideter Personen erfasst und auf die erfassten Skelettpositionen aufgebracht. Dabei erfolgt eine automatische Anpassung des Bewegungsmusters an die Größe der erfassten Person, dem sogenannten „Remapping“ [8].



Bild 12: Erfassung der Texturen für Avatare im virtuellen Testfeld [9]

Durch eine geeignete Kombination an aufgezeichneten Bewegungsmustern lassen sich nun reaktive komplexe Abläufe in Echtzeit im virtuellem Testfeld wie in Bild 13 gezeigt darstellen.

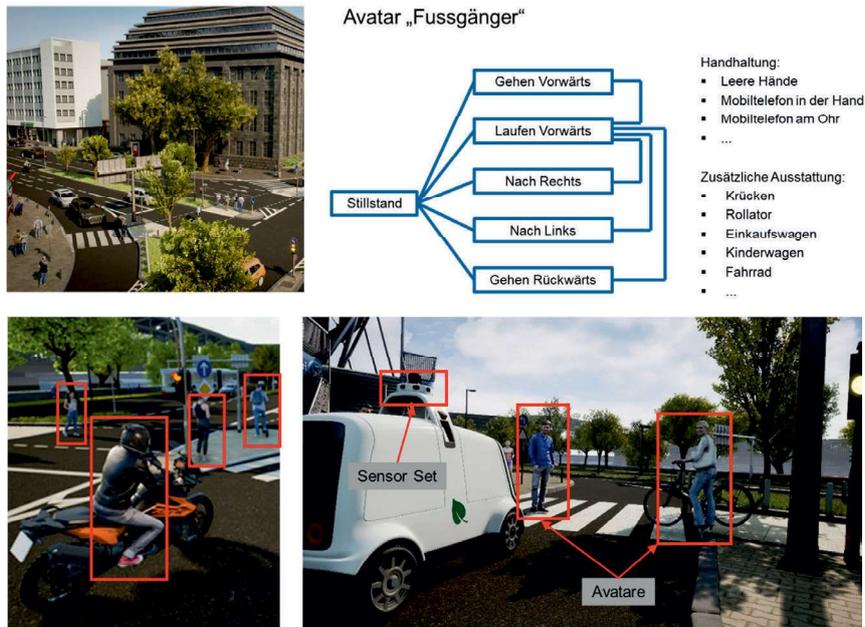


Bild 13: Komplexe Bewegungsmuster von Fussgängern und Motorradfahrern im Testfeld

6. Vernetzung von räumlich getrennten Motion Capture

Da der Aufbau des optischen Motion Capture Systems mit ausreichendem Bewegungsraum für mehrere VRUs einen geeigneten Messraum erfordert, ist oftmals eine räumlich getrennte Lage zum ViL-Prüfstand sinnvoll. Damit gehen aber unmittelbar Herausforderungen für die Signalübertragung in Echtzeit einher. Die in Bild 14 dargestellte Lösung basiert daher auf einer zentralen Komponente zur Simulation der räumlichen Bewegung der Verkehrsteilnehmer („Scenario Engine“) und die Übertragung von deren Ausgangsdaten mit 100 Hz in mehrfache Instanzen der VR Workstations („Sensor Engines“) über ein virtuelles privates Netzwerk (VPN). Die „Physics Engine“ ist dabei am Standort des ViL-Prüfstands der TU Berlin installiert, während das Motion Capture System sich am Standort der TH Köln befindet. Eine Co-Simulationskomponente orchestriert dabei das Pre-Processing und den Datenaustausch in Echtzeit.

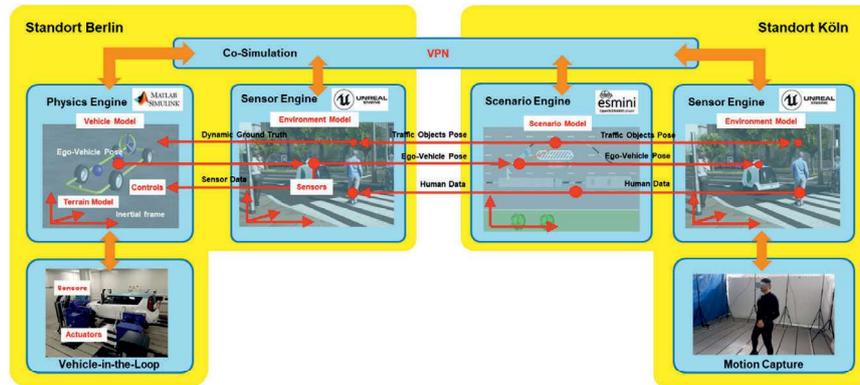


Bild 14: Vernetzung von Motion Capture über räumlich verteilte Standorte

7. Anwendung im maritimen virtuellen Testfeld

Als weitere Anwendung wird im Projekt FÖRDE 5G die Motion Capture Technologie zur Erfassung der detaillierten Bewegungsmuster von Wassersportlern wie die im Bild 15 abgebildeten Stehpaddler und Kajakfahrer eingesetzt.



Bild 15: Wassersportler im Bereich der Fährlinien der Kieler Förde



Bild 16: Komplexe Bewegungsmuster von Kajakfahrern im maritimen Testfeld

Dabei steht die realistische Simulation der Bewegungsmuster zur Erzeugung von Trainingsdaten für die zuverlässige Erkennung und Prädiktion dieser Verkehrsteilnehmer durch Kamera- und Lidarsensoren im Fokus [10], [11].

8. Zusammenfassung und Ausblick

Im Beitrag wurde der Einsatz und die Vernetzung eines Motion Capture Systems mit einem Fahrzeugprüfstand vorgestellt. Wie in Bild 17 dargestellt, sind dabei die zentralen Komponenten die physikalische Simulation des Ego-Fahrzeugs und dessen Anbindung an den Prüfstand, die Simulation der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer im Testszenario und die Integration der menschlichen Bewegungsmuster in die Umgebungssimulation.

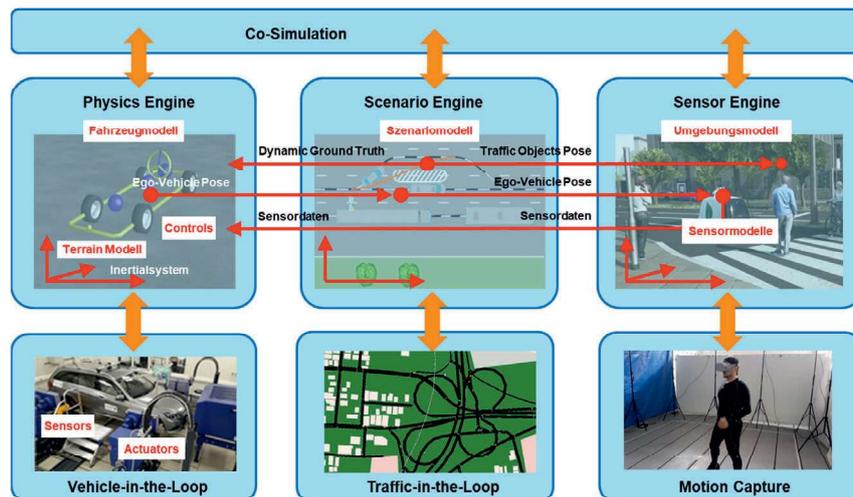


Bild 17: Integration von Motion Capture in virtuellen Testfeldern

In den nächsten Arbeiten werden im Standard ASAM OpenSCENARIO® die mittels Motion Capture erfassten Bewegungsmuster über den Mechanismus der „Property Extensions“ integriert und damit in unterschiedlichsten Testszenarien effizient nutzbar gemacht [12].

Referenzen

- [1] Projekt @CITY – Automatisiertes Fahren in der Stadt. <https://www.atcity-online.de>
- [2] Schyr, C.; Inoue, H.; Nakaoka, Y.: Vehicle-in-the-Loop Testing – a Comparative Study for Efficient Validation of ADAS/AD Functions. IEEE ICCVE – International Conference on Connected Vehicles and Expo (Lakeland Florida 2022)
- [3] Schyr, C.; Nestoriuc, M.: Scenario-based validation of highly automated electric vehicles in urban environments. 9th Int. Symposium on Development Methodology (Wiesbaden 2021)
- [4] Degen, R.; Tauber, A.; Nüßgen, A.; Irmer, M.; Klein, F.; Schyr, C.; Leijon, M.; Ruschitzka, M.: Methodical Approach to Integrate Human Movement Diversity in Real-Time into a Virtual Test Field for Highly Automated Vehicle Systems. Journal of Transportation Technologies 2022
- [5] Abadpour, S.; Pauli, M.; Schyr, C.; Klein, F.; Degen, R.; Siska, J.; Pohl, N.; Zwick, T.: Angular Resolved RCS and Doppler Analysis of Human Body Parts in Motion. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2022
- [6] Degen, R., et al.: Integration of driving physical properties into the development of a virtual test field for highly automated vehicle systems. NAFEMS World Congress (Salzburg 2021)
- [7] CityInMotion – Urbanes virtuelles Testfeld. <https://cityinmotion.de>
- [8] Degen, R.; Tauber, A.; Nüßgen, A.; Irmer, M.; Klein, F.; Schyr, C.; Leijon, M.; Ruschitzka, M.: Methodical Approach to Integrate Human Movement Diversity in Real-Time into a Virtual Test Field for Highly Automated Vehicle Systems. Journal of Transportation Technologies 2022
- [9] 3D People - High quality scanned human 3D models. <https://3dpeople.com>
- [10] FÖRDE 5G – Maritimes virtuelles Testfeld. <https://foerde5g.de>
- [11] Klein, F.; Uckert, E.; Schyr, C.: FÖRDE 5G - Virtuelles Testfeld für autonome Personenfähren. AVL German Simulation Conference (Regensburg 2022)
- [12] ASAM OpenSCENARIO - User Guide. <https://www.asam.net>

