



**Integrierte Werkzeugkette zur Nutzung
von realen verkehrlichen Szenarien für
simulationsbasierte Absicherung des
automatisierten Fahrens**

Björn Bahn & Kay Gimm
Institut für Verkehrssystemtechnik,
DLR

Integrierte Werkzeugkette zur Nutzung von realen verkehrlichen Szenarien für simulationsbasierte Absicherung des automatisierten Fahrens

Agenda

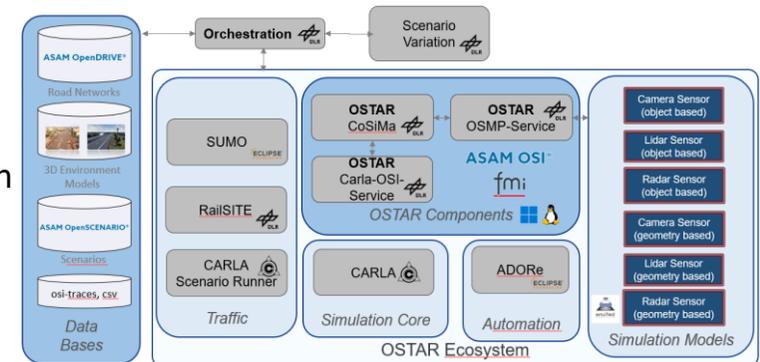
- 7 Motivation
- 7 Scenario Mining
 - Realdatenaufnahme
 - Szenariextraktion
 - Szenariexport
- 7 OSTAR
 - Architektur
 - Input
 - Modelle
 - Automatisierung
- 7 Zusammenfassung und Ausblick

Integrierte Werkzeugkette zur Nutzung von realen verkehrlichen Szenarien für simulationsbasierte Absicherung des automatisierten Fahrens

Motivation

- 1 Entwickeln und Testen von automatisierten Fahrfunktionen
- 1 Nicht alle Testfälle werden über Erprobungsfahrten abgedeckt → simulatives Testen
- 1 Herausforderung ist die Abbildung von realitätsgetreuen Szenarien in der Simulation

- 1 Lösung: Entwicklung einer integrierten Werkzeugkette
 - Erfassung und Analyse von realen verkehrlichen Szenarien
 - Konvertierung und Nutzung der Szenarien zur Gestaltung der Simulation
 - Simulatives Testen von Sensoren oder Fahrfunktionen



Erheben von realen Verkehrsdaten

- 7 Infrastrukturelle kamerabasierte Verkehrserfassung
 - 7 Teil der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) als reales Verkehrslabor in Braunschweig operativ seit 2014
 - 7 Detektion und Klassifikation von mot. und nicht mot. Verkehrsteilnehmern
 - 7 Output sind Trajektorien und heruntergerechnete Szenenvideos
 - 7 Kontinuierlicher Betrieb (24/7)
 - 7 Langzeitbeobachtungen für die verkehrliche Modellbildung
 - 7 Geringe Latenzen von ca. 350ms für Online-Anwendungen wie V2X-Nachrichten
- Ziel: Anlegen von Szenariendatenbanken inkl. Parameterräumen



Verkehrserfassung

AIM Forschungskreuzung

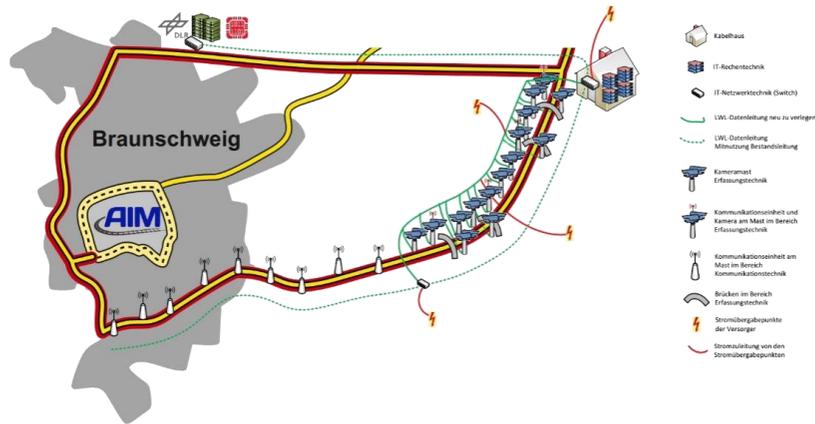
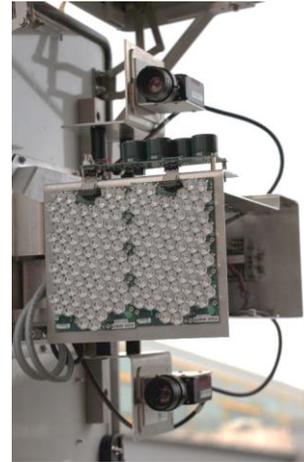
- 7 Sensor-Setup: 14 vertikale Stereo-Videosysteme; IR-Blitze
- 7 Sichtfeld in 2021 in die Kreuzungsarme erweitert



Verkehrserfassung

Testfeld Niedersachsen

- 71 Masten mit je 4 Kameras auf 7,5 km Länge
- Erfassung beider Fahrtrichtungen auf der A39
- Abtastrate 25Hz, interpoliert
- Aufnahme bei allen Wetterverhältnissen, Tag und Nacht
- Glasfaser-Datenleitung zum Standort BS



Verkehrserfassung

Mobile Messstation

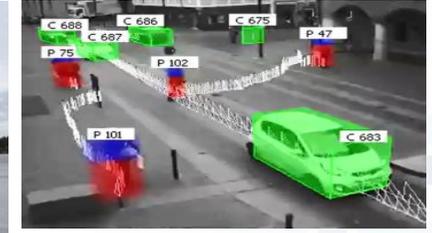
Allgemein:

- └ Erschließung individueller Messorte wie z.B. Landstraßen
- └ Alleinbetrieb oder Kombination mehrerer Stationen
- └ Höhe im Messbetrieb: 8 m
- └ Strombedarf: 2,5 kW
- └ Lokale Datenverarbeitung
- └ Fernzugang via LTE Router

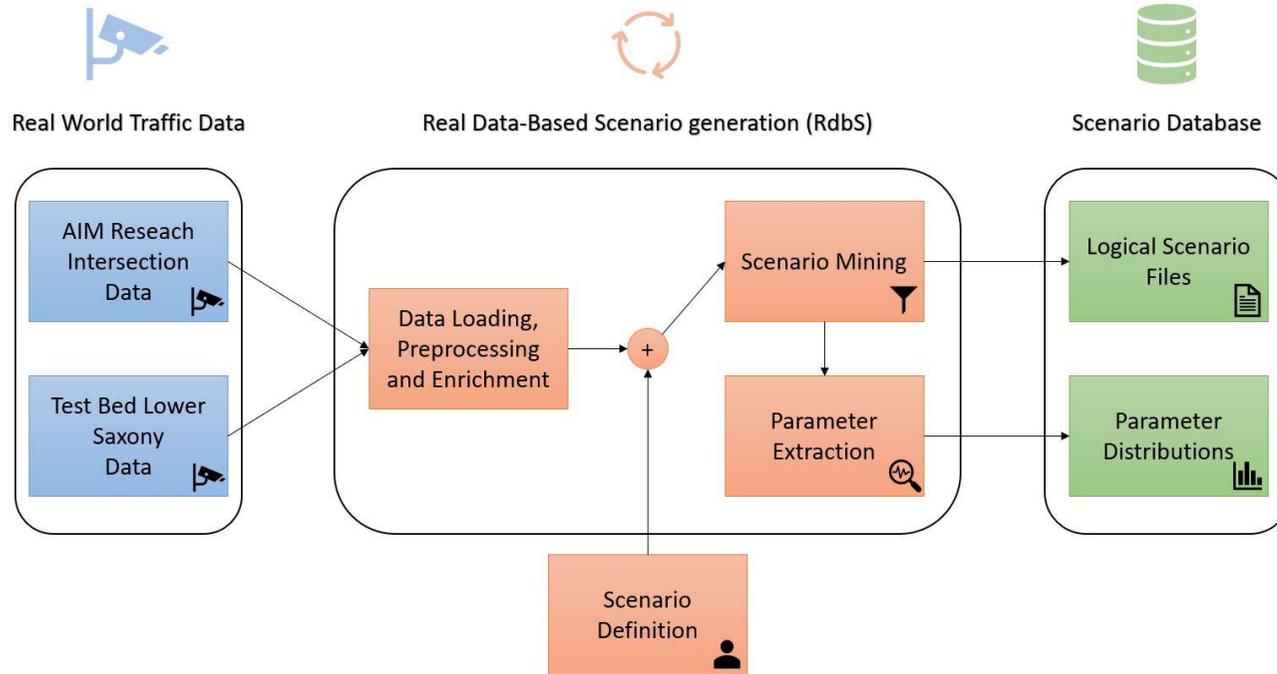


Sensoren per Anhänger:

- └ 2x Stereokamerasysteme
- └ 2x Infrarotblitze
- └ 1x RSU für C2X-Kommunikation

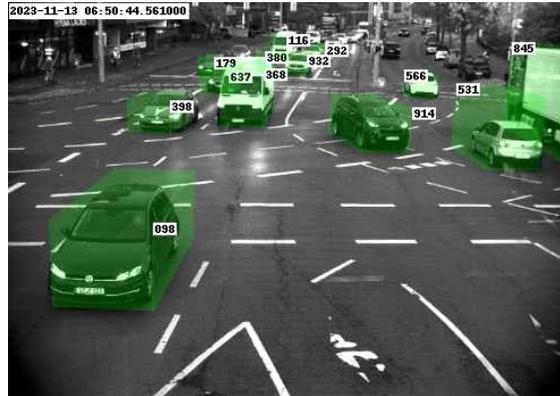
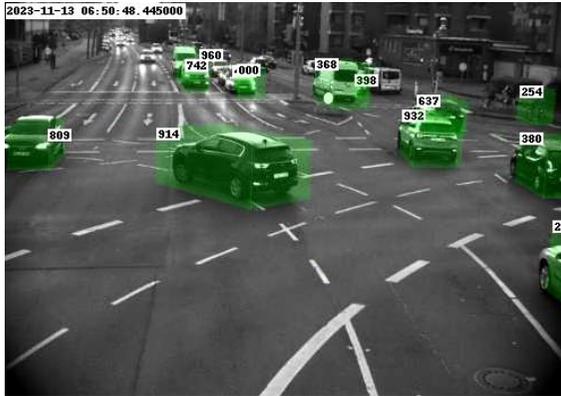


Datenfluss



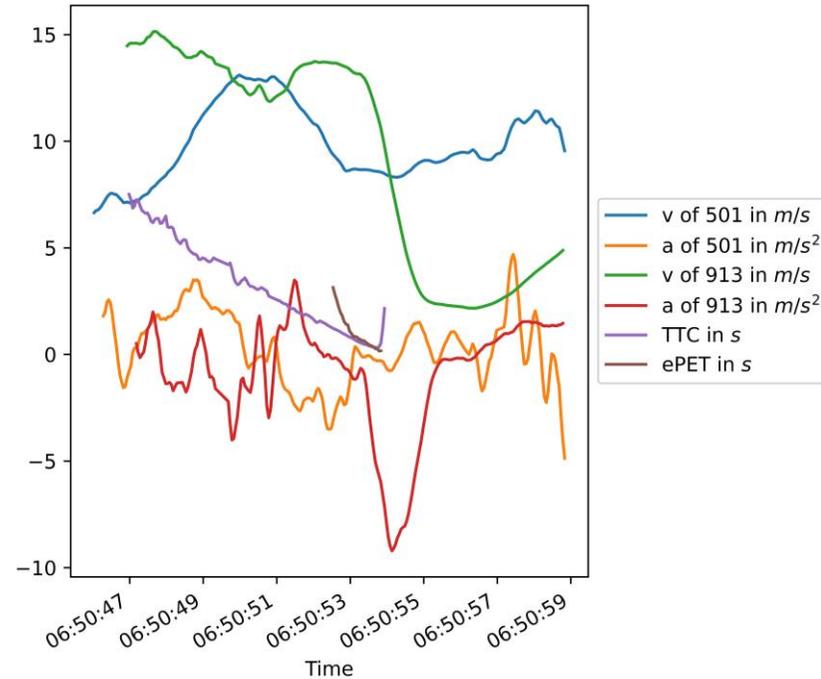
Beispiel 1 – extrahiertes Szenario

Linksabbiegen mit Gegenverkehr



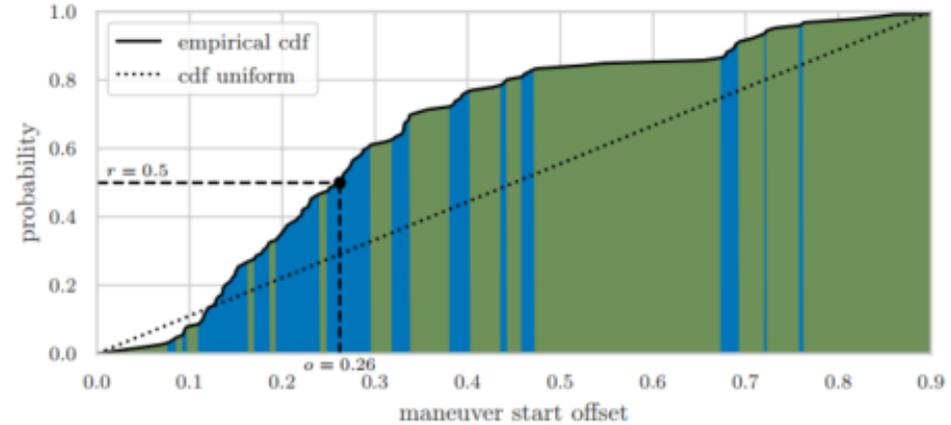
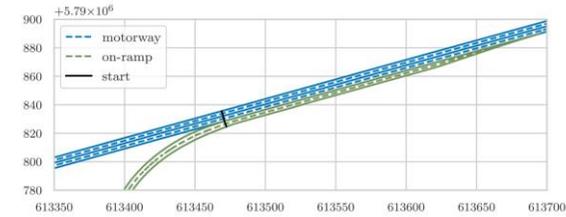
- ▮ Linksabbieger kreuzt ebenfalls ein Rad mit einer Zeitlücke von 1,5s
- ▮ Linksabbieger hat seit 1.087s Rot beim Einfahren in die Kreuzung
- ▮ Klare Sicht, Trockene Fahrbahn Temp. 3.9° und Lufttemp. 3.6°

PET=0,2s und min(TTC)=0,3s



Beispiel 2 – extrahiertes Szenario

Einfädeln auf die Autobahn



Ergebnisse Ausnutzung Beschleunigungsstreifen

- 50% (80%) der Manöver starten bei einer Ausnutzung von 25% (50%) des Beschleunigungsstreifens
- Nur 7% der Fahrer nutzen den Streifen voll aus

Mehr Informationen: Klitzke, Lars und Gimm, Kay und Koch, Carsten and Köster, Frank (2022) *Extraction and Analysis of Highway On-Ramp Merging Scenarios from Naturalistic Trajectory Data*. In: IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2022. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 08. - 12. Okt. 2022, Macau, China.

Konvertierung zu OSC

- ↳ Konverter zur Simulation aufgebaut
- ↳ Konkrete und logische Szenarien werden übergeben
- ↳ (Industrie-)Standard OpenSCENARIO genutzt

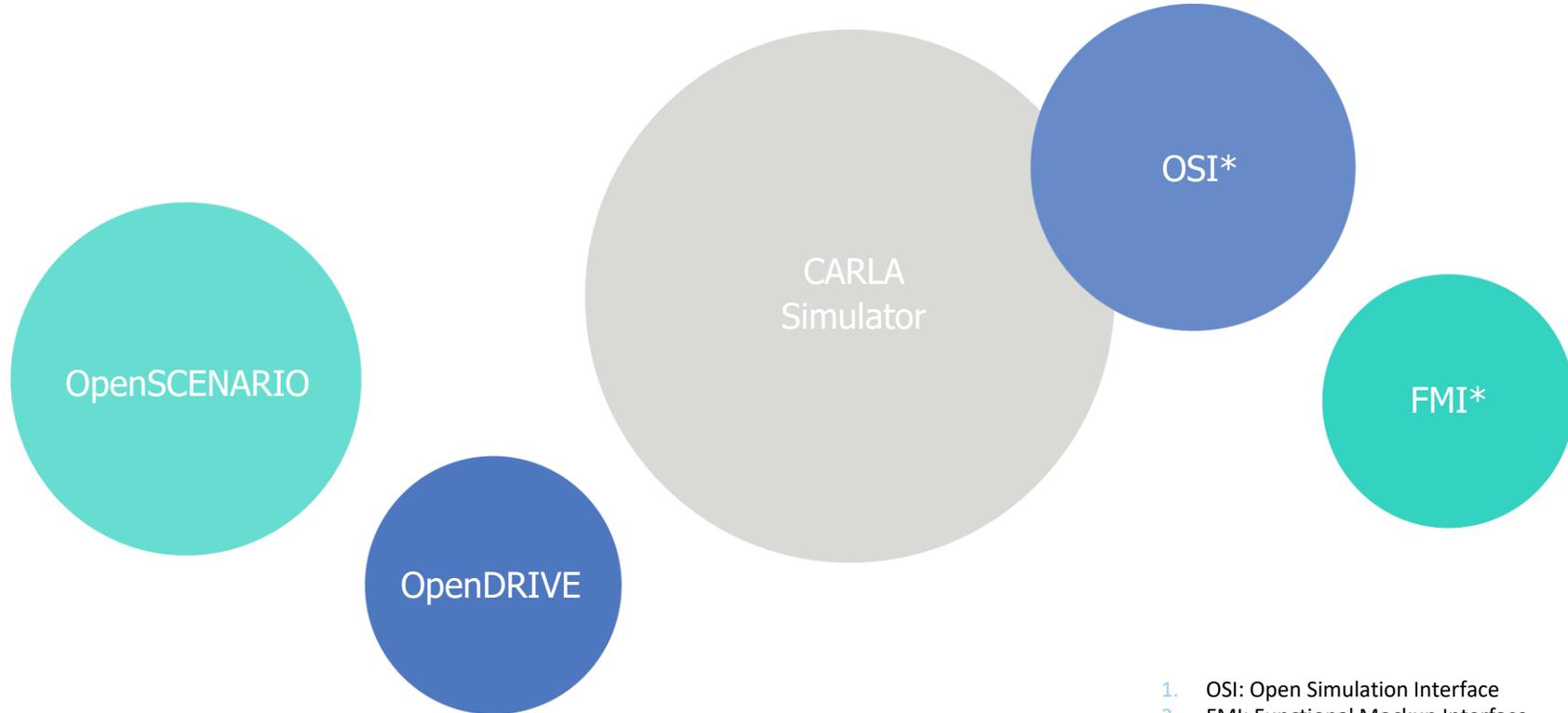
```
[10]: # print the resulting content of the xosc file
print_file_content(scenario)

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<OpenSCENARIO xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="OpenSCENARIO.xsd">
  <FileHeader description="Concrete Scenario at TFNDS with objects 1599154657697452 15">
    <CatalogLocations>
      <VehicleCatalog>
        <Directory path="."/>
      </VehicleCatalog>
    </CatalogLocations>
    <RoadNetwork>
      <LogicFile filepath="A39_TestfeldNiedersachsen_CremlingenLoop_offset_fixed.xodr">
    </RoadNetwork>
    <Entities>
      <ScenarioObject name="1599154657697452">
        <Category>
          <CategoryName "Vehicle">
            <CategoryDefinition "ConcreteScenarioGenerator">
```

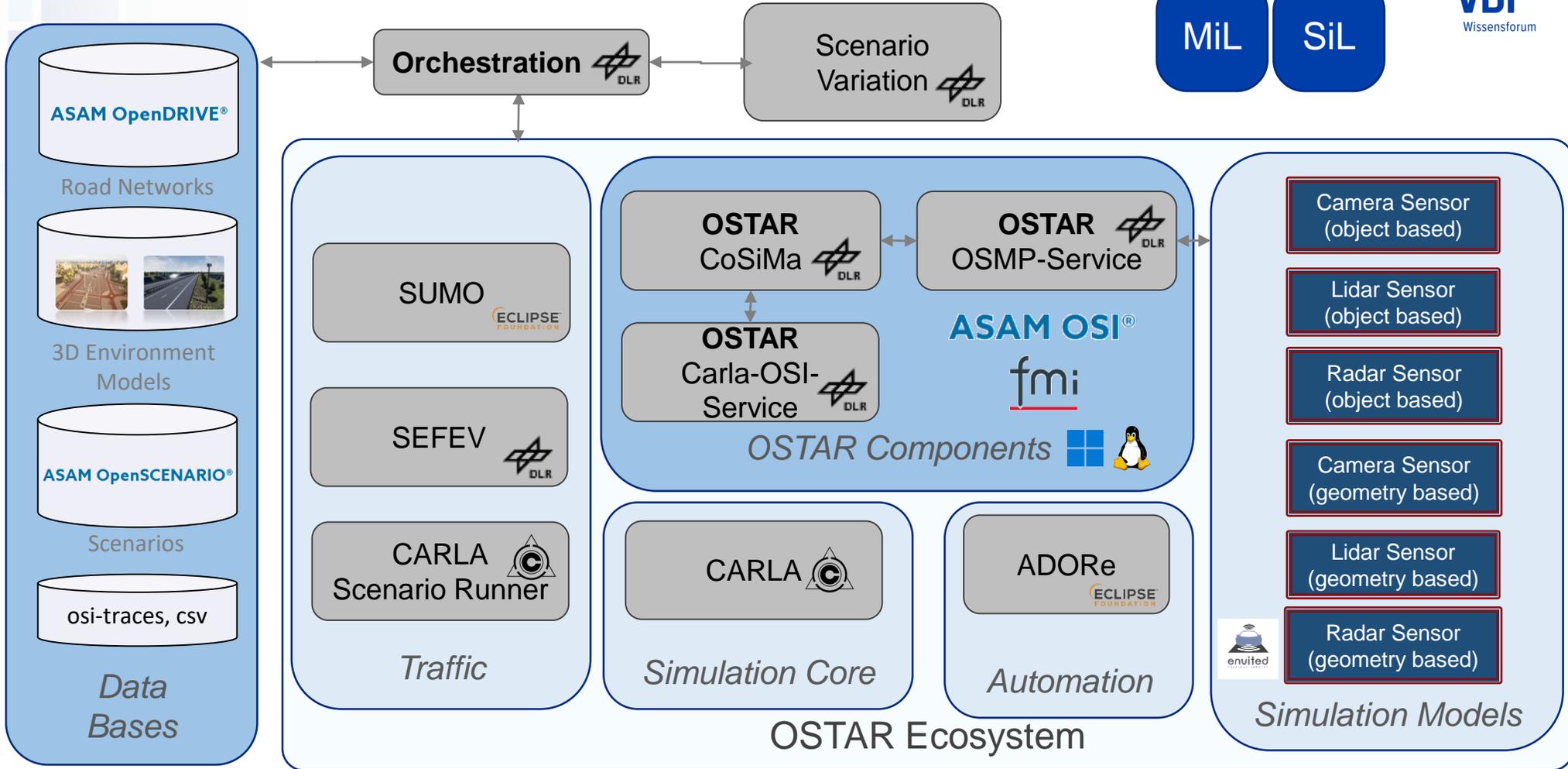
```
openscenario.py 88.25 KiB
1 """
2 Classes to create openscenario files from trajectory data.
3
4
5 Classes
6 -----
7
8 .. autosummary::
9     WeatherDatasetConverter
10    TrafficLightDatasetConverter
11    ScenarioGenerator
12    ConcreteScenarioGenerator
13    LogicalScenarioGenerator
14    DistributionGenerator
15    StochasticDistributionGenerator
16    DeterministicDistributionGenerator
17    AbstractScenarioGenerator
18    Smile
19    Esmini
20    Participant
21    FokrParticipant
22    Interaction
23    ScennarioDefinition
24    ConcreteScenarioDefinition
25    LogicalScenarioDefinition
26    AbstractScenarioDefinition
```

Open Simulation Toolchain for Automotive and Rail Research

OSTAR Standards and Core Simulation



1. OSI: Open Simulation Interface
2. FMI: Functional Mockup Interface



OSTAR

Simulation - Input

- └ Logische Beschreibung der Straße
 - OpenDRIVE
- └ 3D Modellierung
 - Karte mit Umgebung
 - Fahrzeuge
 - Virtuelle Sensorpositionen
- └ Szenario
 - OpenSCENARIO
 - OSI Traces
 - Sonstige Trajektorien



OSTAR

Carla Simulator

- 7 Open-Source Code Simulator
- 7 Autonomous Driving Systems
- 7 Basiert auf der Unreal Engine
- 7 Carla-OSI-Service
 - Erstellt OSI SensorView
 - Erstellt OSI GroundTruth
 - Führt OSI TrafficUpdate aus

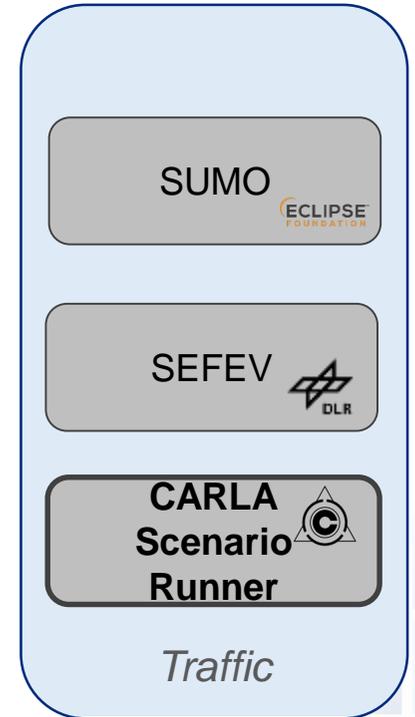


OSTAR

Umgebungsverkehr

- 7 Viele Fahrzeugvarianten
- 7 Bahn möglich

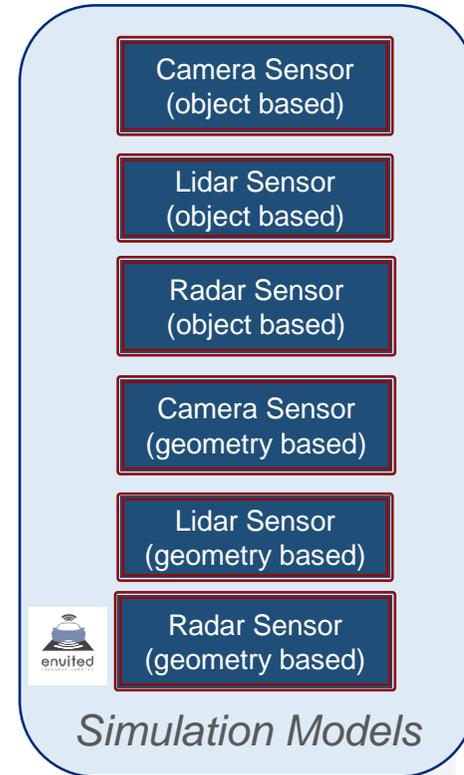
- 7 Interaktion mit dem Ego Fahrzeug
 - Agenten
 - Verkehr in jedem Zeitschritt per Trajektorie vorbestimmt
- 7 Zufälliger Verkehr durch Verkehrsflüsse
 - SUMO integriert



OSTAR

Sensormodelle

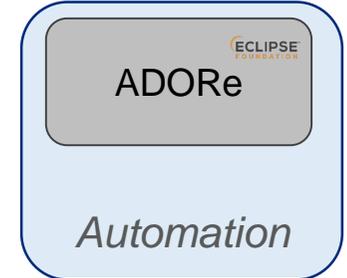
- 7 Geladen von OSTAR OSMP-Service
 - OSMP: OSI Sensor Model Packaging
- 7 Open Source Beispiele von [openMSL](#)
- 7 Integration von Sensormodellen in Carla hergestellt



OSTAR

Automatisierte Fahrfunktion

- Integration mittels OSMP Modell:
 - Oder FMU mit proprietären Inputs und Outputs
- Integration mittels OSI Proxy:
 - DLR ADORe Fahrfunktion
 - Eingesetzt in Projekten: SetLevel und VVM



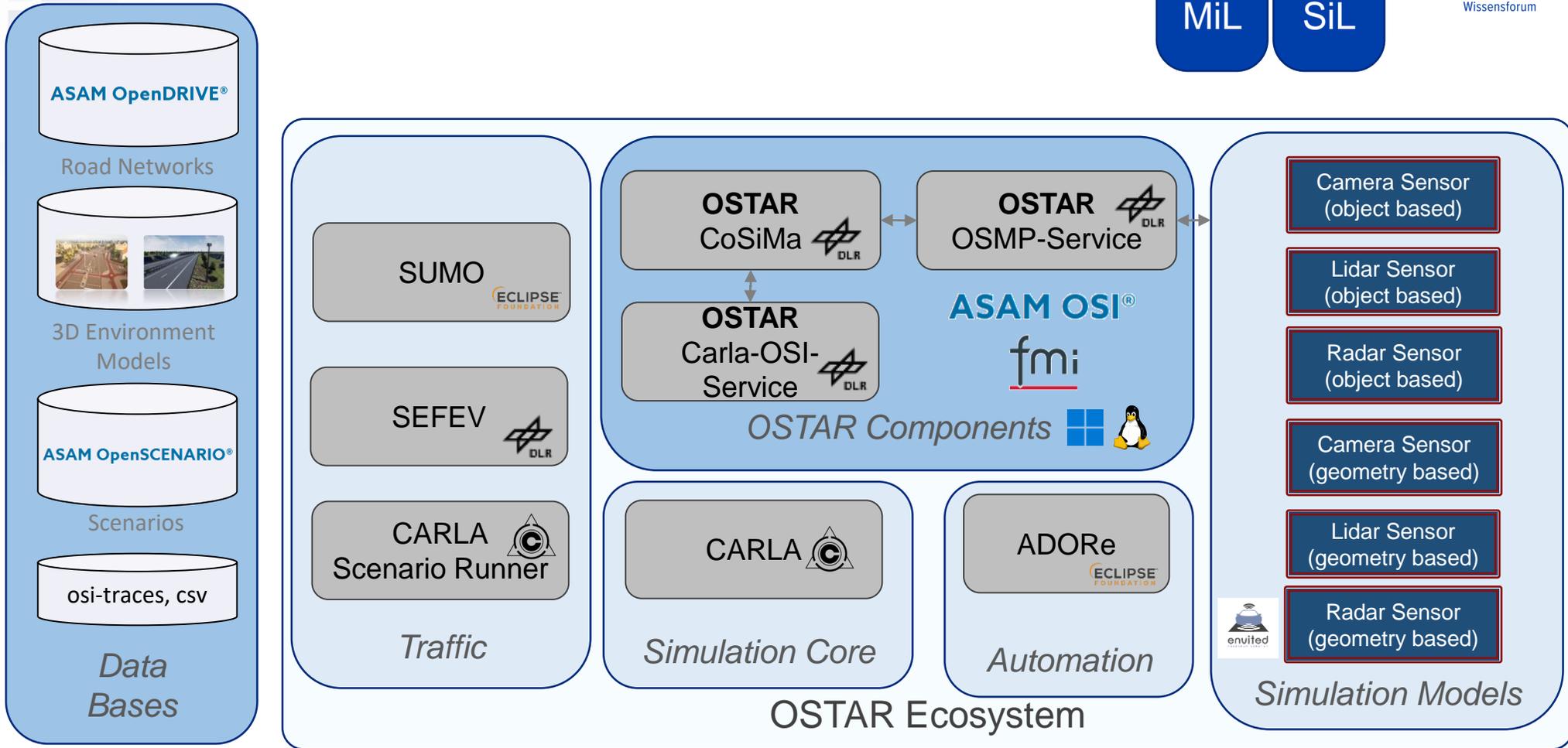
OSTAR

Co Simulation Manager

- └ Zentrale Verbindung zwischen allen Komponenten
 - Carla-OSI-Service
 - OSMP-Services
 - ADORe
 - SUMO
 - Carla Scenario Runner*

OSTAR
CoSiMa 

1. * angepasste Version



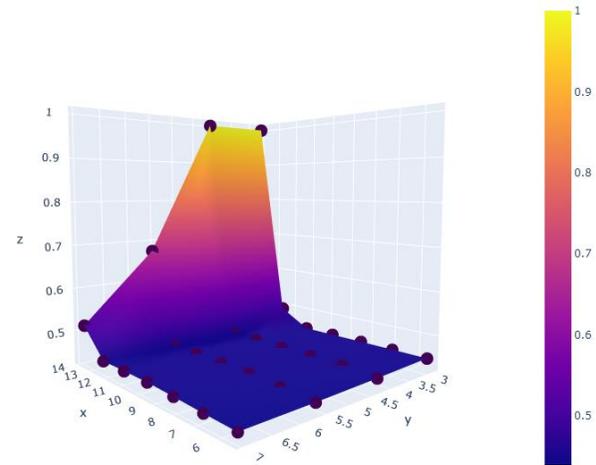
OSTAR

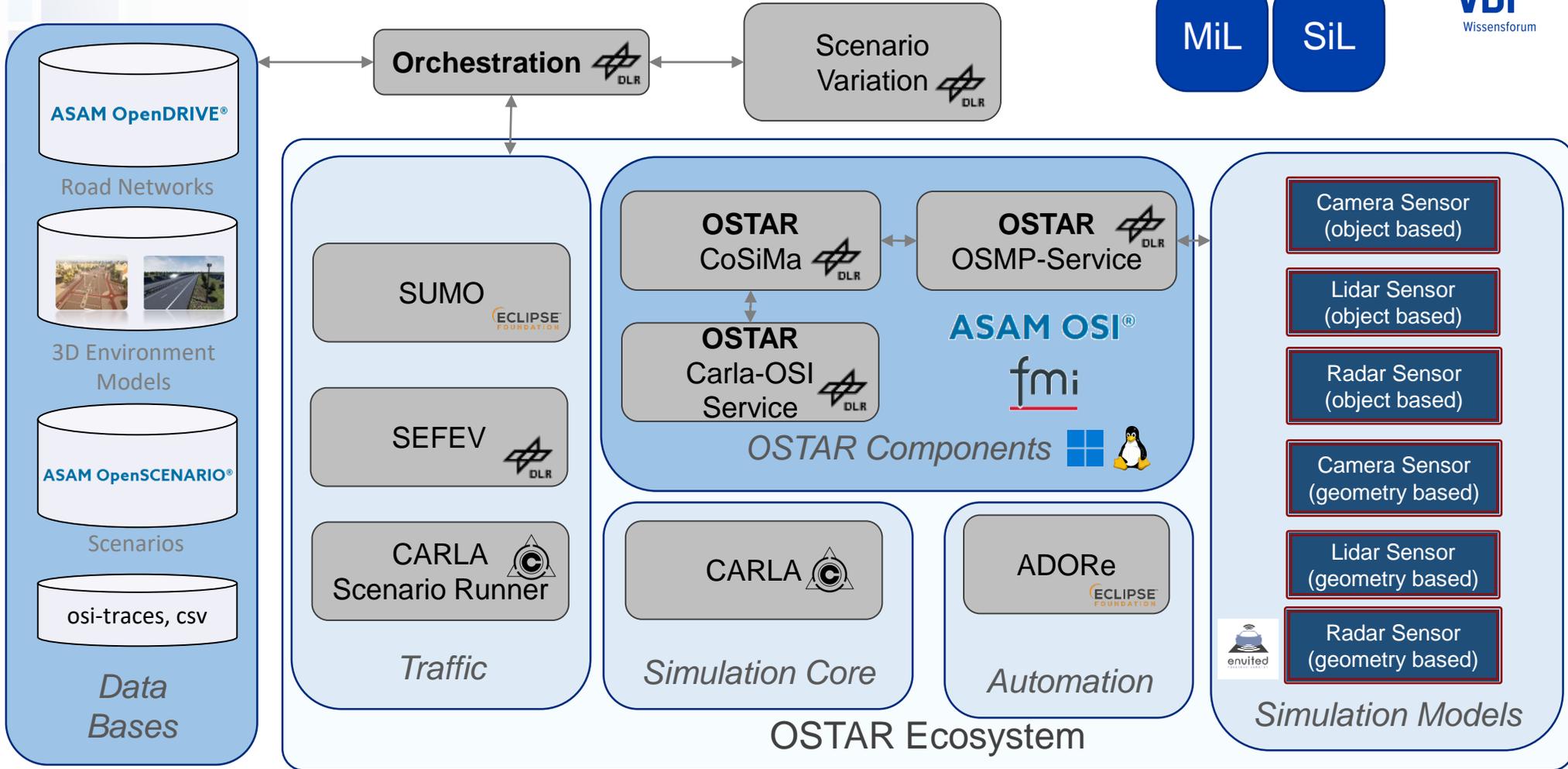
Simulationsorchestrierung und Automatisierung

- └ GPU Docker Container
 - Carla
 - OSTAR Komponenten
 - openMSL Sensormodelle
 - Demoszenarios
- └ Skalierbare automatisierte Simulationsausführung
- └ Variations- und Explorationsalgorithmen

Orchestration 

Scenario Variation 





Anwendungsfall 1 OSTAR

Trajektorien

- 7 Szenario
 - Realdaten Trajektorien
- 7 Fahrzeuggrößen
 - Erkannt von Infrastruktur
 - Angenäherte Modelle dargestellt



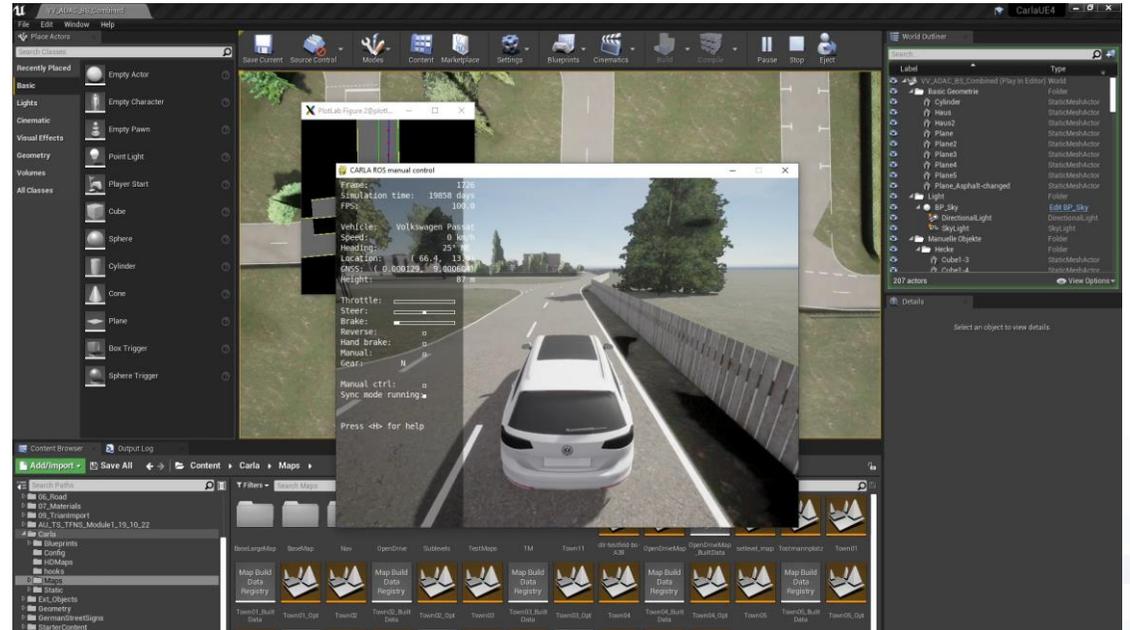
- 7 Generieren von OSI SensorView für virtuelle Sensoren

Sensormodell + Automation: Vergleich mit Realität

- 7 Szenario
 - Ego: Links abbiegen mit Automation Adore

- 7 Gegenverkehr
 - Anhand realer Trajektorie

- 7 Vergleiche
 - Echter Sensor – Virtueller Sensor
 - Echte Trajektorie – virtuelle Trajektorie



OSTAR

Open Source

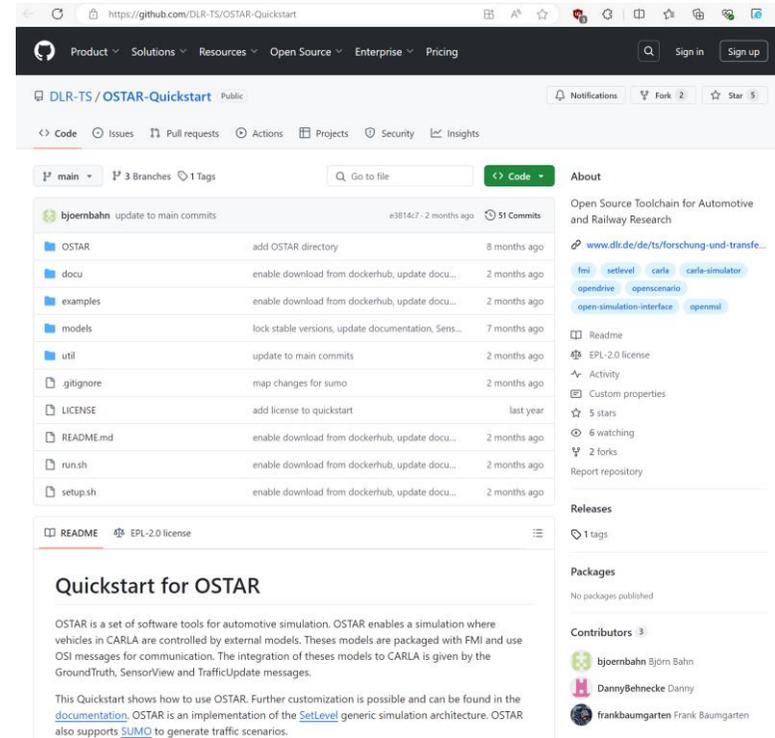
1 <https://github.com/DLR-TS/OSTAR-Quickstart>

- Lauffähiger Docker Container

1 Beispiele u.a.

- OpenDRIVE
- OpenSCENARIO
- SUMO
- OSMP - Proxy
- Automatischer 3D Kartenimport

1 OpenData: 24h-Datensatz AIM Forschungskreuzung <https://doi.org/10.5281/zenodo.11396371>



Zusammenfassung und Ausblick

- 7 Werkzeugkette zur Integration von Realdaten in simulationsbasiertes Testen aufgebaut
- 7 Anwendungsfall des Tests eines Sensormodells und einer Automation gezeigt

- 7 OpenSource:
 - Aktuell über GitHub
 - OSTAR Eclipse Veröffentlichung angestrebt
- 7 Integration einer Automationsfunktion: Eclipse Adore
 - Austausch durch eigene Steuerungsfunktion möglich

- 7 Ziele in EU-Projekt Synergies seit 07/24
 - OSTAR: Synthetische Daten- und Szenariengenerierung
 - Kontinuierliche dynamische Befüllung einer Szenariendatenbank

Vielen Dank!

↳ bjoern.bahn@dlr.de

↳ kay.gimm@dlr.de