

# Agentenbasierte Nachbildung des LKW-Verkehrs im deutschen Straßennetz

Dennis Fischer / Dennis.fischer@haw-hamburg.de



## Motivation

Täglich stehen Städte, Logistikunternehmen und Einsatzkräfte vor der Herausforderung, Fahrzeuge sicher, effizient und regelkonform durch komplexe Verkehrsnetze zu navigieren. Dafür ist ein tiefes Verständnis realer Rahmenbedingungen notwendig, um Entscheidungsprozesse realitätsnah und datenbasiert abbilden zu können.

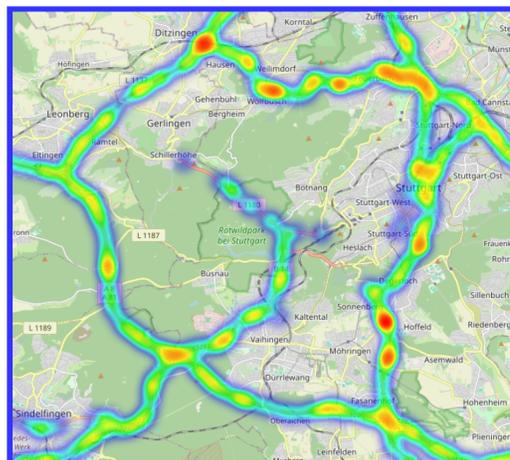
## Simulation

Das Projekt nutzt eine agentenbasierte Verkehrssimulation mit dem MARS-Framework zur LKW-Routenplanung auf Basis realer Infrastrukturdaten. Grundlage ist ein aus OpenStreetMap abgeleitetes Straßennetz, ergänzt durch Fahrzeugdaten des Bundesamts für Güterverkehr zur Abbildung verschiedener LKW-Typen. Jeder Agent trifft Entscheidungen auf Basis folgender Faktoren:

- **Fahrzeugtypen:** Größe, Gewicht, Länge, Breite, Maximalsteigung
- **Verkehrsnetz:** Einschränkungen aus OSM-Daten
- **Sperrungen:** Temporäre Blockaden, Umleitungen
- **Dynamische Ereignisse:** Baustellen, Unfälle, Wetter

So lassen sich regelkonforme Routen auch durch komplexe Verkehrsgebiete ermitteln.

HeatMap des LKW-Verkehrs aus dem Start-Landkreis Stuttgart



## Architektur & Methodik

Zur Entwicklung einer realitätsnahen, skalierbaren und flexiblen LKW-Verkehrssimulation wurden vielfältige datenbasierte, modellierende und technische Methoden kombiniert. Die folgenden Teilbereiche zeigen die zentralen Ansätze.

### LKW Entität

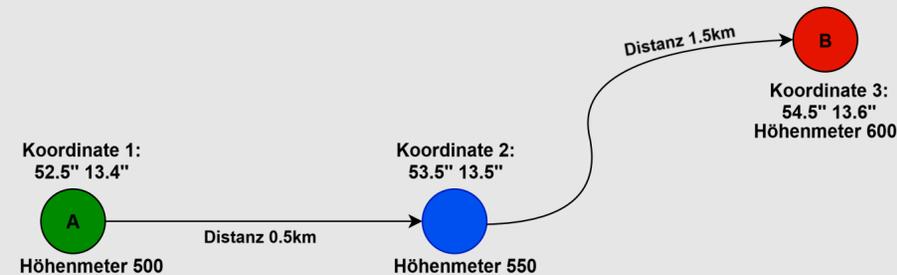
Die Simulation verwendet LKW-Klassen basierend auf realen Gewichtskategorien, inklusive Einschränkungen wie Höhe, Gewicht, Länge, Breite und Steigung, diese sind vollständig in die Routenplanung integriert. Ein zeitgesteuerter Scheduler verteilt die Fahrzeuge realitätsnah, sodass typische Verkehrsspitzen und Auslastungen abgebildet werden.

### Kartentopographie

Zusätzlich zu OSM-Daten wurden topographische Informationen generiert. Fehlende Steigungsdaten wurden durch Höhenabfragen über eine externe API ergänzt. Aus Höhenunterschieden benachbarter Punkte und deren Haversine-Distanz wurde die Steigung berechnet, so ließ sich für jedes Straßensegment eine verlässliche Steigungsinformation erzeugen.

Erweiterung der OSM-Daten durch Höhendaten & Steigung

Strecke	Höhenmeter	Distanz	Maximal Steigung
Koordinate 1 → Koordinate 2	550m-500m =50m	0.5km	10%
Koordinate 2 → Koordinate 3	600m-550m =50m	1.5km	3.33%
Straße A→B	600m-500m =100m	2km	Nicht 5% Sondern 10%



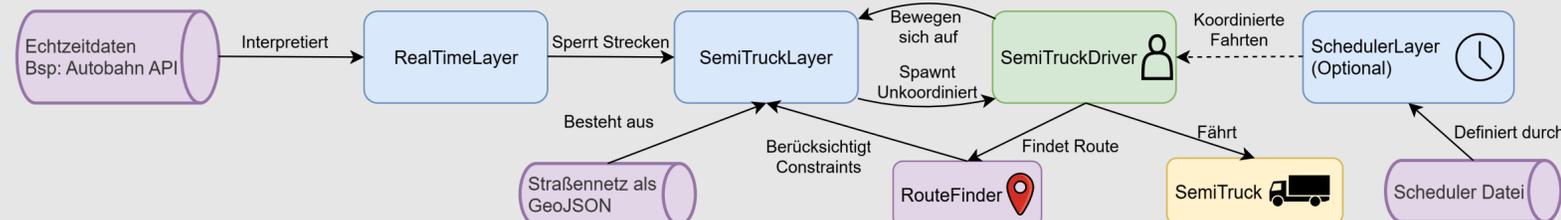
### Dynamische Streckensperrungen

Straßenabschnitte lassen sich zeitgesteuert sperren und automatisch wieder freigeben. Jeder LKW prüft mit 5km Lookahead, ob eine Sperrung bevorsteht, und berechnet bei Bedarf eine Umleitung. Sobald möglich, kehrt er zur ursprünglichen Route zurück, um Rechenaufwand zu sparen.

### Reale Verkehrsdaten

Basierend auf Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes wurden realitätsnahe LKW-Fahrten mit plausiblen Start-Ziel-Beziehungen modelliert, unter Berücksichtigung von An-/Abfahrtszahlen, Entfernungs- und Gewichtsklassen, Landkreisdaten sowie wochentagsabhängiger Verkehrslast.

Architektur des Multiagentensystems



### Technische Umsetzung & Skalierung

Die Simulation läuft in Docker-Containern für flexible, wiederholbare Ausführung und nutzt zur Skalierung das HAW-ICC auf einem Kubernetes-Cluster. So lassen sich großflächige Szenarien effizient parallelisieren. Die Architektur ermöglicht dynamische Ressourcennutzung und automatisierte Abläufe, ideal für umfangreiche Simulationen und Erweiterungen.

### Tests & Validierung

Zur Qualitätssicherung wurden umfassende Tests durchgeführt: Das Straßennetz auf vollständige Konnektivität geprüft, die Routing-Funktionalität mit tausenden Zufallsrouten getestet und alle Fahr- und Routenbeschränkungen manuell validiert. So wird die Stabilität und Zuverlässigkeit der Simulation im realitätsnahen Einsatz sichergestellt.

## Weitere Schritte

- **Echtzeitdatenintegration:** Verkehrsdaten der Autobahn-API sollen integriert werden. Ein LLM oder reguläre Ausdrücke (Regex) wandeln die uneinheitlich strukturierten Antworten automatisiert in ein nutzbares Format um.
- **Datenbankanbindung:** Zur Verarbeitung großer Datenmengen bei hoher Last wird die Simulation an eine Datenbank angebunden, um Ergebnisse dauerhaft und strukturiert zu speichern.
- **Routen-Lookuptabellen:** Häufig genutzte Strecken könnten als vorberechnete Routen gespeichert werden, um die Simulation effizienter zu machen und Redundanzen zu vermeiden.
- **Kapazitätsmodell:** Die Streckenkapazität soll dynamisch aus Fahrzeuglänge und Mindestabstand berechnet werden, um Staus und Engpässe realitätsnah abzubilden.

## Referenzen

[1] Thomas Clemen et al. Multi-agent systems and digital twins for smarter cities. 2021. <https://doi.org/10.1145/3437959.3459254>.

[2] Kraftfahrt-Bundesamt. Verkehr deutscher lastkraftfahrzeuge. <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>, June 2024.

[3] OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>, 2017.

[4] Jun Tajima and Keisuke Suzuki. Multi-agent traffic simulation and road safety assessment: Current status and future work. May 2025.

