

# Vernetzte Fahrzeuge für effizienten und umweltsensitiven Verkehrsfluss

Mit der zunehmenden Verbreitung vernetzter Fahrzeuge ergeben sich neue Möglichkeiten, die von diesen Fahrzeugen erzeugten Daten zu verarbeiten und zu nutzen. Diese Nutzung kann bspw. der Optimierung des Verkehrsflusses oder dem Training von KI-Systemen dienen. Auch im Projekt AIAMO werden die Daten aus vernetzten Fahrzeugen, u. a. in Form von Floating Car Data (FCD) als mobile Sensorräume genutzt, um ein umweltsensitives Verkehrsmanagement zu ermöglichen.

## 1 Ist-Analyse: Welche Daten sind vorhanden, wie werden diese genutzt?

Vernetzte Fahrzeuge eröffnen nicht nur neue Möglichkeiten für die Verkehrssteuerung, es entstehen auch neue Anforderungen an die Erfassung, Verarbeitung und Nutzung der generierten Daten. Im Folgenden wird dargestellt, welche Daten aktuell verfügbar sind, welche Informationen sie liefern und wie diese im Projekt AIAMO genutzt werden können, um Verkehrsflüsse effizienter und umweltsensitiver zu gestalten.

Als FCD werden Daten bezeichnet, die in Fahrzeugen durch Sensoren gemessen und an das Backend von Original Equipment Manufacturer (OEM) – also bspw. Fahrzeughersteller – übertragen werden. Diese Rohdaten bilden Trajektorien einzelner Fahrzeuge und enthalten Informationen wie Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung (Heading). Darüber hinaus können weitere Datensätze verfügbar sein, etwa zu Kraftstoffverbrauch, Scheibenwischernutzung oder anderen fahrzeuginternen Sensoren, die sich besonders für Analysen im Rahmen eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements eignen.

Untersucht wurde zu Beginn von AIAMO, welche Daten aktuell zugänglich sind und in welcher Form diese potenziell genutzt werden können. Entscheidende Faktoren sind hierbei sowohl der Inhalt der Daten als auch die Latenzzeit zwischen der Messung im Fahrzeug und der Übermittlung über die jeweiligen Schnittstellen.

Bevor diese Daten weiterverarbeitet werden können, durchlaufen sie mehrere Verarbeitungsschritte, darunter Harmonisierung, Plausibilitätsprüfungen und Maßnahmen zum Datenschutz (z. B.

Anti-Fingerprinting). Aus den verarbeiteten Datensätzen lassen sich anschließend Aussagen über Reisezeiten, durchschnittliche Geschwindigkeiten, Störungen im System, Anfahr- und Bremsverhalten sowie weitere Aspekte ableiten.

Aus dem Anfahr- und Bremsverhalten können sowohl Rückschlüsse über das Fahrverhalten als auch auf die partikuläre Emission (Feinstaub PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>) gezogen werden, die durch häufige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge entsteht. Darüber hinaus können auffällige Häufungen abrupter Bremsungen an bestimmten Orten Hinweise auf potenzielle Gefahrenstellen geben – etwa auf Stauen oder Hindernisse auf der Fahrbahn.

Anhand von Reisezeiten auf Streckenabschnitten in Kombination mit der Länge der jeweiligen Streckenabschnitte und den Durchschnittsgeschwindigkeiten lassen sich außerdem Nadelöhre in einem Verkehrsnetz identifizieren. Dabei können bspw. folgende Fragen beantwortet werden: Wo wird oft angehalten? An welchen Knotenpunkten entstehen häufig lange Wartezeiten? Welche Streckenabschnitte und welche Ampeln sind besonders störanfällig?

In diesem Zusammenhang ist der Vorteil von FCD ersichtlich: Das Fahrzeug liefert als mobile Sensorstation, die sich ungebunden durch ein Verkehrsnetz bewegt und nicht statisch ist, kontinuierlich aktuelle Daten, die zu Verkehrsanalysen interpretiert werden und so detaillierte Aussagen über bspw. Verkehrsflüsse ermöglichen.

## 2 Kurz- und mittelfristige Analysen: Was wird in AIAMO mit FCD umgesetzt?

Wie bereits in vorherigen Artikeln vorgestellt entsteht im Projekt AIAMO eine Integrationszone (IZ), die als Schnittstelle zur Weiterleitung von Daten an verschiedene Module und Projektpartner fungiert. FCD werden im Projekt erhoben, verarbeitet und in die IZ integriert. Von dort aus stehen sie unterschiedlichen Partnern zur Verfügung, bspw. für den Digitalen Zwilling (DZ) Umwelt oder den DZ Verkehr.

Darüber hinaus können FCD auch für Kalibrierungen, Validierungen oder zum Training von KI-Modellen genutzt werden. Im Folgenden wird dargestellt, wie FCD sowohl für kurzfristige als auch für mittelfristige Analysen im Projekt eingesetzt werden und welches Potenzial in ihrer Nutzung liegt.

Durch den Projektpartner Theis Consult GmbH werden Live-Daten und Tripdaten über eine Datenpipeline verarbeitet und an die IZ angebunden. Analysen werden mit aktuellen Echtzeit- wie auch mit historischen Daten durchgeführt und die Ergebnisse nutzerfreundlich auf einem Dashboard angezeigt. Die Nutzer haben ebenfalls die Möglichkeit, interaktiv und selbstständig Analysen durchzuführen.

### ■ Verfasser



**Niklas Nieswand**

Projekt ingenieur  
Theis Consult GmbH



**Dominik Salles**

Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter  
FKFS – Forschungsinstitut  
für Kraftfahrwesen und  
Fahrzeugmotoren  
Stuttgart

ITS Germany e. V.  
Projektbüro AIAMO  
D-52064 Aachen  
[www.aiamo.de](http://www.aiamo.de)

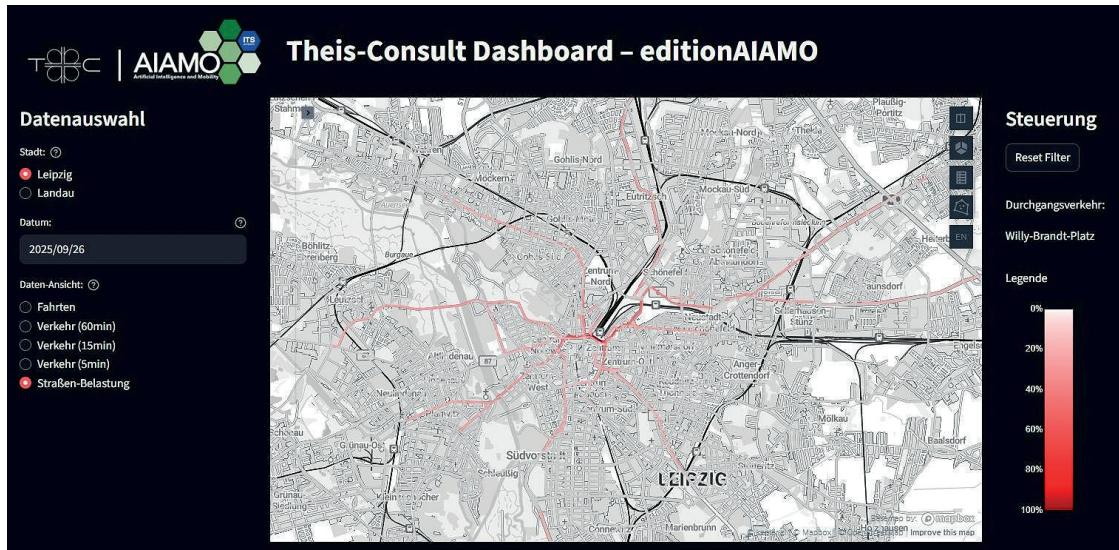


Bild 1: Verkehrsspinne für einen Hotspot in Leipzig

## 2.1 Kurzfristige Analysen

### 2.1.1 Live-Analysen

In AIAMO werden mithilfe von FCD Live-Verkehrslagen ermittelt und analysiert. Dabei gilt: Je geringer die Latenzzeit, desto höher sind Aussagekraft und Qualität der Daten. Auf Basis einer umfangreichen Datengrundlage können standardmäßig verkehrliche Kennwerte wie Reisezeit, Durchschnittsgeschwindigkeit und weitere Indikatoren für jeden einzelnen Streckenabschnitt des Untersuchungsraums berechnet werden.

Durch den Vergleich der Live-FCD mit diesen Referenzwerten lassen sich sowohl segmentbasierte als auch gesamtflächige Aussagen über den Verkehrsfluss treffen, bspw. in Bezug auf den Level of Service (LOS). Zusätzlich können die Ergebnisse in einer farbcodierten Kartenansicht dargestellt werden, wie sie bereits heute in verschiedenen Systemen und Anwendungen auf dem Markt verfügbar ist.

Um die Rückverfolgbarkeit einzelner Nutzer anhand der Daten auf ein Minimum zu reduzieren, werden die Datensätze vor der Weiterleitung an die IZ mit einem KI-basierten Anti-Fingerprinting-Verfahren versehen. Dabei werden einzelne FCD-Punkte anhand definierter Kennwerte gefiltert und pseudonymisierte Identifikatoren verändert, um die Nachverfolgbarkeit einzelner Fahrzeuge oder Personen zu verhindern. Gleichzeitig wird sichergestellt, dass die Daten weiterhin für analytische Zwecke nutzbar bleiben, während die Datensicherheit signifikant erhöht wird.

In AIAMO wird darüber hinaus untersucht, welche Rahmenbedingungen erforderlich sind, um belastbare Live-Prognosen zu ermöglichen. Grundlage hierfür bilden historische Routendaten in Kombination mit aktuellen Fahrzeugdaten, sodass sich sowohl kurzfristige Verkehrsvorhersagen als auch adaptive Verkehrssteuerungen ableiten lassen.

### 2.1.2 Erstellung von Emissionskarten

Im Projekt AIAMO werden FCD ebenfalls genutzt, um im DZ Umwelt u. a. straßenabschnittsbezogene Emissionskarten zu erstellen. Der DZ Umwelt setzt sich aus dem Air Quality Dispersion Model (AQDM) und dem Environmental Sensitive Traffic Management (ESTM) zusammen und wurde durch die Robert Bosch GmbH entwickelt.

Aus den übermittelten FCD werden das Anfahr- und Bremsverhalten sowie Verkehrsstärken analysiert. In Kombination mit weiteren Datenquellen, die über die IZ bereitgestellt werden (bspw. Messwerte stationärer Sensoren im Straßenraum), können daraus lokale Schad-

stoffkonzentrationen und straßenbezogene Emissionen berechnet werden. Diese Emissionskarten dienen der Identifikation von Belastungsschwerpunkten im Verkehrsnetz und unterstützen die Entwicklung umweltsensitiver Steuerungsstrategien.

## 2.2 Mittelfristige Analysen

### 2.2.1 Verkehrsspinne

In Leipzig wurden durch die Stadt und das AIAMO-Konsortium Hotspots identifiziert, an denen voraussichtlich bis 2030 die zulässigen Feinstaubwerte überschritten werden. Mithilfe des von Theis Consult entwickelten TC-Dashboards editionAIAMO können sowohl FCD als auch die daraus abgeleiteten Analyseergebnisse visualisiert werden.

So wird in einer sogenannten Verkehrsspinne visualisiert, wo Verkehrsströme entstehen und enden sowie welche Routen die identifizierten Hotspots passieren. Die Verkehrsspinne ermöglicht es, den Verkehr großräumig gezielt zu analysieren und zu lenken, um die Hotspots zu entlasten, sofern alternative Routen oder Verkehrslenkungsmaßnahmen verfügbar sind. Bild 1 zeigt eine exemplarische Verkehrsspinne für einen Hotspot in Leipzig.

Unter der Voraussetzung einer homogenen, ausreichend vorhandenen Datenqualität kann anschließend untersucht werden, ob großräumige Verkehrslenkungsmaßnahmen sinnvoll sind, ob Abbiegebeschränkungen eingerichtet werden müssen oder ob vorhandene Stauflächen im System als Puffer- oder Vorstauflächen aus Emissionssicht genutzt werden können. In Kombination mit Verkehrssimulationen und dem DZ Umwelt lassen sich künftig Hochrechnungen durchführen, um die optimale Maßnahme zur Entlastung der Hotspots zu identifizieren.

### 2.2.2 Nutzung in der Verkehrssimulation

Verkehrssimulationen werden häufig eingesetzt, um den Einfluss von Infrastrukturänderungen oder neuen intelligenten Verkehrssystemen zu bewerten. Im Projekt AIAMO wird hierfür das Softwarepaket Simulation of Urban Mobility (SUMO) (z. B. Lopez et al., 2018) verwendet.

Um die reale Verkehrswelt möglichst genau abzubilden, müssen unterschiedliche Datenquellen integriert werden: Straßennetze, Höheninformationen, Verkehrszählungen, Fahrpläne des ÖPNV, Lichtsignalanlagen und die Verkehrsnachfrage. Die Verkehrsnachfrage umfasst alle Wege, die aufgrund privater oder geschäftlicher Be-

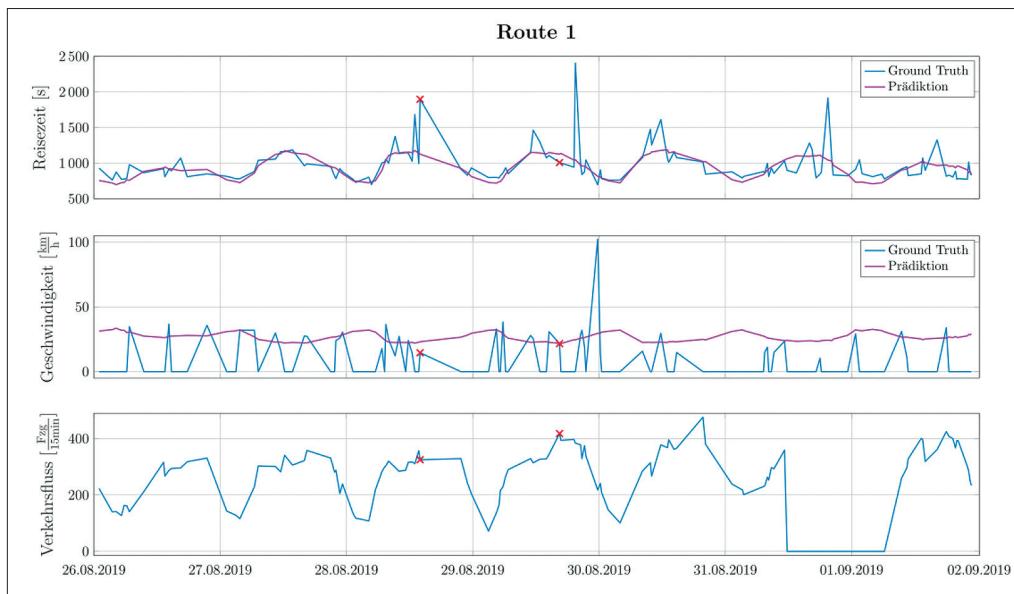


Bild 2: Beispielhafte Prädiktion der Reisezeit

dürfnisse zurückgelegt werden. Diese Wege werden in einer Quelle-Ziel-Matrix zusammengefasst und im Rahmen der Simulation auf die jeweiligen Verkehrsmittel verteilt.

FCD unterstützen diesen Prozess, da sie Informationen darüber liefern, von welchen Start- zu welchen Zielpunkten Fahrzeuge unterwegs sind. Diese Daten werden zur Kalibrierung der Simulation genutzt. Zusätzlich dienen aufbereitete Informationen wie Reisezeiten und Häufigkeiten von Stopps zur Validierung, sodass sichergestellt werden kann, dass die Simulation möglichst nah an der Realität liegt und die Ergebnisse eine hohe Genauigkeit besitzen.

### 2.3 KI-basierte Datengenerierung und Verkehrsprognosen

Am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) werden zukunftsweisende Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt. Im Projekt AIAMO liegt der Schwerpunkt insbesondere auf der Generierung und Prädiktion verkehrlicher Größen, wobei beide Ansätze historische Daten als Grundlage nutzen.

#### 2.3.1 Generierung neuer Daten

Datenquellen sind meist nur spärlich verfügbar. Bspw. liefert nur eine kleine Teilmenge aller Fahrzeuge Daten, ebenso stehen Fahrzeugzählungen nur auf wenigen Straßenzügen zur Verfügung. Methoden der KI können helfen, ein ganzheitliches Bild zu erzeugen. Ausgehend vom Anwendungsfall wurden zwei Verfahren entwickelt, um aus historischen Daten neue Informationen zu generieren – dieser Prozess wird auch als Augmentierung bezeichnet.

Beim ersten Verfahren wird mithilfe von FCD ein Generatives Gengenspielnetzwerk (GAN, Generative Adversarial Network) trainiert.

Dieses Netzwerk erzeugt neue Datensätze, die möglichst nahe an den Trainingsdaten liegen. In AIAMO werden durch Eingaben von Straßenattributen (z. B. Spuranzahl, Tempolimit) und FCD neue Geschwindigkeitstrajektorien generiert. Diese können sowohl die Datenlage verbessern als auch den Einfluss verschiedener Straßenattribute auf die Geschwindigkeit analysieren. Diese Systeme sind vielversprechend für die Zukunft, befinden sich aktuell aber noch in der Entwicklung.

Das zweite Verfahren ist bereits einsatzfähig. Anstatt einzelne Trajektorien zu generieren, zielt es darauf ab, gemittelte verkehrliche Größen wie Reisezeit, Immisionen oder Verkehrsfluss für

jeden Straßenzug vorherzusagen. Das ermöglicht sowohl Zukunftsprognosen als auch die Ermittlung realitätsnaher Werte für Straßen ohne Messdaten. Grundlage ist ein graphenbasiertes neuronales Netz (GNN), das ähnlich wie ein Straßennetz aus Knoten und Kanten aufgebaut ist. Beim Training wird versucht, die Zielgrößen – z. B. Reisezeit auf Straßenzug X – möglichst genau abzubilden, abhängig von Faktoren wie Verkehrsfluss, Tageszeit und Straßentyp.

#### 2.3.2 Prädiktion

Ein weiteres neuronales Netz, ein Long-Short-Term-Memory (LSTM)-Modell, ermöglicht es, die durch das GNN ermittelten Werte in die Zukunft zu prognostizieren. So können bspw. Fragen beantwortet werden: Wie wird die Reisezeit in einer Stunde sein? Wie gestaltet sich der Verkehr morgen früh auf dem Arbeitsweg? Auf diese Weise können Verkehrsteilnehmer ihre Routen besser planen, und Verkehrsmanager frühzeitig Eingriffe in Lichtsignal- oder Beeinflussungsanlagen vornehmen, bevor Staus entstehen.

## 3 Ausblick

Derzeit gestaltet sich die Beschaffung von FCD, inklusive sämtlicher Sensordaten, als herausfordernd, da die OEM ihre eigenen Ökosysteme besitzen und nur eingeschränkt Daten zur Verfügung stellen. Um ein ganzheitliches, umweltsensitives Mobilitätsmanagement zu ermöglichen, ist es wichtig, dass solche Daten vollständig und mit geringer Latenzzeit erschlossen werden.

Neben der Verbesserung des innerstädtischen Verkehrsflusses kann FCD auch zur Erhöhung der Kapazität auf Autobahnen beitragen. Bspw. kann bei vermehrtem Auftreten starker Bremsungen das Tempolimit über Wechselverkehrszeichen reduziert werden, um den Verkehr wieder zu verflüssigen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages