

# Digitale Zwillinge ermöglichen ein umweltsensitives Mobilitätsmanagement

Städte und Kommunen stehen vor enormen Herausforderungen: Sie streben Klimaneutralität an, müssen strengere Luftschadstoffgrenzwerte einhalten und gleichzeitig den wachsenden Mobilitätsbedarf mit dem Wunsch nach mehr Lebensqualität in Einklang bringen. Verkehrssteuernde Eingriffe erfolgen eher planerisch als operativ und wirken so nicht zeitnah auf permanent wechselnde Verkehrs- und Umweltsituationen. Echtzeitfähige digitale Zwillinge bieten hier neue Möglichkeiten: Sie erfassen aktuelle Bedingungen, analysieren potenzielle Steuerungsmaßnahmen, bewerten deren Auswirkungen auf das Gesamtnetz und leiten daraus kurzfristige, zielgerichtete Handlungsempfehlungen ab. Das vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr geförderte Forschungsprojekt AIAMO (Artificial Intelligence And MObility) kombiniert diesen Ansatz mit Künstlicher Intelligenz (KI), um die Mobilität in deutschen Städten und Kommunen grundlegend neu zu denken. Ziel ist der Aufbau eines digitalen Abbilds von Verkehr und Umwelt – als Grundlage für ein nachhaltiges, datenbasiertes Mobilitätsmanagement.

Bislang beruhen Eingriffe ins Verkehrsgeschehen meist auf einer begrenzten Auswahl festgelegter Steuerungsstrategien für Lichtsignalanlagen (LSA). Diese Programme basieren auf Planungsannahmen, Prognosen und punktuellen Verkehrszählungen. Der flächendeckende Einsatz dynamischer Steuerungsverfahren ist bislang kosten- und zeitintensiv und beschränkt sich auf wenige Verkehrskorridore – eine netzweite Wirkung bleibt aus, Umweltaspekte bleiben meist unberücksichtigt.

Gleichzeitig wird der urbane Verkehr zunehmend von kurzfristigen, zeitlich und räumlich begrenzten Ereignissen geprägt – etwa Baustellen, Großveranstaltungen oder plötzliche Sperrungen. Solche Störungen lassen sich mit den herkömmlichen Steuerungsprogrammen kaum flexibel abbilden. Hinzu kommt der wachsende Handlungsdruck durch strengere Umweltvorgaben. Reaktionszeiten auf Störungen müssen daher deutlich kürzer werden. Würden drohende Grenzwertüberschreitungen frühzeitig erkannt und steuernd adressiert, ließen sich Verkehr und Umwelt gleichermaßen entlasten. Ein intelligentes, adaptives Verkehrsmanagement ist damit Schlüssel zu zukunftsfähigen Städten und Kommunen – und digitale Zwillinge sind wichtige Bausteine dafür.

## Digitaler Zwilling – digitales Abbild einer Stadt

Die Auswirkungen verkehrssteuernder Maßnahmen lassen sich derzeit kaum in Echtzeit, mit vertretbarem Aufwand und ausreichender Genauigkeit analysieren – insbesondere dann, wenn es um die komplexe Wechselwirkung zwischen Verkehr und Umwelt geht. Dafür müssen Daten oft aufwendig recherchiert, Nutzungsrechte geklärt, Informationen geprüft und verknüpft sowie Simulationen erstellt und kalibriert werden. Erst dann lassen sich Szenarien analysieren. Dieser Prozess ist zeit- und kostenintensiv – und wenig flexibel gegenüber sich ändernden Rahmenbedingungen.

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines komplexen Systems, das kontinuierlich mit Echtzeitdaten aus der realen Welt gespeist wird. Dazu zählen nicht nur physische Objekte, sondern auch Abläufe, Prozesse, Beziehungen und Interaktionen innerhalb des Gesamtsystems. Digitale Zwillinge sind damit mehr als reine Datensammlungen: Sie bestehen aus detaillierten Modellen, Simulationen, Algorithmen sowie funktionalen Diensten. Reife Systeme erlauben nicht nur die Analyse, sondern auch Eingriffe in die Realität – inklusive der Bewertung und Anpassung der eingeleiteten Maßnahmen. Im Forschungsprojekt AIAMO entsteht exemplarisch

### ■ Verfasser



**Carsten Dalaff**

Projektkoordination  
DLR Deutsches Zentrum für  
Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Verkehrs-  
systemtechnik



**Alexander Sohr**

Gruppenleitung Mobilitäts-  
und Verkehrsmanagement  
DLR Deutsches Zentrum für  
Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Verkehrssystemtechnik

ITS Germany e.V.  
Projektbüro AIAMO  
D-52064 Aachen  
www.aiamo.de

für die Pilotregion Leipzig ein solcher digitaler Zwilling – mit dem Fokus auf Verkehr und Umwelt.

## Ein digitaler Zwilling – oder zwei?

Die Verbindung von Verkehr und Umwelt in einem einzigen digitalen Modell ist hochkomplex. Daher setzt AIAMO zunächst auf zwei spezialisierte digitale Zwillinge: einen für den Verkehrsbereich, einen für die Umwelt. Diese Trennung erlaubt präzisere Modellierung und differenzierte Analysen. Je nach Fragestellung, können sie einzeln oder gemeinsam genutzt werden. Für letzteres werden die beiden Digitalen Zwillinge miteinander gekoppelt.

Der digitale Zwilling Umwelt verarbeitet Luftqualitätsdaten aus dem Umweltdatenmessnetz der Region Leipzig, ergänzt durch aktuelle Wetterdaten, Geländetopologien, Bebauungsinformationen und weitere Einflussgrößen. Auf dieser Basis kann mithilfe eines Ausbreitungsmodells die Luftbelastung räumlich differenziert prognostiziert werden.

Der digitale Zwilling Verkehr bildet das regionale Straßennetz ab, erfasst Verkehrsmengen und -situationen, und ergänzt Lücken in der Datenlage durch Simulation. Gemeinsam ermöglichen beide Zwillinge die Analyse der Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Luftqualität – etwa bei erhöhtem Verkehrsaufkommen durch motorisierten Individualverkehr (MIV).

Dieser kombinierte Ansatz schafft die Grundlage für ein umweltsensitives Mobilitätsmanagement: Auf Basis aktueller Daten lassen sich Maßnahmen simulieren, bewerten und optimieren, bevor sie im realen Verkehrsgeschehen umgesetzt werden, etwa durch eine intelligente Steuerung von LSA an besonders belasteten Knotenpunkten und Korridoren.

Der digitale Zwilling Verkehr und Umwelt ist fester Bestandteil der Prozesskette. Er setzt auf dem AIAMOnexus auf, der die Integrationszone sowie leistungsfähige AI Foundation Models umfasst. Darüber werden die erforderlichen Daten kuratiert, qualitätsgesichert und diversifiziert sowie zur Nutzung bereitgestellt und im digitalen Zwilling zu einem digitalen Abbild des Verkehrs und der Umwelt zusammengeführt. Dort erfolgen das Monitoring, die Analyse des Ist-Zustandes sowie die KI-gestützte Ableitung und Bewertung von Handlungsempfehlungen. So entsteht ein durchgängiger, intelligenter und skalierbarer Prozess, der eine effiziente, nahtlose und individualisierte Mobilität unterstützt – mit dem digitalen Zwilling als zentralem Baustein.

### Funktionalitäten des digitalen Zwillings Verkehr und Umwelt

Der digitale Zwilling Verkehr und Umwelt bildet nicht nur den aktuellen Zustand ab, sondern ermöglicht auch die Simulation künftiger Szenarien sowie die Entwicklung und Bewertung gezielter Steuerungsmaßnahmen. Die folgende Funktionsübersicht zeigt, wie umfassend der digitale Zwilling aufgestellt ist:

- Darstellung des Umweltdatenmessnetzes
- Monitoring der aktuellen Emissions- und Immissionslage
- Erfassung der aktuellen Verkehrssituation in der Pilotregion
- Kurzfristige Verkehrsprognose zur Erkennung dynamischer Veränderungen
- KI-basierte Hotspot-Analyse
- Wirkungsanalyse verkehrssteuernder Maßnahmen
- Identifikation und Überwachung von Problembereichen mit automatisierter Generierung von Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen

Dank der im AIAMOnexus bereitgestellten, konsolidierten und harmonisierten Datenbasis, die im digitalen Zwilling weiter verfeinert wird, lassen sich moderne Analysemethoden aus Statistik, maschinellem Lernen und KI gezielt einsetzen. Sie ermöglichen belastbare Prognosen, realitätsnahe Szenarien-Modellierungen und automatisierte Bewertungen der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen.

So analysiert der digitale Zwilling fortlaufend die Verkehrs- und Umweltsituation. Wird ein Hotspot identifiziert – etwa eine drohende Überschreitung von Luftgrenzwerten – erhält das zuständige Verkehrsmanagementsystem automatisch einen Hinweis. In einem weiteren Schritt werden mithilfe von KI geeignete Steuerungsmaßnahmen generiert. Dabei kombiniert das System unterschiedliche

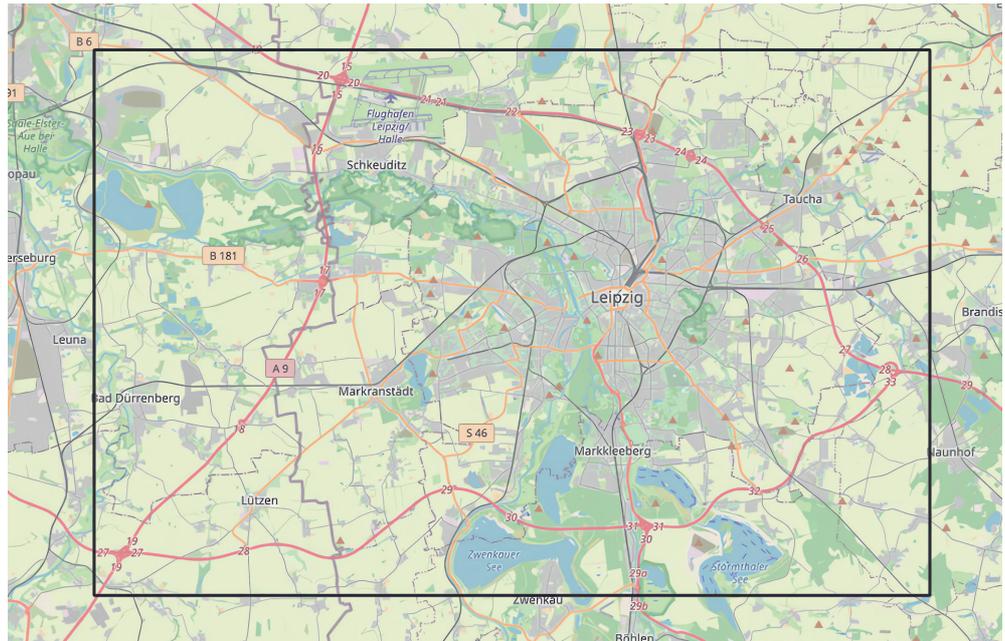


Bild 1: Räumlicher Ausschnitt des digitalen Zwillings Verkehr in der AIAMO Pilotregion Leipzig (Quelle: DLR, Kartenmaterial Openstreetmap.org)

Optionen, dimensioniert sie hinsichtlich ihrer Wirkung und berechnet optimierte Maßnahmenbündel.

Diese Empfehlungen unterstützen Verkehrsmanager bei der schnellen und datenbasierten Entscheidungsfindung – mit dem Ziel, Umweltbelastungen zu minimieren und gleichzeitig einen sicheren, nachhaltigen und flüssigen Verkehr in der Stadt zu gewährleisten.

### Leipzig als Testfeld für umweltsensitive Verkehrssteuerung

Mit dem digitalen Zwilling lassen sich zentrale Fragestellungen des Verkehrs- und Umweltmanagements fundiert untersuchen: Wie wirken sich verschiedene verkehrssteuernde Maßnahmen auf Verkehrsfluss und Luftqualität in einem Stadtgebiet aus? Und welche Eingriffe sind notwendig, um die Überschreitung lokaler oder überregionaler Umweltgrenzwerte zu vermeiden? Auch die Stadt Leipzig stellt sich diesen Herausforderungen – und beteiligt sich als Pilotregion im Forschungsprojekt AIAMO, um neueste wissenschaftliche Erkenntnisse in der Praxis zu erproben und davon zu profitieren.

Gemeinsam mit den zuständigen Stellen der Stadt wurde zunächst eine umfassende Bedarfs- und Anforderungsanalyse durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde der in Bild 1 dargestellte Betrachtungsraum für den digitalen Zwilling Verkehr definiert – begrenzt durch die Autobahnen A 9, A 14 und A 38. Dieses Gebiet umfasst sowohl den städtischen Raum Leipzigs als auch dessen regionale Verflechtungen und bildet damit einen geschlossenen Verkehrsraum.

Für dieses Gebiet wurde durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) ein mesoskopisches Szenario in der Open-Source-Verkehrssimulation SUMO (Simulation of Urban MObility) – welches ein etabliertes Werkzeug zur realitätsnahen Abbildung komplexer Verkehrsabläufe ist – aufgebaut. Im weiteren Projektverlauf wird dieses Modell durch mikroskopisch präzisere Simulationen ergänzt, insbesondere in den Gebieten mit identifizierten Problemstellungen.

Für die Pilotregion Leipzig wurden die beiden digitalen Zwillinge Verkehr und Umwelt umgesetzt. Der digitale Zwilling Verkehr bildet

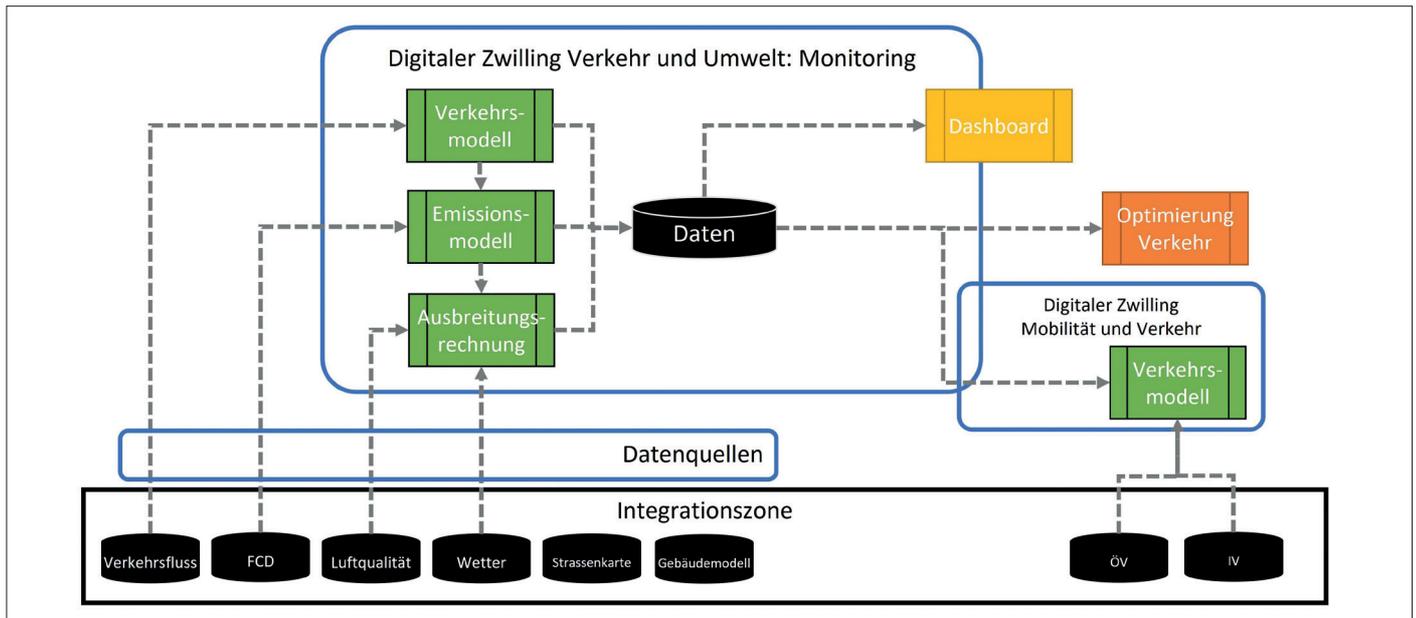


Bild 2: Bausteine des digitalen Zwillings Verkehr und Umwelt (Quelle: AIAMO)

das aktuelle Verkehrsaufkommen auf Basis eines definierten Straßennetzes (Open Street Map) ab und dient darüber hinaus zur Erstellung von Prognosen und Szenarien. Der digitale Zwilling Umwelt beinhaltet die Bausteine zur Berechnung verkehrsbedingter Immissionen und der Luftqualität im definierten Untersuchungsraum.

### Verkehrsmodellierung und Datenintegration im digitalen Zwilling Leipzig

Der digitale Zwilling Verkehr basiert auf einer Vielzahl verkehrsbezogener Daten, die in einem integrierten Verkehrsmodell zusammengeführt werden. Untersucht werden unterschiedliche verkehrssteuernde Maßnahmen sowie deren Auswirkungen, einschließlich potenzieller Routenänderungen. Für diese Analysen werden Daten aus dem Großraum Leipzig verwendet (siehe Bild 2).

Ein zentrales Element ist das Umweltmessnetz, das unter Federführung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) gemeinsam mit dem Umweltamt Leipzig und weiteren städtischen Akteuren aufgebaut wurde. Es ermöglicht die flächendeckende Erfassung und Darstellung von Immissionen und schafft die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge zwischen verkehrsbedingten Emissionen und der Luftqualität.

Zur Erstellung des Verkehrsmodells wurden sowohl Infrastrukturdaten (z. B. Streckennetz) als auch Verkehrsnachfragedaten genutzt. Mit dem perspektivischen Zugang zu weiteren Datensätzen wird das Modell kontinuierlich verbessert – es handelt sich also um einen iterativen Prozess. Zukünftig werden die dafür erforderlichen Daten über die im Projekt AIAMO entwickelte Integrationszone (vgl. Straßenverkehrstechnik 4/2025) zugänglich gemacht, was den Prozess deutlich beschleunigt und vereinfacht.

### Neue Perspektiven für das Mobilitätsmanagement in Städten und Kommunen

Der in Leipzig erprobte digitale Zwilling für Verkehr und Umwelt – kombiniert mit dem Umweltmessnetz – dient künftig als Blaupause für weitere Städte, die gezielt auf lokale Verkehrsprobleme und Luftschadstoffbelastungen reagieren möchten. Das Forschungsprojekt AIAMO demonstriert, wie KI praxisnahe Lösungen für die komplexen Anforderungen mittelgroßer Städte und Kommunen ermöglichen kann. Die in Leipzig erprobten Methoden bilden die Grundlage für eine datenbasierte, effiziente Verkehrssteuerung, die Umweltaspekte ebenso berücksichtigt wie wirtschaftliche Rahmenbedingungen.

Herzstück ist der AIAMONexus – eine intelligente Kombination aus der Integrationszone zur strukturierten Datenverknüpfung und leistungsstarken AI Foundation Models. Diese ermöglichen eine präzise Analyse von Verkehrsflüssen, die Optimierung von Steuermechanismen und die Schließung von Datenlücken durch Daten-Augmentierung und synthetische Ergänzungen.

AIAMO nutzt den digitalen Zwilling für Verkehr und Umwelt nicht nur zur verbesserten Auswertung und Vernetzung von Umweltdaten, sondern auch zur KI-gestützten Entwicklung und Bewertung von Steuerungsmaßnahmen. Durch den Einsatz dieser Technologien können Verkehrsmanagementsysteme künftig flexibler, nachhaltiger und wirtschaftlicher gestaltet werden. Das Projekt eröffnet Städten und Kommunen neue Möglichkeiten, Mobilität intelligenter und ganzheitlicher zu steuern – unter Berücksichtigung der zunehmend komplexen Wechselwirkungen von Verkehr und Umwelt.

Gefördert durch



Bundesministerium für Digitales und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

