
Simulationsumgebung zur Evaluation von umweltorientierten Verkehrsmanagement-Strategien

Marco Fedior und Wido Hamel

Professur Verkehrssystemplanung · Bauhaus-Universität Weimar · Marienstraße 13D 99423 Weimar

E-Mail: marco.fedior@uni-weimar.de

E-Mail: wido.hamel@uni-weimar.de

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Problematik bei der Prognose verkehrsbedingter Schadstoff-Immissionen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung und der Aufbau einer Simulationsumgebung zur Evaluation von umweltorientierten Verkehrsmanagement-Strategien. Die Simulationsumgebung wird über die drei Felder Verkehr, Emission, Immission entwickelt und findet zunächst Anwendung in der Evaluation verkehrlicher Maßnahmen für die Friedberger Landstraße in Frankfurt am Main.

Keywords: UVM, Luftschadstoff

1 Schadstoffproblematik

1.1 Grundlagen

Die Luftverschmutzung hat weltweit einen großen Einfluss auf die physische und mentale Gesundheit. Dieser Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang ist schon seit langem bekannt und durch zahlreiche Untersuchungen belegt. Die direkten Folgen für den Menschen liegen in negativen Effekten auf Sterblichkeit, Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen (Dora und Phillips 2000).

Für den menschlichen Organismus sind Konzentration der Schadstoffe und Dauer der Aussetzung von entscheidender Bedeutung (WHO, 1999). Aus diesem Grund werden durch die Luftqualitätsrichtlinie der EU für eine Reihe von üblichen Schadstoffen Grenzwerte festgelegt. Mit dem Erlass der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnungen (BImSchV) sind diese in Deutschland einzuhalten. Die WHO empfiehlt teilweise noch deutlich niedrigere Grenzwerte ohne zulässige Überschreitungen. Seit August 2010 gelten für die wichtigsten Schadstoffe NO_2 und PM folgende Grenzwerte in Deutschland (Siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Grenzwerte für Luftschadstoffe in Deutschland

	<i>Jahresmittel</i>	<i>Stundenmittel (NO_2) / Tagesmittel (PM_{10})</i>
<i>Stickstoffdioxid, NO_2</i>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (18h Überschreitung/Jahr erlaubt)
<i>Feinstaub PM_{10}</i>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35T Überschreitung/Jahr erlaubt)
<i>Feinstaub $PM_{2,5}$</i>	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

Noch vor Industrie und Energieerzeugung ist Verkehr der größte Emittent an Luftschadstoffen. In Deutschland überschreiten ca. 46 Prozent der verkehrsnahen Messstationen den NO₂- Jahresmittelwert (UBA, Umweltbundesamt, 2018). Gerade in den Ballungszentren mit hohem Verkehrsaufkommen sind Menschen verstärkt Gefahren ausgesetzt, da hier Luftverschmutzungen in hohen Konzentrationen auftreten können. Die größten Schadstoffbelastungen treten dort auf, wo hohe Verkehrsbelastung in Verbindung mit schlechten Luft-Austauschbedingungen vorherrschen. Da die Austauschbedingungen nicht oder nur mit größtem Aufwand verbessert werden können, konzentrieren sich die Vorschläge zur Verbesserung der Luftqualität auf Maßnahmen des motorisierten Verkehrs.

1.2 Umweltorientierte Verkehrsmanagement-Strategien

Die Emission von Luftschadstoffen im Verkehr ist von vielen Faktoren abhängig. Neben der Antriebstechnologie spielen vor allem die Fahrweise, Topografie, Verkehrssteuerung und die Verkehrsmenge eine wichtige Rolle. Maßnahmen der umweltorientierten Verkehrsplanung liegen in der Vermeidung von Verkehr, der Verlagerung von Verkehr auf umweltfreundliche Verkehrsträger und in der umweltgerechten Gestaltung von Verkehrsabläufen. Zum Beispiel durch umweltorientiertes Verkehrsmanagement (UVM). Das UVM ist eine Ansammlung an Maßnahmen des Verkehrsmanagements mit dem Ziel verkehrsbedingte Emissionen zu reduzieren. Zu Maßnahmen des UVM zählen (FGSV, 2014):

- Lokale Fahrverbote für Lkw oder Diesel-Pkw (Hauptemittenten von Stickoxiden)
- Umlenkungen von Verkehrsströmen auf weniger belastete Strecken
- Zuflussdosierung durch Reduzierung der Freigabezeiten an Lichtsignalanlagen
- Verflüssigung der Verkehrsströme durch Koordinierung der Lichtsignalanlagen
- Geschwindigkeitsanpassungen durch Wechselverkehrszeichen

Eine genaue Vorhersage der Wirkungsstärke eines Maßnahmenbündels auf den Verkehrsablauf und hin zu einer Einhaltung von Immissions-Grenzwerten ist äußerst komplex.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Strategiewechsel durch Open Data orientierte Lösungen – School“ wird an der Bauhaus-Universität Weimar ein Evaluations-Framework entwickelt. Von der Modellierung und Simulation des Verkehrs, über die Berechnung der fahrzeugbedingten Emissionen, bis hin zur Berücksichtigung der Schadstoffausbreitung anhand von Topografie und Klimadaten soll eine Wirkungsermittlung für geplante Maßnahmen möglich werden.

2 Simulationsumgebung

2.1 Modell

Die Wirkungsermittlung verkehrlicher Maßnahmen auf die Schadstoff-Immission erfolgt durch Verknüpfung der Simulationsfelder Verkehr, Emission und Immission. Mit Hilfe des Fahrzeugfolgmodells im Programm „PTV VISSIM“ wird die Verkehrssituation nachgebildet. Die Berechnung der Emissionen erfolgt dann auf Grundlage eines Abgas-Emissionsmodells mit dem Berechnungstool „TNO EnViVer“. Für die zukünftige Simulation und Berechnung der Immissionen ist die Berechnung mit einem Ausbreitungsmodell, zum Beispiel „Lohmeyer ProFet“, geplant.

In einer ersten praktischen Anwendung wurden an der Bauhaus-Universität Weimar für das Forschungsvorhaben „School“ einige UVM-Maßnahmen für die Friedberger Landstraße in Frankfurt a. M. evaluiert. Der Untersuchungsbereich erstreckt sich zunächst auf 520 m und über drei große Knotenpunkte. Die Signalprogramme der Knotenpunkte wurden erfasst und mit VISSIM nachmodelliert. Die Straße besitzt auf zwei getrennten Richtungsfahrbahnen durchgängig jeweils mindestens 2 Fahrstreifen. Zudem liegen neben den Fahrstreifen zwei Straßenbahngleise, die ebenfalls in der Simulation berücksichtigt wurden. Als Datengrundlage für die Verkehrssimulation wurde eine Verkehrszählung durchgeführt und eine durchschnittliche Verkehrsstärke (Bemessungsverkehrsstärke = 1689 Kfz/h) ermittelt.

Für die Friedberger Landstraße wurden die Verkehrs-Szenarien „Pro MIV“, „Pro ÖPNV“ und eine Nullvariante entwickelt und ihre Wirkung simuliert. Das Szenario „Pro MIV“ besteht aus einem Maßnahmenbündel zur Verkehrsverflüssigung (Angepasste Freigabezeiten, Grüne Welle) und einer prognostizierten Zunahme der Anteile an Hybrid-, Elektro- und Wasserstofffahrzeugen. Das Szenario „Pro ÖPNV“ beruht auf einem Maßnahmenbündel aus restriktiven Maßnahmen für Kraftfahrzeuge (Dieselfahrverbote, Zufluss-Dosierung) und Fördermaßnahmen für den ÖPNV (kostenloser ÖPNV, erhöhte Taktrate, Priorisierung an Knotenpunkten). Die Nullvariante bildet den aktuellen Stand ohne verkehrstechnische Änderungen ab.

2.2 Mikroskopische Verkehrsfluss-Simulation

In der mikroskopischen Verkehrsfluss-Simulation wird das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer nachgebildet. Dieses Fahrerverhalten bezieht sich auf die folgenden drei Ebenen:

- Strategisches Fahrverhalten (Routenwahl).
- Taktisches Fahrverhalten (Überholen, Einordnen, Einfädeln)
- operationales Fahrerverhalten (Lenken, Bremsen, Beschleunigen)

Die Modellierung des strategischen Fahrverhaltens erfolgt je nach verfügbarer Datengrundlage auf Basis von statischen Routen bzw. Abbiegeanteilen an Knotenpunkten oder dynamischen Umlagungen mittels Quelle-Ziel-Matrix. Auf der taktischen Ebene werden Fahrmanöver auf Grundlage von räumlich erkennbaren und in der Umgebung wahrnehmbaren Merkmalen nachgebildet. Entscheidungsgrundlage für taktisches Fahrverhalten sind zum Beispiel Raum- und Zeitlücken im Verkehrsstrom.

Die Grundlage zur Simulation des operationalen Fahrerverhaltens ist eine angepasste Version des Fahrzeugfolgemodells von Wiedemann (Wiedemann, 1974). Der Fahrer trifft seine Entscheidungen an Hand von Wahrnehmungsschwellen in Abhängigkeit von Geschwindigkeitsdifferenz und Entfernung zum vorherfahrenden Fahrzeug (Fellendorf, 1994).

Im Ergebnis der mikroskopischen Verkehrsfluss-Simulation stehen Fahrzeugprotokolldaten (ZFP-Dateien), die eine Auswertung der Simulation hinsichtlich Verkehrsablauf ermöglichen. In den ZFP-Dateien werden Bewegungsabläufe der einzelnen Fahrzeuge im Sekundentakt protokolliert und Kenngrößen wie Reisezeit, Standzeit, Verlustzeit, Anzahl der Halte sowie Geschwindigkeit aufgezeichnet.

In Bezug auf die Simulation der Friedberger Landstraße ergeben die Fahrzeugprotokolldaten eine Bewertungsbasis, anhand derer die positiven Auswirkungen der beiden Szenarien „Pro MIV“ und „Pro ÖPNV“ auf den Verkehrsablauf bewertet und veranschaulicht werden können.

In beiden Szenarien sind Verbesserungen in den untersuchten Kenngrößen (Reisezeiten, Rückstaulängen etc.) festzustellen. Die geringere Fahrzeugzahl im Szenario „Pro ÖPNV“ wirkt deutlich besser auf die Verkehrsqualität, als die Verflüssigungsmaßnahmen aus dem Szenario „Pro MIV“.

2.3 Emissions-Simulation

Der Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen liegt das mikroskopische Abgas - Emissionsmodell VERSIT+ der Niederländischen „Organisation für angewandte wissenschaftliche Forschung – TNO“ der Universität Delft zugrunde. Es beruht auf Messungen mit rund 2.800 unterschiedlichen Fahrzeugen in spezifischen Fahrsituationen.

Für die zu modellierende Situation wird eine typische Fahrzeugzusammensetzung mit unterschiedlichen Antriebstechnologien, Verbräuchen und Schadstoffklassen bestimmt. Die verschiedenen Streckensituationen (Steigung, Eben, Gefälle) und Fahrsituationen (Fahren, Bremsen, Halten, Beschleunigen) werden mit spezifischen Emissionsausstößen aus einem Datenpool hinterlegt und entsprechend der Fahrverläufe aus der ZFP-Datei im Koordinatensystem verortet. Mit der Simulationsumgebung sind Berechnungen und Analysen der Emissionsentwicklungen für die Schadstoffe NO_x , PM_{10} sowie CO_2 möglich.

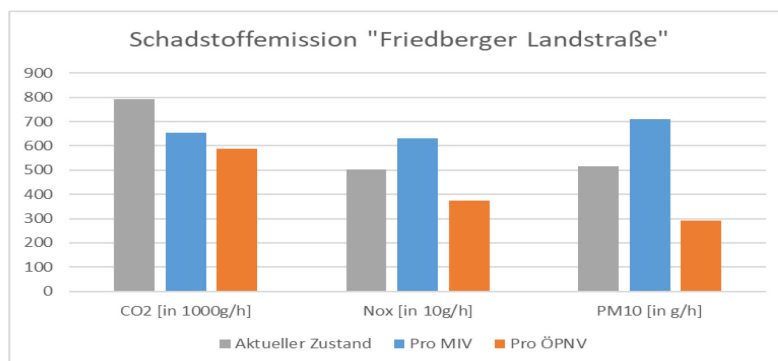


Abbildung 1: Simulierte Schadstoff-Emissionen für die Friedberger Landstraße

Für die Szenarien in der Friedberger Landstraße wurde eine Auswertung der gesamten Emissionen auf der Netzebene durchgeführt. Im Ergebnis zeigt sich, dass eine Verbesserung der Verkehrsqualität nicht mit einer Verbesserung der Umweltsituation gleichzusetzen ist. Bei den Feinstaub- und Stickoxidwerten tritt im Szenario „Pro MIV“ sogar eine Verschlechterung der Ausgangslage ein. Im Szenario „Pro ÖPNV“ werden ausschließlich positive Effekte auf die Luftverschmutzung deutlich (Siehe Abbildung 1).

Die Auswertung der räumlichen Emissionsverteilung lässt weitere Rückschlüsse auf die Wirkungen des UVM oder einzelner Maßnahmen zu. Mit einer GIS-Visualisierung können Hot-Spots erkannt und Ursachen auf der Ebene der Verkehrsabläufe identifiziert und gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen getroffen werden. (Siehe Abbildung 2)

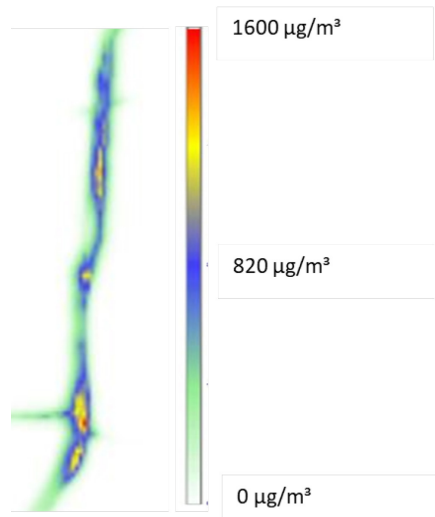


Abbildung 2: Simulationsergebnis für NO_x – Konzentrationen entlang der Friedberger Landstraße

2.4 Immissions-Simulation (Ausblick)

Damit drohende Grenzwertüberschreitungen erkannt und die Maßnahmen des Verkehrsmanagements hinsichtlich ihrer Wirkung auf Grenzwertüberschreitungen bewertet werden können, soll das Evaluationsframework im nächsten Schritt um das Simulationsfeld der Schadstoffausbreitung erweitert werden. Aus dem örtlichen und zeitlichen Verlauf der verkehrsbedingten Emissionen kann die örtliche Immission unter Berücksichtigung städtischer und ländliche Hintergrundbelastung über das Ausbreitungsmodell berechnet werden.

Die Topografie der Umgebung und die Randbebauung der Straße haben großen Einfluss auf die Austauschbedingungen der Luft. Für die Immissionsberechnung mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen muss die direkte Umgebung nachmodelliert werden. Außerdem werden meteorologische Daten wie Temperatur, Niederschlag, Inversion und Windgeschwindigkeit, sowie die gemessene Feinstaubkonzentration als Hintergrundbelastung in das Ausbreitungsmodell eingerechnet. Als Basis sollen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Verwendung finden.

Die Validation der Simulationsergebnisse kann über Luftmessstationen erfolgen. In der Friedberger Landstraße werden an einer verkehrsnahen Messstation Schadstoffmessungen durchgeführt. Für die Bemessung der städtischen Hintergrundbelastung können Messdaten aus Frankfurt Ost und für die ländliche Hintergrundbelastung aus Riedstadt berücksichtigt werden.

3 Fazit

Die kurzfristige Einhaltung der Grenzwerte für Luftschadstoffe erfordert in Deutschland verkehrliche Maßnahmen, die für manche Verkehrsteilnehmer restriktiv wirken. Um solche Maßnahmen gezielt und dosiert einsetzen zu können ist die Prognose der Wirkungsstärke auf die Immissionen von elementarer Bedeutung. Eine Simulationsumgebung über die drei Simulationsfelder Verkehr, Emission und Immission ist eine vielversprechende Grundlage. Die Simulationsumgebung wird im Rahmen der Forschungsarbeit an der Bauhaus-Universität stetig weiterentwickelt und verfeinert.

4 Literatur

Dora, Carlos und Phillips, Margaret. *Transport, environment and health - WHO Regional publications European series; No. 89*. copenhagen, 2000.

Fellendorf, Martin. „VISSIM: A Microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control including Bus Priorityin.“ *64th Institute of Transportation Engineers Annual Meeting* Oktober 1994: 1-9.

FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. *Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung - Teil 3*. Köln, 2014.

UBA, Umweltbundesamt. *Luftqualität 2017, Vorläufige Auswertung*. Dessau-Roßlau: www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2017, 2018.

WHO. *Urban traffic pollution*. London / New York, 1999.

Wiedemann, Rainer. „Simulation des Verkehrsflusses.“ *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe, Nr. 8* 1974.