

Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements auf Basis von Verkehrs-, Umwelt- und Wetterdaten in der Stadt Frankfurt am Main

Impact Assessment of an Environmentally-focused Traffic Management Based on Traffic, Air Quality and Weather Data in the City of Frankfurt am Main

Gernot Pucher¹, Volker Kanngießner², Sebastian Gatscha¹, Stefan Krampe¹

¹Trafficon – Traffic Consultants GmbH · info@trafficon.eu

²Verkehrsmanagement, Stadt Frankfurt am Main

Zusammenfassung: Umweltsensitive Maßnahmen des Verkehrsmanagements können zur Reduktion verkehrsbedingter Emissionen und somit zur Erhöhung der Lebensqualität im städtischen Raum beitragen. Eine exakte Ermittlung verkehrlicher und umweltbezogener Wirkungen entsprechender Maßnahmen kann deren zielgerichtete Planung und Implementierung entscheidend unterstützen. In diesem Beitrag werden Anforderungen und Komponenten der softwaregestützten Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements beschrieben. Die Software wird im Forschungsprojekt school entwickelt und in der Stadt Frankfurt am Main eingesetzt und evaluiert.

Schlüsselwörter: Verkehrsmanagement, Emissionsminderung, Visual-Analytics

Abstract: Adequate traffic management measures can contribute to a reduction of traffic-related emissions. Through a precise assessment of effects on traffic and air quality caused by such measures, their planning and implementation can be conducted on an informed basis, potentially improving effectiveness. In this paper, requirements and components of a software-aided impact assessment of environmentally-focused traffic management measures are described. In the research project 'school', a respective software is developed and put to test in the city of Frankfurt am Main.

Keywords: Traffic management, Emission reduction, Visual-Analytics

1 Motivation und Ziele

Aufgrund des erhöhten Verkehrsaufkommens sind die auf Verkehrstätigkeiten zurückzuführenden Emissionen in den letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen (Van Wee et al., 2013). Der motorisierte Verkehr gehört zu den größten Emittenten von CO₂, NO₂ und Feinstaub, was diesen zu einem zentralen Handlungsfeld für Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele macht (Zhang et al., 2013).

Ein Faktor, der bedeutend zu verkehrsbedingten Emissionen beiträgt, ist die Verkehrsflussqualität. Da motorisierte Fahrzeuge im Stop-and-Go Verkehr mehr Kraftstoff verbrauchen, steigen auch die beim Verbrennungsprozess erzeugten Emissionen an (Capiello, 2002). Im Vergleich zu freiem Verkehrsfluss kann der Kraftstoffverbrauch bei Stop-and-Go Verkehr um etwa 80 % zunehmen (Treiber et al., 2007). Zugleich verpflichten Gerichte in Deutschland Städte und Kommunen im Klageverfahren alle möglichen Maßnahmen zur NO₂-Minderung zu ergreifen (DUH, 2016).

Vor diesem Hintergrund gewinnen umweltorientierte Maßnahmen zur Steuerung und Lenkung des Verkehrs und zur Beeinflussung des Verkehrsverhaltens zunehmend an Bedeutung. Daher müssen diese verstärkt als integraler Bestandteil eines zukunftsorientierten Gesamtverkehrssystems betrachtet werden. Eines der wesentlichen Ziele des umweltsensitiven Verkehrsmanagements ist es, möglichst effiziente und verhältnismäßige Maßnahmen zu implementieren, um eine situationsabhängige, umweltorientierte Verkehrssteuerung zu ermöglichen (FGSV, 2015).

Ein Ziel des Forschungsprojekts **school (Strategiewechsel durch Open Data orientierte Lösungen)**, welches durch den Modernitätsfonds (mFUND) des Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) gefördert wird, ist, verkehrliche und umweltbezogene Mess- und Kennwerte zu nutzen, um neue, umweltsensitive Strategien zu entwickeln und zur operativen Anwendung zu bringen. Ein weiterer Fokus des Projekts richtet sich dabei auf die möglichst exakte Ermittlung verkehrlicher und umweltbezogener Wirkungen von Maßnahmen des Verkehrsmanagements. Durch Betrachtung historischer und aktueller Verkehrs- und Umweltdaten für den jeweiligen zeitlich-räumlichen Wirkungsbereich einer Maßnahme sollen Erkenntnisse zum Nutzen und zur Verhältnismäßigkeit gewonnen werden. Dadurch können operative Strategien evaluiert und adaptiert werden, sowie zukünftige Planungen effizienter auf intendierte verkehrliche und umweltorientierte Ziele ausgerichtet werden.

Zur Durchführung einer derartigen Wirkungsanalyse soll ein entsprechendes Softwaretool entwickelt werden, in dem unterschiedliche Datengrundlagen, wie Verkehrsqualität, Umweltmessungen und Wetterinformation, zusammengeführt werden. Verkehrsmanager sollen dadurch flexibel und zielgerichtet umweltspezifische Auswirkungen von Maßnahmen überwachen und evaluieren können. Die Software wird als Visual-Analytics-Werkzeug konzipiert, wodurch bei der Wirkungsermittlung neben automatisierten Datenanalysen auch verstärkt das Wissen der VerkehrsexpertInnen genutzt werden kann (Keim et al., 2008).

Das umweltsensitive Verkehrsmanagement sowie die softwaregestützte Wirkungsermittlung wird im Rahmen des Projekts in der Pilotregion Frankfurt am Main umgesetzt. In der Stadt Frankfurt am Main werden durch das städtische Verkehrsmanagement entsprechende Maßnahmen geplant und operativ umgesetzt. Damit sollen zeitliche, räumliche und modale Verlagerungen des Verkehrs erzielt und somit verkehrsbedingte Emissionen und die allgemeine Immissionsbelastung verringert werden. Um zu evaluieren ob und in welchem Ausmaß diese gewünschten Effekte in der Stadt Frankfurt am Main eingetreten sind, wird die softwaregestützte Wirkungsanalyse eingesetzt.

2 Stand der Technik – Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements

Ein Umweltsensitives Verkehrsmanagement lässt sich grundlegend durch folgende Aufgaben charakterisieren (FGSV, 2015):

- Erfassung und Darstellung der aktuellen Umweltsituation
- Prognose der zu erwartenden Umweltsituation
- Wirkungskontrolle zur Überwachung von Auswirkungen
- Datenhistorisierung zur Evaluierung und als Grundlage für Planung

Technische Systeme, welche diese Aufgaben erfüllen, sind in einigen Städten und Ballungsräumen sowie im überregionalen Bereich bereits in Betrieb. Der methodische Schwerpunkt wird dabei jedoch in der Regel auf die Darstellung sowie Prognose von Umweltsituationen gelegt. Insbesondere die Ex-Post-Analyse von Auswirkungen mittels historisierter Daten wird nur vereinzelt durchgängig durchgeführt, da häufig entsprechende Datengrundlagen für den „Ohne-Fall“ (Situation ohne gesetzte Maßnahme) nicht oder zumindest nicht im geeigneten Format vorliegen (FGSV, 2015). Beispiele aus deutschen Städten, in denen umweltsensitive Verkehrsmanagementmaßnahmen implementiert wurden, zeigen, dass Ex-Post-Wirkungsanalysen zwar in Form von Studien durchgeführt, jedoch kaum als durchgängiger, kontinuierlicher und softwaregestützter Prozess integriert werden (Diegmann et al., 2014).

Fornauf (2015) führt an, dass Wirkungsermittlungen eines Verkehrsmanagements oftmals nur qualitativ durchgeführt werden. Daten werden zwar gesammelt, jedoch nicht für eine tiefer gehende Analyse, sondern zur Begründung und Bestätigung qualitativer Einschätzungen genutzt. Ein derartiges Vorgehen zur Wirkungsermittlung steht üblicherweise in Verhältnismäßigkeit mit einer geringen Risikoeinschätzung von Maßnahmen, wodurch gegebenenfalls ein umfassendes Monitoring nicht gerechtfertigt scheint.

Ist hingegen eine detaillierte Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements erforderlich, müssen Effekte der Verkehrsverlagerung sowie Luftschadstoffentwicklungen in den für die jeweilige Maßnahme relevanten räumlich-zeitlichen Maßstäben ausgewertet werden können (Diegmann et al., 2011).

Als ein geeignetes, softwaregestütztes Werkzeug für die Wirkungsermittlung von Maßnahmen eines Verkehrsmanagements werden häufig Visual-Analytics Anwendungen genannt (Andrienko et al, 2017; Tanaka et al., 2014; Pu et al., 2013). Visual-Analytics verknüpft eine automatisierte Prozessierung komplexer, großer Datensätze mit interaktiven Visualisierungen, wodurch AnwenderInnen flexible, auf die jeweilige Fragestellung zugeschnittene Auswertungen durchführen können (Keim et al., 2008).

3 Methode

3.1 Softwaregestützte Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements

Verkehrsmanagement ist eines von mehreren Handlungsfeldern, um eine bessere Umweltverträglichkeit des motorisierten Verkehrs zu erreichen (Diegmann et al., 2014). Im Rahmen des Projekts school soll die Wirksamkeit einer gezielten Verkehrsinformation und Verkehrssteuerung zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung erprobt werden. Dazu wird bei prognostizierten hohen Luftschadstoffkonzentrationen (NO₂, PM₁₀) entlang einer 3.5 km langen, stark befahrenen Haupteinfahrtsstraße in der Stadt Frankfurt am Main eine situationsabhängige Anpassung der Lichtsignalanlagensteuerung durchgeführt, um eine Verstetigung des Verkehrsflusses und eine Reduzierung von Anfahrvorgängen zu erzielen. Darüber hinaus sollen bereits am Vortag AutofahrerInnen über den prognostizierten „Schadstoff-Alarm“ und mögliche Alternativen zur Pkw-Nutzung informiert werden. Entlang dieser Pilotstrecke stehen für diese Vorhaben eine dynamische Verkehrsinformationstafel sowie siebzehn Lichtsignalanlagen zur Verfügung.

Der generelle Ablauf der im Projekt school umgesetzten Wirkungsermittlung umweltsensitiver Maßnahmen ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Ein Systemanwender konfiguriert Auswertungen entsprechend der jeweiligen Fragestellung über eine browserbasierte Benutzeroberfläche. Die Auswertungen werden nach Bestätigung über eine Schnittstelle an ein Analysesystem übergeben und dort prozessiert. Die entsprechende Datenabfrage und -rückgabe erfolgt über ein cloudbasiertes Data-Warehouse. Berechnungsergebnisse werden wiederum über eine Schnittstelle an die Benutzeroberfläche übergeben und dort so dargestellt, dass ein Systemanwender einen Erkenntnisgewinn daraus ziehen kann. Datengrundlagen werden laufend über standardisierte Schnittstellen in das Data Warehouse importiert und dort für die Analyseprozesse aufbereitet vorgehalten.

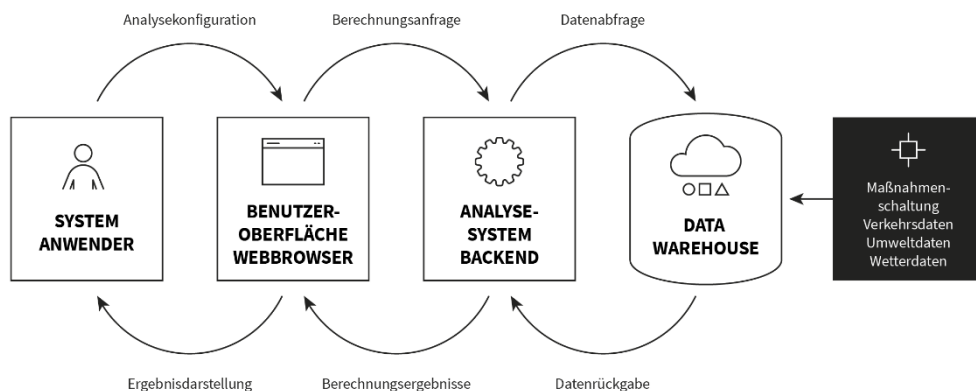


Abb. 1: Schematische Darstellung des Ablaufs der Wirkungsermittlung umweltsensitiver Maßnahmen im Projekt school

Obwohl die operative Umsetzung der geplanten Maßnahmen entlang einer definierten Teststrecke erfolgt, sind potenzielle verkehrliche und umweltbezogene Wirkungen auch entlang anderer Abschnitte im städtischen Straßennetz zu erwarten. So könnten sich Verkehrsströme räumlich und zeitlich verlagern. Um diese Wirkungen, die zum Zeitpunkt der operativen Inbetriebnahme einer Maßnahme noch unbekannt sind, softwaregestützt identifizieren und evaluieren zu können, bedarf es daher einer hohen Flexibilität bei der Auswahl der räumlichen und zeitlichen Betrachtungsebene. Ebenso können sich Wirkungen in unterschiedlichen Mess- und Kennwerten zeigen.

Daraus wurden folgende Merkmalskategorien einer Visual-Analytics Software abgeleitet, damit diese von VerkehrsexpertInnen effizient zur Wirkungsermittlung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements genutzt werden kann:

Datenquellen: Die Wirkungen eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements können sich sowohl durch Änderungen des Verkehrsgeschehens (bspw. Verkehrsaufkommen, Verkehrsqualität, Verkehrsverteilung) als auch durch Umweltindikatoren (bspw. Luftgütemessungen) zeigen. Zur besseren Bestimmung der Kausalität von Wirkungen sollen auch Wetterdaten (bspw. Windstärke, Niederschlagsmenge), Verkehrsmeldungen (bspw. Unfalldaten, Baustellendaten) und besondere Ereignisse (bspw. Ferienreisezeit, Veranstaltungen) berücksichtigt werden.

Raum- und Zeitauswahl: Sowohl die räumlichen als auch die zeitlichen Wirkungen von Maßnahmen des Verkehrsmanagements können vor oder während der operativen Inbetriebnahme unbekannt sein. VerkehrsexpertInnen sollen bei Anwendung der Software daher in der Lage sein, nach eigenem Ermessen räumlich-zeitliche Betrachtungsebenen der Wirkungsermittlung zu definieren. Um Fragestellungen unterschiedlicher räumlich-zeitlicher Maßstäbe auswerten zu können, sollen die räumlichen und zeitlichen Grundeinheiten beliebig aggregiert werden können. Beispielsweise kann so die Wirkung von Maßnahmen sowohl für einen einzelnen Streckenabschnitt in einem kleinen Zeitfenster als auch für das städtische Gesamtnetz über mehrere Monate aggregiert quantifiziert werden.

Analyseauswahl: Je nach Fragestellung und gesetzter Maßnahme können verschiedene Mess- und Kennwerte unterschiedlich starke Aussagekraft für die Wirkungsermittlung aufweisen. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass AnwenderInnen der Software in die Lage versetzt werden sollten, auf Grundlage ihrer Fachexpertise geeignete Analysen auszuwählen. Im konkreten Projektkontext werden in Absprache mit den ExpertInnen des Verkehrsmanagements der Stadt Frankfurt am Main neben deskriptiven Statistiken der Verkehrsqualität, des Verkehrsaufkommens und der Luftgüte auch Hotspot-Analysen von Verkehrsbelastungen, Mit-/Ohne-Fall, Reisezeitprognosen und Erreichbarkeitsanalysen umgesetzt.

Maßnahmenaktivierung und Kontextinformation: Zur gezielten Beurteilung und Kausalisierung von Wirkungen muss AnwenderInnen ersichtlich sein, welche Maßnahmen wann und wo aktiviert wurden. Auch weitere Kontextdaten, welche unmittelbar Einfluss auf die Wirkung von Maßnahmen nehmen können, wie etwa Baustellen, Unfälle, Wettersituationen oder Veranstaltungen, sollten in die Software eingebunden werden.

Ergebnisdarstellung: Je nach Fragestellung und Analyse eignen sich unterschiedliche Ergebnisdarstellungen zur Erkenntnisgewinnung. Ist unmittelbarer Raumbezug gegeben, können Analyseergebnisse als Layer auf einer interaktiven Webmap angezeigt werden. Häufige Elemente von Visual-Analytics Anwendungen sind zudem Diagrammdarstellungen und Ergebnistabellen (Keim et al., 2008). Die Software, welche im Rahmen des Projekts school entwickelt wird, integriert unterschiedliche Kartendarstellungen (Erreichbarkeitsisochronen, ordinal und metrisch skalierte Straßenlayer) und Diagrammdarstellungen (Balkendiagramme, Verlaufsdiagramme, Scatter Plots) sowie Tabellendarstellungen. Eine häufige Anforderung des Verkehrsmanagements ist zudem eine Übertragbarkeit von Ergebnissen in Berichte oder weitere Dienste, weshalb umfassende Exportmöglichkeiten von Analyseergebnissen integriert werden.

Performanz: Durch eine zur Bearbeitung vielseitiger Fragestellungen erforderliche hohe Flexibilität bei der Aggregation von räumlich-zeitlichen Betrachtungsebenen sind Vorberechnungen für Analysen nur in einem sehr eingeschränkten Ausmaß möglich. Bei Integration großer Datenmengen werden dadurch hohe Anforderungen an die Analyseprozesse gestellt. Um dennoch eine performante Durchführung von Analysen zu ermöglichen, können skalierbare Big-Data-Architekturen eingesetzt werden. Die im Projekt school gewählte technische Implementierung zur Wirkungsermittlung sind in Abschnitt 3.2 dargestellt.

Ein Entwurfsbeispiel einer Benutzeroberfläche für die Wirkungsermittlung von Maßnahmen des umweltsensitiven Verkehrsmanagements zeigt Abbildung 2. Über eine Kartenoberfläche können die einzelnen Netzkanten aus dem strategischen digitalen Straßengraphen der Stadt Frankfurt am Main selektiert und beliebig aggregiert werden. Die zeitlichen Analyseeinheiten, die Analysekategorien, sowie bestimmten Maßnahmenkategorien werden über entspre-

chende Felder am linken Bildschirmrand ausgewählt. Das Ergebnis der Analyse wird in Diagramm-, Tabellen- oder Kartenform unterhalb der Kartenauswahl dargestellt.

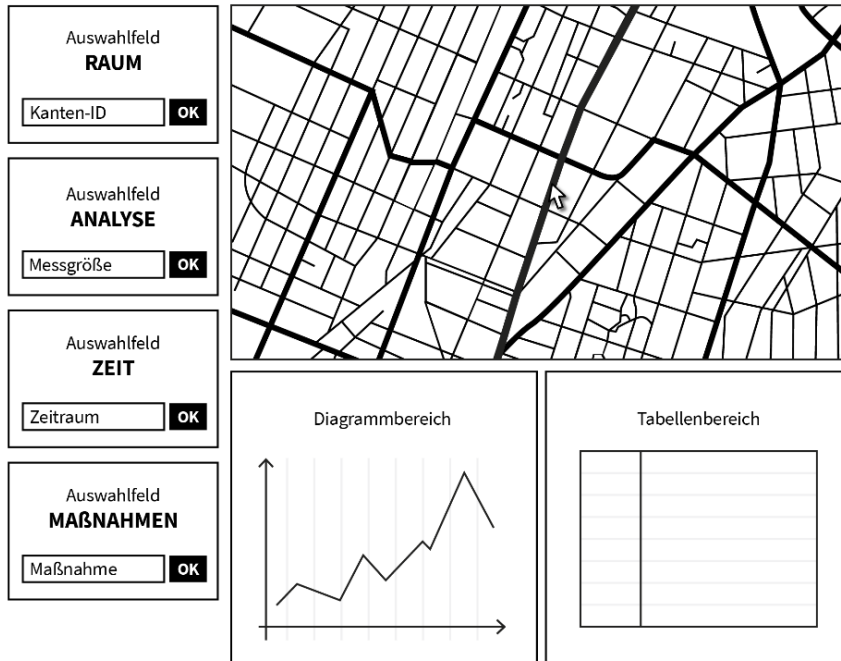


Abb. 2: Entwurfsbeispiel der Visual-Analytics-Anwendung, welche im Projekt school zur Wirkungsermittlung entwickelt wird

3.2 Technische Implementierung

Die Software zur Wirkungsermittlung wird als Webanwendung umgesetzt. Das Frontend sowie die interaktive Berechnungslogik werden in der Programmiersprache R mit dem Paket Shiny sowie in der Skriptsprache JavaScript umgesetzt. Für die Kartendarstellung wird das Webmap-Framework Leaflet genutzt. Geodaten, welche auf der Webkarte angezeigt und ausgewählt werden können, werden über einen Geoserver als Web Feature Service (WFS) eingebunden. Die Importe von Daten aus Schnittstellen in das Analysesystem sowie deren entsprechende initiale Aufbereitung wurden in der Programmiersprache Python implementiert.

Zur Datenvorhaltung und Ausführung von Analysen wird Google BigQuery eingesetzt. Dieses ist ein hoch skalierbares cloudbasiertes Data-Warehouse, welches auch bei den vorliegenden großen Datenmengen performante Datenabfragen ermöglicht.

3.3 Datengrundlagen

Im städtischen Datenökosystem der Stadt Frankfurt am Main stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung, aus denen Mess- und Kennwerte zur Wirkungsermittlung von Maßnahmen des Verkehrsmanagements genutzt werden können. Diese sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 1) angeführt und beschrieben.

Tabelle 1: Auszug von Mess- und Kennwerten, die in der IGLZ vorliegen und für Wirkungsermittlungen genutzt werden können.

Datenquelle	Mess-/Kennwert	Beschreibung
Stationäre Detektoren	Q [n]	Verkehrsdurchfluss je Straßenquerschnitt und Fahrtrichtung
Stationäre Detektoren	v [km/h]	Mittlere Geschwindigkeit je Straßenquerschnitt und Fahrtrichtung
Floating Car Data (FCD)	Verlustzeit [sec]	Zusätzliche Reisezeit gegenüber einer Referenzreisezeit je Netzkante und Fahrtrichtung
Floating Car Data (FCD)	LOS [-]	Level-of-Service je Netzkante und Fahrtrichtung.
Floating Car Data (FCD)	v [km/h]	Mittlere Geschwindigkeit je Netzkante und Fahrtrichtung
Luftgütemessstationen	Immissionen [-]	Immissionsmesswerte am jeweiligen Messstandort
Meteorologische Daten	Temperatur [°C]; Niederschlag [mm]; Windstärke [km/h]	Meteorologische Messwerte, für die Auswirkungen auf Immissionen oder den Verkehrsablauf zu erwarten sind.
Maßnahmenaktivierung	Aktiv/inaktiv [-]	Gibt an, ob die jeweilige Maßnahme aktiv oder inaktiv geschaltet ist.

Die Daten werden je nach Verfügbarkeit in unterschiedlichen Importzyklen in die Anwendung integriert. Da der Fokus der Wirkungsermittlung auf Ex-Post-Analysen größerer historischer Datenbestände beruhen soll, wird nur eine tägliche bis maximal wöchentliche Datenintegration angestrebt.

Neben den angeführten Daten wird als räumliche Referenzierungsgrundlage aller Daten auch ein strategischer Straßengraph der Stadt Frankfurt am Main genutzt. Über dessen Segment-IDs kann so ein eindeutiger Querbezug zwischen den unterschiedlichen Daten hergestellt werden.

4 Fazit und Ausblick

Die beschriebene technische Lösung, eine browserbasierte Visual-Analytics-Anwendung, soll VerkehrsmanagerInnen in der Stadt Frankfurt am Main beim Aufbau und der operativen Umsetzung eines zielgerichteten, umweltsensitiven Verkehrsmanagements unterstützen.

Durch eine verbesserte Informationsbasis zum Befolgungsgrad von Steuerungsmaßnahmen und deren verkehrlichen und umweltspezifischen Wirkungen wird eine bessere Planbarkeit von Maßnahmen erreicht. Dadurch lassen sich positive Effekte auf die Verkehrsflussqualität erwarten, was wiederum zu einem geringeren Energieverbrauch und damit zu weniger verkehrsbedingten Emissionen führt.

Darüber hinaus sollen durch die Software auch Hotspots der Verkehrsbehinderungen und verkehrsbedingter Emissionen im Straßennetz zu spezifischen Verkehrssituationen (z. B. Spitzenstunden, Großveranstaltungen, Baustellen) angezeigt werden. Durch diese räumlich-zeitliche Identifikation von erwarteten Emissionsspitzenwerten können Maßnahmen des Verkehrsmanagements gezielt und situativ eingesetzt werden und so zur Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen beitragen.

Schließlich soll sich durch den Export verarbeiteter Daten auch eine bessere Datenbasis für weitere Aufgabenträger und Kommunen zur Maßnahmenplanung im Verkehr ergeben.

Ob die intendierten Effekte durch die Nutzung der Software erzielt werden können, wird im Rahmen des Forschungsprojekts *school* evaluiert. Dabei sollen die Potenziale zur Emissions-einsparung, die Verhältnismäßigkeit der Umsetzung sowie die Übertragbarkeit auf andere Städte ermittelt werden. Der Produktivbetrieb der Software soll im März 2020 erfolgen.

Literatur

- Andrienko, G., Andrienko, N., Chen, W., Maciejewski, R., & Zhao, Y. (2017). Visual Analytics of Mobility and Transportation: State of the Art and Further Research Directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(8), 2232–2249. Retrieved Jan. 21, 2019, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7891950>.
- Capiello, A. (2002). *Modeling Traffic Flow Emissions*. Boston, MA, Massachusetts Institute of Technology.
- DUH – Deutsche Umwelthilfe (2016). *Hintergrundpapier – Klagen für saubere Luft*. Retrieved Jan. 21, 2019, from www.duh.de/uploads/media/Hintergrundpapier_Klagen_für_saubere_Luft.pdf.
- Diegmann, V., Pfäfflin, F., & Wursthorn, H. (2014). Bestandsaufnahme und Wirksamkeit von Maßnahmen der Luftreinhaltung. *Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*, Texte 26/2014. Retrieved Jan. 27, 2019, from https://www.umweltbundesamt.de/sites/.../texte_26_2014_komplett_23.5.2014_0.pdf.
- Diegmann, V., Neunhäuserer, L., Wursthorn, H., & Steven, H. (2011). Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen (Endbericht). *Schriftenreihe des LfULG*, (5). Retrieved Jan. 27, 2019, from <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15114/documents/18181>.
- Fornauf, L. (2015). *Entwicklung einer Methodik zur Bewertung von Strategien für das dynamische Straßenverkehrsmanagement* (Dissertation). Technische Universität Darmstadt. Retrieved Jan 27, 2019, from <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5008/>.
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf (2014). Wirkungen von Maßnahmen zur Umweltentlastung. Teil 3: Umweltsensitives Verkehrsmanagement. *FGSV 210/3*. Retrieved Jan 18, 2019, from https://www.trc-transportation.com/cms/images/dokumente/FGSV_210_3_UVM.pdf

- Keim, D. A., Mansmann, K., Schneidewind, J., Thomas, J., & Ziegler, H. (2008). Visual Analytics: Scope and challenges. *Lecture notes in computer science*, 4404, (76–90). Retrieved Jan. 24, 2019, from https://kops.unikostanz.de/bitstream/handle/123456789/5631/Visual_Analytics_Scope_and_Challenges.pdf.
- Lu, Z., Xia, J., Jiao, T., & Shi, X. (2012). Analysis of optimal temporal aggregation interval of traffic flow data for urban road traffic monitoring. *Dongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban) / Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*. Retrieved Jan. 26, 2019, from https://www.researchgate.net/publication/270175247_Temporal_aggregation_in_trafficdata_Implications_for_statistical_characteristics_and_model_choice
- Pu, J., Liu, S., Ding, Y., Qu, H., & Ni, L. (2013). T-Watcher: A New Visual Analytics System for Effective Traffic Surveillance. *Mobile Data Management, IEEE 14th International Conference on*. Retrieved Jan. 26, 2019, from http://ink.library.smu.edu.sg/sis_research/3473.
- Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. (2012). *TTI's 2012 Urban Mobility Report*. Powered by INRIX Traffic Data. College Station, TX, Texas Transportation Institute. Retrieved Aug. 20, 2015, from <http://tti.tamu.edu/documents/mobility-report-2012.pdf>.
- Tanaka, Y., Sjöbergh, J., Moiseets, P., & Kuwahara, M. (2014). Geospatial Visual Analytics of Traffic and Weather Data for Better Winter Road Management. *Data Mining for Geoinformatics: Methods & Applications* (pp. 105–126). Retrieved Jan. 26, 2019, from https://www.researchgate.net/publication/264287932_Geospatial_Visual_Analytics_of_Traffic_and_Weather_Data_for_Better_Winter_Road_Management.
- Treiber, M., Kesting, A., & Thiemann, C. (2007). How Much does Traffic Congestion Increase Fuel Consumption and Emissions? Applying a Traffic Emission Model to the NGSIM Trajectory Data. *Technical Report. Submission for the Annual Meeting of the Transportation Research Board 2008*.
- Van Wee, B., Annema, J. A., & Banister, D. (2008). *The Transport System and Policy*. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar Publishing.
- Zhang, K., Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci Total Environ*, (Apr), 307-316. Retrieved Jan 28, 2019, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23500830>.