

## **Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen**

Dr. rer. nat. I. **Düring**, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul  
Dr.-Ing. A. **Lohmeyer**, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe  
(ingo.duering@lohmeyer.de)

### **Kurzfassung:**

Derzeit gibt es ein großes Wissensdefizit bei der PM10-Ausbreitungsmodellierung im Rahmen von Luftschadstoffuntersuchungen und Prüfungen von Luftreinhaltemaßnahmen, weil die Bestimmung der dazu notwendigen PM10-Emissionen infolge Straßenabrieb und Wiederaufwirbelung von Straßenstaub derzeit nicht ausreichend verstanden ist.

Ein Problem dabei ist, dass diese diffusen Emissionen nicht wie z.B. bei den Auspuffemissionen direkt gemessen werden können, sondern z.B. durch inverse Ausbreitungsmodellierung oder so genannten Tracer-Methoden bestimmt werden müssen.

Ein weiteres Problem ist die relativ geringe Anzahl von verfügbaren Messungen, welche vollständige Datensätze für die Bestimmung der o.g. Emissionen enthalten.

Das derzeit in der Bundesrepublik vielfach angewendete PM10-Emissionsmodell ist das modifizierte EPA-Modell. Dieses Modell weist allerdings deutliche Schwächen auf. Die Größte ist die dort verwendete Staubbelastung der Straße als wesentlicher Parameter, der zumindestens für befestigte Straßen unter mitteleuropäischen Verhältnissen nicht als primäre Einflussgröße angesehen werden kann. Auch ist die eigentlich notwendige Bestimmung dieses Parameters nicht praktikabel, da sehr zeitaufwändig und bei kurzen Messzeiträumen möglicherweise nicht repräsentativ. Es wird deshalb vorgeschlagen, bei Verbesserungsarbeiten zur Emissionsmodellierung nicht auf dem modifizierten EPA-Modell aufzubauen, sondern einen Ansatz zu wählen, der kompatibel mit den Verkehrssituationen im Handbuch für Emissionsfaktoren ist und der sich an die Vorgehensweise Schweizer Arbeitsgruppen anknüpft. Anhand der Ergebnisse eigener Auswertungen von Messungen aber insbesondere durch die Systematisierung von publizierten Ergebnissen europäischer Forschergruppen wurde ein Satz von nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren (PKW, LKW) in Abhängigkeit von den Verkehrssituationen des Handbuches für Emissionsfaktoren erstellt, die eine deutlich bessere Modellierung der PM10-Emissionen und -immissionen darstellen, als die Modellierung mit dem modifizierten EPA-Modell.

### **1. Einleitung**

Feldmessungen im Einflussbereich von Straßen und in Straßenschluchten zeigen häufig Überschreitungen der Feinstaub (PM10)-Grenzwerte der 22. BImSchV. Deshalb müssen die zuständigen Behörden Luftreinhalte- bzw. Aktionspläne erarbeiten. Allerdings gibt es derzeit ein großes Wissensdefizit bei der PM10-Ausbreitungsmodellierung im Rahmen der Luftschadstoffun-

tersuchungen und Prüfungen von Luftreinhaltemaßnahmen, weil die Bestimmung der dazu notwendigen (diffusen) PM10-Emissionen infolge Straßenabrieb und Wiederaufwirbelung von Straßenstaub derzeit nicht ausreichend verstanden ist.

Ein Problem dabei ist, dass diese Emissionen nicht wie z.B. bei den Auspuffemissionen direkt gemessen werden können, sondern aufwändig z.B. durch inverse Ausbreitungsmodellierung oder mit Hilfe so genannter Tracer-Methoden bestimmt werden müssen. Ein weiteres Problem ist die relativ geringe Anzahl von verfügbaren Messungen, welche systematisierte und vollständige Datensätze für die Bestimmung der o.g. Emissionen enthalten.

Das derzeit in der Bundesrepublik im Allgemeinen angewendete PM10-Emissionsmodell für befestigte Straßen ist das modifizierte EPA-Modell [1]. Dieses Modell beschreibt die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren anhand eines Basisemissionsfaktors, des mittleren Gewichtes der Fahrzeugflotte, der Staubbeladung der Straße sowie der Regenhäufigkeit. Eine große Schwäche dieses Modells wird u.a. in der Staubbeladung als primären Parameter gesehen [z.B. 1; 2].

Mehrere Forschungsprojekte, welche in letzter Zeit durchgeführt wurden, hatten die Aufgabe, den Erkenntnisstand über die PM10-Emissionsmodellierung zu verbessern. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt.

## **2. Schlussfolgerungen aus Messungen an der Göttinger Straße in Hannover**

Es wurden sehr detaillierte Messungen in der Göttinger Straße in Hannover durchgeführt und ausgewertet. Die Beschreibung der Örtlichkeiten, der eingesetzten Messgeräte und der Messmethodik ist z.B. in [3] gegeben. Es wurden u.a. auch Messungen der Staubbeladung der Göttinger Straße durchgeführt und diese mit der Situation an anderen Straßen bzw. mit den Standardwerten des modifizierten EPA-Modells verglichen. Es wurde festgestellt, dass die Staubbeladung der Göttinger Straße trotz der dort vorhandenen guten (neuwertigen) Straßenoberfläche etwa den gleichen Wert aufweist, wie in der Lützner Straße in Leipzig, die eine sehr schlechte Straßenoberfläche hat. Dagegen weist die Schildhornstraße in Berlin mit einer ebenfalls guten Straßenoberfläche eine geringe Staubbeladung auf.

Tabelle 1: Resultate der Messungen der Staubbeladung auf den Fahrstreifen der jeweiligen Straße

Straßenname	Göttinger, Hannover	Schildhornstr., Berlin	Lützner, Leipzig
Qualität der Straßenoberfläche	gut	gut	sehr schlecht
Staubbeladung in $g/m^2$	0,3	0,09	0,21

Daraus kann u.a. geschlossen werden, dass die Staubbeladung der Straße nicht direkt von der Qualität der Straßenoberfläche abhängig sein kann.

Der Straßenstaub auf der Göttinger Straße bestand zu max. 2/3 aus Straßenabrieb. Der Rest war Abrieb von Reifen und Bremsen sowie sonstiges Material. Die vollständigen Ergebnisse zu diesem Projekt sind [4] zu entnehmen.

### **3. Schlussfolgerungen aus der Auswertung von straßennahen Messungen der Landesmessnetze**

Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg [5] wurden die straßennahen Messstellen und Messdaten des Dauermessnetzes aller Bundesländer einer Einschätzung unterzogen. Für 16 Messstellen mit vollständigen Datensätzen (Immissionen, Verkehr etc.) konnten aus den verfügbaren Messdaten mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet werden. Drei dieser 16 Messstellen befanden sich an Autobahnen, der Rest an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen unterschiedlicher Verkehrscharakteristik. Die abgeschätzten Emissionsfaktoren wurden mit denen verglichen, die mittels modifiziertem EPA-Modell (mEPA) berechnet werden. Als ein wesentliches Ergebnis wurde gefunden, dass an Autobahnen eine deutliche Überschätzung der nicht motorbedingten PM10-Emissionen durch das mEPA gegeben ist. Für die innerstädtischen Straßen waren die Abweichungen zwischen Messungen und Modellrechnungen deutlich geringer.

### **4. Ergebnisse aus einer detaillierten Messkampagne an der B 10 bei Karlsruhe sowie Datensystematisierungen an Autobahnen und Außerortsstraßen**

Die UMEG betrieb bei Karlsruhe/Knielingen eine Luv und eine Lee-Messstation jeweils direkt an der B 10. Gemessen wurden in Höhen von 3 m und 6 m über Grund PM2.5 und PM10-Konzentrationen (Tagesmittelwerte mittels Gravimetrie und Stundenwerte mittels Beta-Staubmeter), Verkehr und meteorologische Daten. Ausgewählte Filter wurden auch auf Inhaltsstoffe analysiert, um eine Quellzuordnung zu ermöglichen.

Das Bild 1 zeigt die Messstellen an der B 10. Die wesentlichsten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:



Bild 1: Luv- und Leemesstationen der UMEG, Karlsruhe an der B 10 bei Karlsruhe

- Für 38 Tage mit deutlichen Luv-Lee-Effekten liegen vollständige Datensätze (Verkehr, Konzentrationen, Inhaltsstoffanalysen, Meteorologie) vor. Davon wurden 24 Tage selektiert, in denen die meteorologischen und verkehrlichen Bedingungen weitgehend stabil und die Luv-Lee-Differenzen von PM10 und PM2.5 deutlich positiv waren.
- Mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode konnten PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet werden. Diese betragen im Wochenmittel 81 mg/(km Fzg), wobei an trockenen Werktagen 92 mg/(km Fzg) und an trockenen Sonntagen 59 mg/(km Fzg) ermittelt wurden. Diese sind deutlich geringer, als durch das mEPA-Modell vorhergesagt.
- Anhand der Auswertung der Inhaltsstoffanalysen konnte eine Abschätzung der Quellanteile vorgenommen werden. Für trockene Werktage wurde für die B 10 festgestellt, dass ca. 50 % der PM10-Emissionen durch Auspuffemissionen realisiert werden, ca. 20 % durch Reifenabrieb, weniger als 1 % durch Bremsabrieb und ca. 30 % durch Straßenabriebe und Wiederaufwirbelung von Straßenstaub.
- Die aus den Messungen abgeschätzten Partikel-Auspuffemissionen zeigen für die trockenen Tage im Flottenmittel eine Abweichung von den Emissionsfaktoren des Handbuches für Emissionsfaktoren (HBEFa 2.1) von ca. 5 %, für die trockenen Sonntage bei eingeschränkter Statistik von ca. minus 30 %.
- Für die drei analysierten Werktage mit Regen wurde eine Reduktion des tagesmittleren Emissionsfaktors von ca. 40 % gegenüber dem mittleren trockenen Werktag fest-

gestellt. Für die zwei Sonntage mit Regen wurde keine Abnahme (eher eine geringe Zunahme) gegenüber dem mittleren trockenen Sonntag beobachtet.

- Aufgrund der Datenanalyse an der B 10 und der Systematisierung weiterer 19 Messergebnisse an Autobahnen bzw. Außerortsstraßen wird vorgeschlagen, die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren für freie (nicht überdeckelte) Straßen im Außerortsbereich bzw. auf Autobahnen mit 22 mg/(km PKW inkl. LNF) sowie 200 mg/(km LKW) festzulegen. In Tunnelstrecken scheinen die Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen insbesondere für die PKW geringer zu sein (möglicherweise infolge gleichmäßigerer Fahrweise und vermindernden Staubeintrag). Für Tunnelstrecken wird deshalb ein Emissionsfaktor von 10 mg/(km PKW inkl. LNF) und unveränderte 200 mg/(km LKW) vorgeschlagen.

#### **5. Ergebnisse einer Literaturstudie und Datensystematisierung zu PM10-Emissionen infolge Abriebs und Aufwirbelung für den Innerortsbereich**

Im Ergebnis einer umfassenden Literatur- und Datensystematisierung für das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie kann ergänzend für den zuvor erläuterten Außerortsbereich für Innerortsbereiche Folgendes festgestellt werden:

- Über die Relevanz nicht motorbedingter PM10-Emissionen gibt es mittlerweile in der wissenschaftlichen Gemeinschaft Konsens. Wesentlich sind hierbei die Komponenten Reifen-, Brems- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub.
- PM10-Emissionsmodelle für nicht motorbedingte Partikel sind nach unseren Erkenntnissen derzeit in den USA EPA-Modell), Norwegen (VLUFT-Modell), Schweden (SMHI-Modell) und Deutschland (mEPA-Modell) im Einsatz. In der Schweiz [6] werden aus detaillierten Messungen an sechs Straßen mit unterschiedlichen Verkehrssituationen abgeleitete Emissionsfaktoren zur Beschreibung der Emissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb benutzt. In anderen Ländern wird entweder das EPA-Modell verwendet oder eine Emission aus dem Verhältnis zwischen PM10 und NO<sub>x</sub>-Immissionen abgeleitet.
- Die Streubreiten der Abweichungen zwischen Messdaten und den Emissionsfaktoren aus dem modifizierten EPA-Modell sind groß. Im Wesentlichen werden die nicht motorbedingten Emissionen vor allem im Bereich kleiner Emissionsfaktoren überschätzt, im Bereich hoher Emissionsfaktoren (bei gering verfügbaren Datenkollektiv) eher unterschätzt.

- Der Einfluss des Regens auf die PM10-Emission scheint aufgrund der neuen Untersuchungen deutlich geringer zu sein, als dies 2001 angenommen wurde. Die US-EPA geht nur noch von ca. 25 % Minderung an Regentagen aus, andere Untersuchungen (z. B. [7]) zeigen noch geringere bis gar keinen Einfluss auf die PM10-Emissionen. Gehrig et al. [6] fanden an einer Straße keine Abnahme der Emissionsfaktoren in Regenstunden und an einer anderen Straße ca. 50 % Reduktion für den Anteil PM10 bis PM1.
- Gezielte Messungen zum Einfluss des Straßenzustandes bzw. der Art des Fahrbahnelages auf die PMx-Emission liegen bisher nicht vor. Von verschiedenen Autoren werden allerdings Hinweise über einen möglichen großen Einfluss gegeben. So zeigten [8] für eine Innerortsstraße in Brandenburg, dass beim Übergang von geflicktem Kleinpflaster auf Asphalt eine deutliche PM10-Reduktion beobachtet werden konnte.
- Das derzeit für die PM10-Emissionsberechnung an befestigten Straßen verwendete mEPA-Modell weist deutliche Schwächen auf. Die Größte ist die dort verwendete Staubbelastung der Straße als wesentlicher Parameter, der zumindestens für befestigte Straßen unter mitteleuropäischen Verhältnissen nicht als primäre Einflussgröße angesehen werden kann. Auch ist die eigentlich notwendige Bestimmung dieses Parameters nicht praktikabel, da sehr zeitaufwändig und bei kurzen Messzeiträumen möglicherweise nicht repräsentativ. Es wird deshalb vorgeschlagen, im Rahmen zukünftiger Forschungsaktivitäten nicht das modifizierte EPA-Modell zu verbessern, sondern einen Ansatz zu wählen, der kompatibel mit den Verkehrssituationen im Handbuch für Emissionsfaktoren ist und der sich an die Vorgehensweise Schweizer Arbeitsgruppen [6] anknüpft. Anhand der Ergebnisse eigener Auswertungen von Messungen aber insbesondere durch die Systematisierung von publizierten Ergebnissen europäischer Forschergruppen wurde ein Satz von nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren (PKW, LKW) in Abhängigkeit von den Verkehrssituationen des Handbuches für Emissionsfaktoren erstellt, die eine deutlich bessere Modellierung der PM10-Emissionen und –immissionen ermöglichen, als mit dem modifizierten EPA-Modell. Diese Emissionsfaktoren sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: PM10-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abriebe (Auf/Ab) differenziert nach Verkehrssituation

Verkehrssituation (nach HBEFA)	Tempolimit [km/h]	Anteil Konstantfahrt (nach HBEFA) [%]	Standanteil (nach HBEFA) [%]	Emissionsfaktor für PM10-Auf/Ab je Kfz [mg/km]	
				PKW inkl. INfz	LKW
AB>120	---			22	200
AB_120	120			22	200
AB_100	100			22	200
AB_80	80			22	200
AB_60	60			22	200
AB_StGo	---			22	200
AO1	100	60	1	22	200
AO2	100	53	1	22	200
AO3	100	28	1	22	200
IO_HVS>50	60	46	1	22	200
Tunnel AB_100	100			10	200
Tunnel AB_80	80			10	200
Tunnel AB_60	60			10	200
Tunnel IO_HVS>50	60	46	1	10	200
HVS1	50	46	1	22	200
HVS2	50	52	1	30	300
HVS3	50	44	7	40	380
LSA1	50	44	7	40	380
HVS4	50	37	14	50	450
LSA2	50	32	20	60	600
LSA3	50	28	26	90	800
IO_Kern	50	23	33	90	800
IO_NS_dicht	50	32	5	90	800

Literatur:

- [1] Duering, I., J. Jacob, A. Lohmeyer, M., Lutz and W. Reichenbaecher: Estimation of the "non exhaust pipe" PM10 emissions of streets for practical traffic air pollution modelling. 11th International Symposium Transport and Air Pollution in Graz. VKM-THD, University of Technology. Proceedings, Volume 1, 309-316. Siehe auch <http://www.lohmeyer.de/literatur/PM10EmissionsSymposiumGraz2002.pdf>

- [2] Fitz, D. R.: MEASUREMENTS OF PM<sub>10</sub> AND PM<sub>2.5</sub> EMISSION FACTORS FROM PAVED ROADS IN CALIFORNIA. Final Report Contract No. 98-723. California Air Resources Board Monitoring and Laboratory Division, 1001 I Street, Sacramento, CA 95812, 02-AP-18381-003-FR, June 2001.
- [3] Müller, W.J., B. Heits and M. Schatzmann, 2001: A Prototype Station for the Collection of Urban Meteorological Data. 8<sup>th</sup> International Conference on "Harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes", 14.-17.10.2002, Sofia, Bulgaria. Demetra Ltd. ISBN: 954-9526-12-7.
- [4] Bächlin, W., H. Frantz, A. Lohmeyer, A. Dreiseidler, W. Theurer, B. Heits, W.J. Müller and K.-P. Giesen, 2003: 1. Materialienband für Massnahmenpläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität: Feinstaub und Schadgasbelastung in der Göttinger Strasse, Hannover, [http://193.218.216.17/crome/projekt3/Luftqualitaet/1847Endbericht-LH\\_25.4.03.pdf](http://193.218.216.17/crome/projekt3/Luftqualitaet/1847Endbericht-LH_25.4.03.pdf).
- [5] Lohmeyer A., Düring, I. and W. Bächlin, 2003: "Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Strassen auf Basis vorhandener Messdaten". Bericht des Ingenieurbüros Lohmeyer für: Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württ. Februar 2003, <http://www.lohmeyer.de/literatur.htm>.
- [6] Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U. (2003): Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Abschlussbericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und des Paul Scherrer Institutes (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415. Juli 2003. [www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1)
- [7] Schulze, E.: Räumliche und zeitliche Analyse von kontinuierlichen Luftschadstoffmessungen in Berlin. Einfluss von Regen und Luftfeuchte auf die PM10-Emission und -Immission. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Landschafts- und Geoökologie zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Geographin.
- [8] Friedrich, U., Düring, I: PM10-Immissionsminderung durch die Ortsumfahrung einer Kleinstadt sowie durch Fahrbahnbelagsänderung in einer städtischen Straßenschlucht. Zeitschrift „Immissionsschutz“ Ausgabe 06/04, Erich Schmidt Verlag, ISSN 1430-9262.