

Ermittlung des Beitrags von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM10-Emissionen von Straßen

FA 2.254

Forschungsstelle: Institut für Energie und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Duisburg / Universität Duisburg-Essen, Institut für Umweltanalytik, Essen

Bearbeiter: Quass, U. / John, A. / Lindermann, J. / Kuhlbusch, T. A. J. / Hirner, A. V. / Sulkowski, M. M. / Hippler, J. / Beyer, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: September 2007

1 Aufgabenstellung

In der 1. Tochterrichtlinie (99/30/EG) zur Rahmenrichtlinie Luftqualität (96/69/EG) sind im Juli 1999 neue, verschärfte Grenzwerte unter anderem für Feinstaub (PM₁₀) eingeführt und mit der 22. BImSchV (11/09/2002) in deutsches Recht umgesetzt worden. Aufgrund der durch Messungen festgestellten Überschreitungen der Tagesgrenzwerte werden zurzeit Maßnahmenpläne zur Reduzierung der Luftbelastung erstellt. Der Straßenverkehr liefert hierbei einen relevanten Teil zu den Überschreitungen.

Der Verkehrsbeitrag zur Feinstaubbelastung geht auf drei Gruppen von Partikeln zurück:

1. direkt emittierte Primärpartikel aus den Abgasen (im Wesentlichen Ruß aus unvollständiger Kraftstoffverbrennung, Partikelgröße < 1 µm d_{ae}),
2. diffus emittierte Partikel (Reifenabrieb, Bremsabrieb, Kupplungsabrieb, Straßenabrieb, Aufwirbelung von Straßenstaub, Korrosionspartikel Fahrzeug/Straße/Straßeneinbauten; Partikelgröße überwiegend > 1 µm d_{ae}) sowie
3. Sekundärpartikel aus gasförmigen Vorläuferstoffen (im Wesentlichen Nitrate aus NO_x-Emission, aber auch partikelgebundene Kohlenstoffverbindungen aus VOC (volatile organic carbon) -Emissionen, Partikelgröße überwiegend < 1 µm d_{ae}).

Die Sekundärpartikel nach 3. spielen unmittelbar an der verkehrsbelasteten Stelle nur eine untergeordnete Rolle, da für die

Konversion von NO_x zu Nitraten längere Aufenthaltszeiten in der freien Atmosphäre oder katalytische wirksame Oberflächen notwendig sind. Sie tragen aber sowohl zur großräumigen Hintergrundbelastung als auch zum städtischen Hintergrund bei. Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide sind durch prüfstandsgestützte Fahrzeugflottenprüfungen recht genau bekannt. Auf gleichartigen Prüfungen basieren auch die Kenntnisse über die motorischen Primärpartikel-Emissionsfaktoren, die, nach verschiedenen Fahrzeugklassen, Fahrsituationen und weiteren Kriterien wählbar, im Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) niedergelegt sind.

Größere Unsicherheiten bestehen allerdings hinsichtlich des Beitrags der diffusen Partikelemissionen. Zwar hat sich hier der Kenntnisstand bezüglich der diffusen PM10-Gesamtemission in den letzten Jahren durch verschiedene Studien deutlich erhöht, sodass mittlerweile ebenfalls pauschale Emissionsfaktoren für Pkw und Lkw zur Verfügung stehen (Düring, 2004).

Die Aufteilung in die Teilprozesse und damit deren jeweilige Relevanz für die Gesamtemissionen ist jedoch noch weitgehend unklar. Dies ist u. a. durch die komplexe Zusammensetzung des an der Straße messbaren Feinstaubes und die in der Regel nicht eindeutig unterscheidbaren Emissionsprozesse zu erklären (z. B. kann primär emittierter Ruß auch auf der Straße deponiert und wieder aufgewirbelt werden). Bisher in diese Richtung durchgeführte Studien untersuchten, nicht zuletzt wegen der damit verbundenen erheblichen messtechnischen Anforderungen, stark frequentierte und hoch belastete Innerortsstraßen oder nutzten den partikelanreichernden Effekt von Tunneln (Rauterberg-Wulff, 2000; Luhana u. a., 2004). Die dabei erhaltenen Ergebnisse ließen sich somit nicht ohne Weiteres auf frei angeströmte Autobahnabschnitte übertragen, sodass Rückschlüsse auf die Gesamtemissionen von Autobahnverkehr nur eingeschränkt möglich waren.

Mit dem vorliegenden Projekt sollte diese Erkenntnislücke geschlossen und erstmals ermittelt werden, welchen Beitrag zur gesamten PM₁₀-Emission die Abriebs- und Aufwirbelungsprozesse an Autobahnen mit freier Luftanströmung und gleichmäßigem Verkehrsfluss leisten.

2 Untersuchungsmethodik

Die Messungen fanden während des Zeitraums 01.09.2005 bis 07.01.2007 in zwei Phasen (09/2005 bis 03/2006 und 06/2006 bis 01/2007) an der A 61 zwischen dem AK Meckenheim und dem AD Bad Neuenahr statt (siehe Bild 1). Der DTV betrug dabei im Durchschnitt ca. 72 000 Fzg/Tag, mit einem Schwer-

verkehrs-Anteil von 21 %, wobei dieser stundenweise betrachtet im Mittel bei 28 % lag und zwischen 2 und 82 % variierte).



Bild 1: Lage des Messorts an der A 61 (Google Earth Satellitenfotos)

Beidseitig der Fahrbahn wurden die Massenkonzentrationen der PM₁ und PM₁₀-Fraktionen bestimmt. Die PM₁-Fraktion diente einer Differenzierung der gemessenen Zusatzbelastung in abgasbedingte und nicht abgasbedingte Emissionen, da davon ausgegangen wird, dass die nicht abgasbedingten Verkehrsemissionen fast ausschließlich zur PM-Größenfraktion 1-10 µm bei PM₁₀ beiträgt. Die Messung erfolgte bei beiden Fraktionen sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich. Zur Bestimmung der Gesamtemissionsfaktoren von PM₁₀, PM₁ und PM₁₋₁₀ wurde die NO_x-Tracermethode verwendet. Dabei wird aus gemessenen NO_x-Immissionen und bekannten NO_x-Emissionsfaktoren ein "Verdünnungsfaktor" ermittelt, der anschließend auf die gemessenen PM_x-Immissionen zur Rückrechnung der unbekannt PM_x-Emissionsfaktoren angewendet wird. Dazu wurden zeitaufgelöst die NO_x-Konzentrationen gemessen. Darüber hinaus erfolgte eine Messung der meteorologischen Parameter entsprechend der VDI-Richtlinie 3786. Informationen zum Verkehrsaufkommen für 8+1 Fahrzeugklassen und jeden Fahrstreifen wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen zur Verfügung gestellt.

Die Konzentrationen ausgewählter PM₁₀-Inhaltsstoffe wurden durch chemische Analysen der beprobten Filter von insgesamt 68 nach Windrichtungs- und Belastungshöhe selektierten Tagen ermittelt. Diese Stichprobe umfasste Filter aus allen Messmonaten und allen Wochentagen. Die PM₁-Fraktion wurde zusätzlich auf den Gehalt an elementarem (EC) und organischem Kohlenstoff (OC) untersucht, da die als Differenz PM₁₋₁₀ errechenbare EC-Konzentration in der Grobstaubfraktion als ein möglicher Indikator für Reifenabrieb herangezogen werden sollte. Anhand dieser Analysedaten wurde eine Modellierung mit einer Positiv-Matrix-Faktorisierung (PMF)

durchgeführt, um Emissionsfaktoren für Reifen-, Brems- und Straßenabrieb zu ermitteln.

3 Untersuchungsergebnisse

Nachstehende PM_x-Emissionsfaktoren wurden ermittelt:

Tabelle 1: Emissionsfaktoren für PM_x

	Kfz* [g/km*Fzg]	Pkw* [g/km* Pkw]	Lkw* [g/km*L kw]	Kfz** [g/km* Fzg] (Ana- lysen- tage)
EF PM₁₀	0,067	0,033	0,187	0,066
EF PM₁	0,039	0,017	0,119	0,030
EF PM₁₋₁₀	0,027	0,016	0,068	0,035

* bestimmt aus den Halbstundenwerten (TEOM)

** bestimmt aus den Tageswerten (für die Analytik ausgewählte Filter, N=68)

Die Werte für PM₁₀ sind gut vergleichbar mit Ergebnissen anderer vorliegende Studien (Gehrig u. a., 2003; Düring, 2004) bzw. im Fall von PM₁ mit den mittels HBEFA errechneten Emissionsfaktoren für die vorliegende Verkehrssituation (Autobahn ohne Geschwindigkeitseinschränkung, DTV 72 000, 21 % Lkw-Anteil). Deutliche Unterschiede ergaben sich für die auf Messung beruhenden Emissionsfaktoren der Fraktion PM₁₋₁₀ im Vergleich zu den Standard-Emissionsfaktoren. Letztere führen für die vorliegende Verkehrssituation zu einer Überschätzung der Emission von mehr als einem Faktor 2.

Bild 2 zeigt die vorgefundene chemische Zusammensetzung der PM₁₀-Fraktion in Vor-, Gesamt- und Zusatzbelastung. Die typischen Sekundäraerosol-Komponenten Sulfat, Nitrat und Ammonium spielen für die Zusatzbelastung erwartungsgemäß keine Rolle. Zunahmen der relativen Anteile in der Zusatzbelastung sind insbesondere für die Kohlenstoffkomponenten, NaCl und Metalloxide zu erkennen.

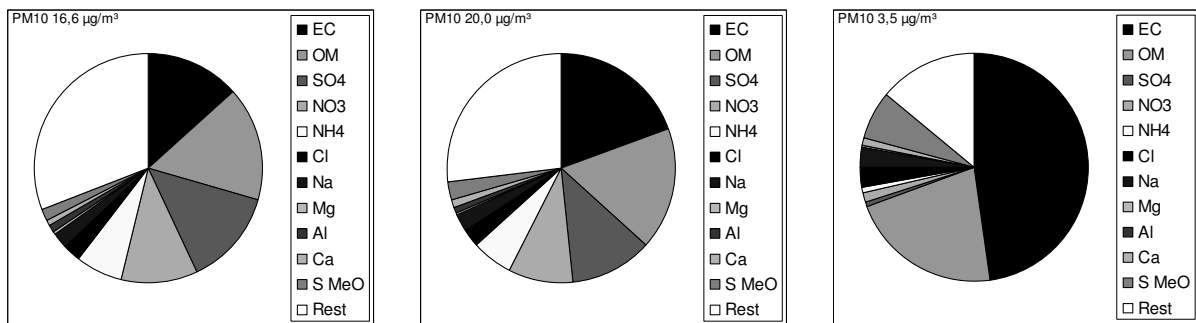


Bild 2: Mittlere Zusammensetzung der ausgewählten PM₁₀-Proben (links: unbelastete Seite, Mitte: belastete Seite, rechts: Zusatzbelastung)

Anhand der Inhaltsstoffanalysen wurde eine mehrstufige PMF-Modellierung durchgeführt.

Nach Abtrennung der für die Zusatzbelastung irrelevanten Stoffe sowie der überwiegend mit dem Abgas emittierten PM₁-gebundenen Kohlenstoffkomponenten wurden die übrigen Stoffe noch 4 Faktoren zugeordnet (siehe Tabelle 2) und quellprozess-spezifische Emissionsfaktoren erhalten (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse der Faktoranalyse

Quellprozess	Anteil an PM ₁₀ -Gesamtemission [%]	Emission sfaktor [mg/km* Fzg]
Tausalz-Aufwirbelung (nur bei Winterdienst)	13	9
Bremsabrieb	14	9
Reifenabrieb	3	2
Aufwirbelung, Straßenabrieb	7	5
Motorische Emissionen	57	38
Nicht zugeordnet, überwiegend Aufwirbelung	6-19	3-12

4 Folgerungen für die Praxis

Die aus den hier vorgelegten PM₁₀- und PM₁-Messungen resultierenden Werte für die Grobfraction PM₁₋₁₀ erwiesen sich für die hier untersuchte Immissions- und Verkehrssituation "frei angeströmte Autobahn" als nur etwa halb so hoch wie die aktuell verwendeten PM₁₀-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb (Düring, 2004). Dies indiziert eine mögliche Überschätzung der daraus resultierenden PM₁₀-Emissionen bei Anwendung auf das gesamte Autobahnnetz, wobei aber berücksichtigt werden muss, dass die hier ausgewerteten Messungen keine Jahresrepräsentanz aufweisen.

Erstmals wurden für die typischerweise auf Autobahnen anzutreffenden Verhältnisse mittels multivariater Faktoranalyse Emissionsfaktoren für einzelne, die nicht-motorischen Emissionen des Straßenverkehrs bestimmenden Prozesse, quantifiziert. Die Ergebnisse waren im Rahmen der erzielbaren Genauigkeit mit Werten von Innerorts- bzw. Tunnelstudien (Rauterberg-Wulff, 2000; Luhana u. a., 2004) vergleichbar, lagen dabei aber z. T. am unteren Ende des berichteten Wertespektrums. Das Verhältnis von motorischen zu nicht-motorischen Emissionen ergab sich zu ca. 60:40. Bei Winterdienst mit Tausalzaufwirbelung erhöhten sich die nicht-motorischen Emissionen, und das Verhältnis ist dann eher mit 50:50 zu beziffern. Diese Resultate bestätigen damit die Signifikanz der nicht-motorischen Partikelemissionen auch für den Autobahnverkehr.

5 Literatur

- Gehrig, R.; Hill, M.; Buchmann, B.; Imhof, D.; Weingartner, E.; Baltensperger, U. (2003): Verifikation von PM₁₀-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Bericht von PSI und EMPA zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415.
- Düring, I.; Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM₁₀-Emissionen von Straßen. KRdL Expertenforum Staub und Staubinhaltsstoffe 10/11. November 2004. (KRdL-Schriftenreihe ; 33), S. 131-138.
- Rauterberg-Wulff, A. (2000): Untersuchung über die Bedeutung der Staubaufwirbelung für die PM₁₀-Immission an einer Hauptverkehrsstraße. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, TU Berlin, Fachgebiet Luftreinhaltung.
- Luhana, L.; Sokhl, R.; Warner, L.; Mao, H.; Boulter, P.; McCrae, I. S.; Wright, J.; Osborn, D. (2004): Characterisation of exhaust particulate emissions from road vehicles (PARTICULATES), Oktober 2004.