

Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen

FA 2.265

Forschungsstelle: Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul

Bearbeiter: Lohmeyer, A. / Düring, I. / Moldenhauer, A.

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

Abschluss: Januar 2008

1 Aufgabenstellung

An verkehrsbeeinflussten Messstellen werden häufig PM₁₀-Grenzwerte nach 22. BImSchV (2007) überschritten. Neben verkehrslenkenden Maßnahmen werden dem Fahrbahnzustand, der Fahrzeuggeschwindigkeit und dem Verkehrsfluss PM₁₀-Minderungspotenziale zugeschrieben. Hier gab es bisher wenig systematische Untersuchungen im Feldversuch.

Das Gesamtziel dieses Forschungsprojekts bestand deshalb darin, die Kenntnisse auf dem Gebiet der straßenverkehrsbedingten PM₁₀-Emissionen und -Immissionen, in Abhängigkeit von relevanten Einflussgrößen wie Meteorologie, Straßenzustand sowie Fahrzeuggeschwindigkeiten, auszubauen.

2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen der Umsetzung des Projekts erfolgte zunächst eine weltweite Literaturrecherche. Auf Basis von Immissionsmessdaten an 8 Straßenabschnitten wurde die Wirkung von potenziellen PM₁₀-Minderungsmaßnahmen (Temporeduzierung, Verbesserung des Verkehrsflusses, Verbesserung des Fahrbahnzustands) bzw. der Einfluss meteorologischer Parameter auf die PM₁₀-Konzentrationen bzw. -Emissionen untersucht.

Von der TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie, erfolgte dabei für drei Straßenabschnitte, an denen es auf eine hohe Genauigkeit bei der Bestimmung des Verkehrsflusses bzw. dessen Vorher/Nachher-Vergleichs ankam, die messtechnische Analyse der Verkehrssituationen mittels "Floating-Car-Methode". Das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH berechnete für alle betrachteten Straßenabschnitte und Bezugszeiträume mittels TREMOD die motorbedingten PM₁₀-, NO_x- und Rußemissionen auf Basis aktueller Emissionsfaktoren und Fahrleistungsinformationen.

Neben der statistischen Analyse der Messdaten wurden auch Modellrechnungen mit dem prognostischen mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM durchgeführt. Diese dienten dazu, verschiedene, sich gegenseitig überlagernde Effekte (z. B. in den Bezugszeiträumen unterschiedliche Windverhältnisse und Motoremissionen) zu separieren bzw. die Minderungspotenziale der untersuchten Maßnahmen abzuschätzen.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Einfluss des Straßenzustands und des Fahrbahnmaterials

3.1.1 Literaturauswertung

Es gibt – wie erwartet – nachweislich zeitabhängige Veränderungen in den Eigenschaften der Fahrbahndeckschichten durch äußere Einflüsse. Diese sind u. a. abhängig von der Art der Deckschicht (Bindemittel, Mineralstoffarten, Zusatzstoffe). Zementfahrbahnen scheinen abriebsfester zu sein als As-

phaltpfahrbahnen. Asphaltfahrbahnen mit Grauwacke als Mineralstoffsplitt scheinen polierresistenter (und damit abriebsfester) zu sein, als zum Beispiel mit Kiessplitt oder Dolomit. Splitt-Mastix-Asphalt mit Quarzit emittierte in einem Rundlaufversuch bei gleicher Fahrzeuggeschwindigkeit mehrfach mehr PM₁₀ als dichter Asphalt mit Granit. Hochfester Straßenbeton weist eine höhere Resistenz gegenüber Frost-Tausalz-Angriff und PH-lösenden Angriffen auf als normalfester Straßenbeton. Normalfester Straßenbeton scheint deshalb in der ersten Liegezeit höhere Materialverluste zu erleiden als hochfester Straßenbeton. Messungen in den USA zeigten, dass deutliche Minderungen sowohl bei PM₁₀ als auch beim PM_{2,5} für die Fälle auftraten, wo die Bankette mit Asphalt bzw. Zement befestigt wurden, gegenüber den Fällen unbefestigter bzw. mit Splitt verdichteter Bankette. Gewaschener Splitt als Medium im Winterdienst lieferte in einem Rundlaufversuch unabhängig vom Reifentyp weniger PM₁₀ als ungewaschener Sand.

Sollten die von Huschek (2004) aufgezeigten Spurrinnen ausschließlich aus dem Straßenabrieb resultieren, so wären in Deutschland ca. 0,3 bis 0,6 mm Fahrbahnabrieb pro Jahr bzw. ca. 0,03 bis 0,06 mm/10⁶ Kfz aus den Untersuchungen abzuleiten. Dies liegt in der gleichen Größenordnung wie die Werte von Muschak (1990) und Diering (2001), aber ca. eine Größenordnung niedriger als Werte von Sieker (Sieker u. a., 1988).

3.1.2 Ausgewertete Feldversuche

Der Einfluss von Straßenoberflächenänderungen auf die PM_x-Belastungen konnte im Feldversuch an drei Messstellen untersucht werden. Dies waren die Lützner Straße in Leipzig, die Berliner Straße in Nauen und die Bergstraße in Erfurt. Meteorologische Einflüsse, Einflüsse variierender Hintergrundbelastungen sowie Verkehrsstärken und Fahrzeugflottenzusammensetzungen auf die beobachteten Konzentrationsänderungen vor und nach der Fahrbahn-sanierung wurden in der Auswertung berücksichtigt.

Aus den Datenauswertungen und Modellrechnungen zur **Lützner Straße in Leipzig** kann Folgendes abgeleitet werden:

Innerhalb der Bauphase wurden deutliche Einflüsse der Baustelle auf die PM₁₀-Konzentrationen festgestellt. Dies manifestierte sich sowohl in einer Minderung der PM₁₀- (aber auch NO_x-) Konzentrationen wegen des eingeschränkten Verkehrsaufkommens, aber auch in der deutlichen Erhöhung der PM₁₀-Konzentrationen an Tagen mit staubproduzierenden Arbeiten.

Die messtechnisch beobachtete Abnahme der PM₁₀-Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor der Straßensanierung (2004) und nach der Straßensanierung (2006) von 4 µg/m³ bzw. 6 µg/m³ in der PM₁₀-Zusatzbelastung resultiert auch aus

- 2 µg/m³ Erhöhung der regionalen Hintergrundbelastung,
- 0,5 µg/m³ Abnahme der lokalen Zusatzbelastung durch unterschiedliche Windbedingungen,
- 0,5 µg/m³ Erhöhung der lokalen Zusatzbelastung durch Versetzung der Messstelle und
- 3 bis 4 µg/m³ Reduktion der ZB durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderten fahrzeugspezifischen Emissionen.

Hinweis: 2006 war etwas trockener als 2004. Der Einfluss auf PM₁₀-ZB lässt sich derzeit nicht ausreichend quantifizieren. Die Reduktion wäre möglicherweise noch größer.

Dadurch ergibt sich eine

Reduktion durch Verbesserung des Straßenzustandes von 2 bis 3 µg/m³ (ca. 20 – 30 % der PM₁₀-Zusatzbelastung).

Da der motorbedingte PM₁₀-Emissionsanteil im Jahr 2004 bei ca. 30 % und der Aufwirbelungs- und Abriebsanteil bei gutem Straßenzustand bei ca. 70 % gelegen hätte, ergibt sich PM₁₀-Emission-Auf/Ab (schlecht) = 1,4 * PM₁₀-Emission-Auf/Ab (gut).

Aus den Datenauswertungen und Modellrechnungen zur **Berliner Straße in Nauen** kann Folgendes abgeleitet werden:

Die messtechnisch beobachtete Abnahme der PM₁₀-Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor der Straßensanierung (1998) und nach der Straßensanierung (2000) von 23 µg/m³ bzw. 16 µg/m³ in der PM₁₀-Zusatzbelastung resultiert auch aus

- 7 µg/m³ Reduktion der regionalen Hintergrundbelastung,
- 0 µg/m³ das heißt keine Veränderung der lokalen Zusatzbelastung durch unterschiedliche Windbedingungen und
- 2 µg/m³ Reduktion der lokalen Zusatzbelastung durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderte fahrzeugspezifische Emissionen.

Dadurch ergibt sich eine

Reduktion durch Verbesserung des Straßenzustandes von 14 µg/m³ (ca. 60 % der PM₁₀-Zusatzbelastung).

Da der motorbedingte PM₁₀-Emissionsanteil im Jahr 2004 bei ca. 30 % und der Aufwirbelungs- und Abriebsanteil bei gutem Straßenzustand bei ca. 70 % gelegen hätte ergibt sich PM₁₀-Emission-Auf/Ab (schlecht) = 3,6 * PM₁₀-Emission-Auf/Ab (gut).

Aus den Datenauswertungen und Modellrechnungen zur **Bergstraße in Erfurt** kann Folgendes abgeleitet werden:

Innerhalb der Bauphase wurden deutliche Einflüsse der Baustelle auf die PM₁₀-Konzentrationen festgestellt. Dies manifestierte sich insbesondere durch eine deutliche Erhöhung der PM₁₀-Konzentrationen an Tagen mit staubproduzierenden Arbeiten.

Die messtechnisch beobachtete Abnahme der PM₁₀-Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor der Straßensanierung (2005/2006) und nach der Straßensanierung (April 2007 bis Januar 2008) von ca. 6 µg/m³ bzw. ca. 1,5 µg/m³ in der PM₁₀-Zusatzbelastung resultiert auch aus ca.

- 2 µg/m³ Abnahme der regionalen Hintergrundbelastung,
- 0 µg/m³ keiner relevanten Änderung der Zusatzbelastung durch unterschiedliche Windbedingungen,
- 2,5 µg/m³ Abnahme der städtischen Zusatzbelastung und
- 0 bis 1,5 µg/m³ Reduktion der ZB durch veränderte motorbedingte Emissionen.

Dadurch ergibt sich für den Auswertzeitraum

eine Reduktion durch Verbesserung des Straßenzustandes von ca. 0 bis 1,5 µg/m³ (ca. 0 bis 20 % der PM₁₀-Zusatzbelastung).

Die höchste PM₁₀-Minderung wurde demnach an der Berliner Straße festgestellt. Diese war dort für den nicht motorbedingten Anteil der PM₁₀-Emissionen ca. 2,6-mal höher als an der Lützner Straße. Für beide Straßen wurde auch in der

Zustandsbewertung ein Übergang des Straßenzustands von "schlecht" auf "gut" festgestellt. Inwieweit der deutlich geringere Minderungseffekt in der Lützner Straße durch die örtlichen Gegebenheiten oder durch den eingeschränkten Auswertzeitraum nach der Sanierung von 6 Monaten bedingt ist, könnte nur durch eine erweiterte Datenauswertung geklärt werden.

Aus der bisherigen Auswertung für die Bergstraße in Erfurt wurde tendenziell eine geringere Minderung abgeschätzt als bei den anderen beiden Straßen. Ursachen dafür könnten sein:

- Wegen der Tempo-30-Signalisierung und der Bergaufahrt liegen die Fahrzeuggeschwindigkeiten in der Bergstraße deutlich niedriger als an den anderen beiden untersuchten Straßen. Dies führt gegebenenfalls zu einem geringeren Anteil der Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen. Der abgeschätzte Anteil der Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen von ca. 50 bis ca. 60 % an der PM₁₀-Gesamtemission im Vergleich zu ca. 70 % an der Lützner und Berliner Straße weist darauf hin.
- Die Schadenswertklasse lag vor der Sanierung mit 3,8 nur gering über der bisher auf mangelnder Datenlage festgelegten Schwelle des Übergangs von "guten" zu "schlechten" Straßenzustand von 3,5. Bei den anderen beiden Straßenabschnitten lag die Schadenswertklasse vor der Sanierung bei 4,1 bzw. 4,5, der Straßenzustand war in der Lützner Straße und der Berliner Straße vor der Sanierung also schlechter als in der Bergstraße. Dies könnte ebenfalls das beobachtete geringere Reduktionspotenzial begründen.

Insgesamt kann somit festgestellt werden, dass durch die Sanierung von im Sinne der PM₁₀-Emissionsmodellierung schlechten Fahrbahnen und Gehwegen an allen drei untersuchten Straßen eine PM₁₀-Minderung abgeleitet werden konnte, die Höhe der absoluten Minderung aber wahrscheinlich von weiteren Randbedingungen (Ausgangszustand, Fahrzeuggeschwindigkeit, Längsneigung) abhängig ist. Weiterführende Auswertungen, insbesondere für die Bergstraße in Erfurt, werden deshalb dringend empfohlen.

3.2 Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Verkehrsflusses

3.2.1 Literaturlauswertung

Bezüglich der Abhängigkeit der PM₁₀-Belastungen von der Fahrzeuggeschwindigkeit liegen nur wenige systematische Untersuchungen vor. Diese deuten allerdings darauf hin, dass bei vergleichbarem Verkehrsfluss bei niedrigeren Geschwindigkeiten auch geringere PM₁₀-Emissionen zu erwarten sind. Die Angaben schwanken z. B. beim Übergang von Tempo 50 zu Tempo 30 zwischen 70 % Reduktion des nicht motorbedingten PM₁₀-Anteils bis 3 % der gesamten PM₁₀-Emissionen (Summe motor- und nicht motorbedingter Emissionen). Die angegebene Bandbreite ist somit groß. Prüfstandsversuche zeigten zudem, dass PM₁₀-Emissionen vom Reifentyp und von der Fahrgeschwindigkeit abhängen. Höhere Geschwindigkeiten führten zu höheren PM₁₀-Emissionen und einem höheren Anteil von PM_{2,5}.

Einen größeren Einfluss als die Fahrzeuggeschwindigkeiten scheint nach derzeitigen Erkenntnissen der Verkehrsfluss auf die PM₁₀-Emissionen zu haben. Fahrzeuge im Bereich von Lichtsignalanlagen mit starken Störungen (hohe Standanteile, häufiges Beschleunigen und Bremsen und damit mehr Abrieb) können demnach bis dreimal mehr Feinstaub emittieren als bei gleichmäßigem Verkehrsfluss auf Autobahnen. Bei der Analyse des Minderungspotenzials von Geschwindigkeitsbeschränkungen ist deshalb immer ein vergleichbarer Verkehrsfluss sicherzustellen.

3.2.2 Ausgewertete Feldversuche

Der Einfluss eines Tempolimits auf die PM_x -Belastungen konnte im Feldversuch an der **Schildhornstraße in Berlin** untersucht werden. Dort wurde eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 auf 30 km/h mit gleichzeitiger Radarüberwachung eingerichtet. Meteorologische Einflüsse, Einflüsse variierender Hintergrundbelastungen sowie Verkehrsstärken und Fahrzeugflottenzusammensetzungen auf die beobachteten Konzentrationsänderungen vor und nach Fahrbahnsanierung wurden in der Auswertung berücksichtigt. Aus den Datenauswertungen zur Schildhornstraße in Berlin kann Folgendes abgeleitet werden:

Die messtechnisch beobachtete Zunahme der PM_{10} -Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor der Tempo-30-Signalisierung und nach der Tempo-30-Signalisierung von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. Zunahme der PM_{10} -Zusatzbelastung von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resultierte auch aus

$7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Erhöhung der Hintergrundbelastung,
$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Erhöhung durch unterschiedliche Windbedingungen,
$0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	d. h., keine Veränderung der lokalen Zusatzbelastung durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderte fahrzeugspezifische Emissionen (ohne Einfluss der Tempo-30-Signalisierung).

Dadurch ergibt sich eine

Reduktion an Werktagen durch den Übergang von einer Tempo-50-Signalisierung zu einer Tempo-30-Signalisierung mit Radarüberwachung bei weiterhin gleichmäßigem Verkehrsfluss von ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 15 bis 27 % der PM_{10} -Zusatzbelastung). Für Ruß und NO_x ergaben sich keine relevanten Abnahmen.

Eine systematische und statistisch abgesicherte Untersuchung des Einflusses der Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x -Belastungen an der **B 10 bei Karlsruhe** konnte aufgrund der Datenlage nicht geführt werden. An einigen Tagen waren durch Baustellensituationen geringere Geschwindigkeiten auf der B 10 zu verzeichnen gewesen. Wegen der notwendigen Vergleichbarkeit der meteorologischen Bedingungen und einer notwendigen stabilen Luv/Lee-Situation konnten nur zwei dieser "Baustellentage" den "Normaltagen" gegenübergestellt werden. Hierbei konnte kein signifikanter und gesicherter Unterschied in den PM_x -Belastungen festgestellt werden. Zu einer systematischen Untersuchung wäre es notwendig, die Fahrzeuggeschwindigkeiten an einem Messquerschnitt durch Signalisierung und Überwachung zu begrenzen und mit längerfristigen Immissionsmessungen und meteorologischen Messungen zu begleiten. Die Betrachtung von zufälligen Geschwindigkeitsänderungen, z. B. durch Baustellen, beinhaltet zu viele Änderungen in den Randbedingungen (Verkehrsstärken, räumliche Verkehrsaufteilung, Einfluss der Baustelle etc.), sodass eine eindeutige Feststellung des Einflusses nicht möglich ist.

Der Einfluss eines normgerechten Ausbaus einer innerstädtischen Bundesstraße mit Einrichtung einer "Grünen Welle" auf die PM_x -Belastungen konnte im Feldversuch an der **Bergstraße in Dresden** untersucht werden. Hierbei konnte Folgendes festgestellt werden:

Der Verkehrsfluss hat sich nach dem Ausbau in beiden Richtungen deutlich verbessert. Stadtauswärts war vor dem Ausbau ein mäßiger Verkehrsfluss (Verkehrssituation nach Handbuch Emissionsfaktoren HBEFa = Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, mittlere Störung; "LSA2"), stadteinwärts ein schlechter Verkehrsfluss (Innerortsstraße im Stadtkern; "IO_Kern") zu verzeichnen gewesen. Nach dem Ausbau

funktioniert stadtauswärts die Grüne Welle (Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, geringe Störungen; "HVS2"), stadteinwärts gibt es Haltezeiten an den Lichtsignalanlagen, die den Verkehrsfluss im Allgemeinen nur gering beeinträchtigen (HVS2, LSA2), nur am Knoten Förster-Platz stark beeinträchtigen (Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, starke Störungen; "HVS4").

Die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten lagen im Bereich der Messstelle vor dem Ausbau bei ca. 30 km/h und nach dem Ausbau bei über 40 km/h. Das bedeutet aber nicht, dass im Zustand vor dem Ausbau konstant mit 30 km/h gefahren wurde. Wie die Perzentile (Q75, Q90) der Fahrzeuggeschwindigkeiten zeigen, fuhren die Fahrzeuge, falls sie nicht durch die LSA im Verkehrsfluss behindert wurden, vor dem Ausbau im Mittel Geschwindigkeiten um ca. 40 bis 45 km/h, nach dem Ausbau ca. 45 bis 50 km/h.

Die messtechnisch beobachtete Abnahme der PM_{10} -Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor dem Ausbau und nach dem Ausbau von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der PM_{10} -Zusatzbelastung resultierte auch aus

$6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Abnahme der Hintergrundbelastung,
$1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Abnahme durch unterschiedliche meteorologische Bedingungen und
$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Reduktion der lokalen Zusatzbelastung durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderte fahrzeugspezifische Emissionen.

Dadurch ergibt sich eine

Reduktion durch Verbesserung des Verkehrsflusses (Grüne Welle) *trotz höherer Fahrzeuggeschwindigkeiten* von ca. $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 35 % der PM_{10} -Zusatzbelastung).

3.3 Einfluss meteorologischer Parameter

3.3.1 Literaturlauswertung

Meteorologische Größen haben einen großen Einfluss auf die an Messstationen gemessenen PM_{10} -Konzentrationen. Dies gilt insbesondere auch an verkehrsbeeinflussten Messstellen. Dort ist der meteorologische Einfluss auf die PM_{10} -Konzentrationen deutlich größer als z. B. bei NO_x . Dies liegt zum einen an dem deutlich größeren Anteil der PM_{10} -Hintergrundbelastung (50 bis 70 %) an der z. B. in einer Straßenschlucht gemessenen Gesamtbelastung als bei NO_x (20 bis 40 %). Zum anderen liegt dies an der Emissionsstruktur (bei PM_{10} ein hoher Anteil an diffusen Quellen) sowie an den stofflichen Eigenschaften (PM_{10} = Partikel, NO_x = Gas). Diese Einflüsse machen sich in einer deutlich starken kurzzeitigen Variation (von Stunde zu Stunde bzw. Tag zu Tag) bemerkbar. Es gibt aber beim PM_{10} auch stärkere Schwankungen im Jahresmittel als bei anderen gasförmigen Schadstoffen.

Wichtigste meteorologische Einflussgrößen sind nach der Literaturlauswertung die thermische Schichtung (Inversion, Mischungsschichthöhe), die Niederschlagshäufigkeit (weniger die Menge) und insbesondere die Länge von Trockenperioden, die Temperaturen und die Windverhältnisse.

Der Einfluss der thermischen Schichtung innerhalb einer Straßenschlucht ist durch die mechanische Turbulenz infolge der Fahrzeugbewegungen und der Gebäudeumströmung stark unterdrückt, spielt aber für die Hintergrundbelastung (regional, städtisch) eine entscheidende Rolle. Da deren Einfluss auf die Hintergrundbelastung insbesondere mit der Wechselwirkung zu anderen Größen, wie Temperatur, Globalstrahlung, Luftdruck etc., derzeit modelltechnisch nur unzureichend beschrieben werden kann, muss für Wirkungsanalysen (Einfluss Fahrzeuggeschwindigkeit, Einfluss Fahrbahnzustand etc.) die

Hintergrundbelastung von der in der Straßenschlucht gemessenen Gesamtbelastung separiert werden. Der verbleibende lokale Verkehrsbeitrag muss dann möglichst unter Berücksichtigung der im Untersuchungszeitraum gemessenen Windverteilung in einem möglichst großen Mittelungszeitraum (idealerweise ein Jahr, mindestens mehrere Monate) analysiert werden.

Da z. B. die NO_x -Konzentrationen deutlich von verkehrlichen Variationen und ebenfalls von mechanischen (Wind) und thermischen Ausbreitungsbedingungen (Stabilität) beeinflusst werden, werden die NO_x -Konzentrationen häufig als Tracer für diese Einflussgrößen verwendet. Die Änderungen des Quotienten aus PM_{10} - und NO_x -Konzentrationen weist dann auf PM_{10} -spezifische Emissions- bzw. -Ausbreitungsbedingungen hin.

Für kleine Mittelungszeiten (z. B. Tagesmittelwerte) können Zusatzbelastungen, an denen der Einfluss von verkehrlichen Parametern untersucht werden soll, nur miteinander verglichen werden, wenn die meteorologischen Bedingungen im Mittelungszeitraum und an einigen Tagen zuvor gleich waren.

3.3.2 Eigene Auswertungen von Messdaten

Umfangreiche Datenauswertungen konnten für die B 10 bei Karlsruhe, die Merseburger Straße in Halle und den Jagtvej in Kopenhagen in Verbindung mit jeweils repräsentativen städtischen Hintergrundmessstellen durchgeführt werden. Die Datenlage erlaubte sowohl das Studium des Einflusses der Gesamtbelastung, der Zusatzbelastung (Verkehrsstation minus städtischem Hintergrund) sowie der mittels NO_x -Tracermethode abgeleiteten PM_{10} - bzw. $\text{PM}_{2,5}$ -Emissionen. Da die umfangreichsten Datenauswertungen an der Merseburger Straße durchgeführt werden konnten und die Ergebnisse an den anderen beiden Straßen ähnlich waren, werden im Folgenden stellvertretend die Resultate für die Merseburger Straße erläutert.

Es konnten erwartungsgemäß deutliche Abhängigkeiten der PM_{10} - und $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentrationen von meteorologischen Parametern beobachtet werden. Dabei gibt es aber auch eine Vielzahl von Korrelationen der meteorologischen Kenngrößen untereinander, sodass aus der tendenziellen Abhängigkeit der Partikelbelastung von einer meteorologischen Kenngröße unmittelbar nicht auf dessen Ursache / Wirkungsbeziehung geschlossen werden kann.

Die stärksten meteorologischen Einflüsse auf die PM_{10} -Gesamtbelastungen gehen von den vertikalen Austauschbedingungen (Indikator war hier z. B. der vertikale Temperaturgradient), von der Anzahl niederschlagsloser Tage seit dem letzten Niederschlagsereignis und der Windgeschwindigkeit aus.

Die stärksten meteorologischen Einflüsse auf die PM_{10} -Zusatzbelastungen gehen von der Windgeschwindigkeit- und -richtung sowie von den Temperaturen aus.

Bei den PM_{10} -Emissionsfaktoren zeichnet sich für die Werkstage mit Niederschlag im Mittel ein ca. 30 % geringerer Wert ab als an den trockenen Werktagen. Diese Abnahme ist signifikant. Die PM_{10} -Emissionsfaktoren an den ersten drei trockenen Tagen nach einem Niederschlagsereignis sind gleich, zeigen also keine Zunahme mit andauernder Trockenheit. Bei den $\text{PM}_{2,5}$ -Emissionen ist dieser Minderungseffekt durch Niederschlag nicht zu verzeichnen.

Eine Bindung des Staubs im Straßenraum bei hoher Luftfeuchtigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Während die $\text{PM}_{2,5}$ -Emissionsfaktoren (Motoremissionen) unabhängig von der Jahreszeit sind, nimmt die Emission der Partikelfraktion $\text{PM}_{2,5}$ bis PM_{10} im Winterhalbjahr deutlich (über 100 %) zu. Ursachen könnten das Einbringen von Streugut und

vermehrte Schmutzeinträge auf die Straße sein. Im Winterhalbjahr sind auch die PM_{10} -Emissionsfaktoren, wie erwartet, von den Austauschbedingungen unabhängig und liegen jeweils deutlich (Faktor zwei) höher als im Sommerhalbjahr. Dieser Anstieg der PM_{10} -Emissionen unter winterlichen Bedingungen könnte auch erklären, warum die PM_{10} -Emissionsfaktoren im Unterschied zu $\text{PM}_{2,5}$ bei niedrigen Tagesmitteltemperaturen deutlich höher sind als bei hohen Temperaturen. Der hohe Anstieg der PM_{10} -Konzentrationen während (winterlicher) austauscharmer Inversionswetterlagen könnte somit sowohl von den schlechten Austauschbedingungen als auch von deutlich höheren nicht motorbedingten PM_{10} -Emissionen beeinflusst sein.

Am Jagtvej konnte mittels Sensor auch die Höhe des Wasserstands auf der Fahrbahn untersucht werden. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der Wasserstand auf der Straße die Höhe der PM_{10} -Zusatzbelastungen und die der PM_{10} -Emissionen beeinflusst. Nach einem Regenereignis trocknet die Fahrbahn des Jagtvej im Sommer im Mittel nach ca. 7 Stunden komplett ab. Ein Minderungseffekt in den Emissionen ist im Mittel ca. 3 bis 5 Stunden nach dem Regenereignis zu beobachten.

Es konnte am Jagtvej keine Abhängigkeit des Quotienten der PM_{10} - und NO_x -Zusatzbelastungen, als Maß für PM_{10} -spezifische Emissionsverhältnisse, von der Windgeschwindigkeit bei trockener Fahrbahn festgestellt werden.

3.4 Abgeleitete Emissionsfaktoren

Aus den Datenanalysen konnten die in Tabelle 1 aufgeführten Emissionsfaktoren abgeleitet werden.

4 Ausblick

Insgesamt wurden im Rahmen des vorliegenden Projekts PM_{10} -Emissionsfaktoren und PM_{10} -Zusatzbelastungen sowie deren Abhängigkeiten von Fahrbahnzustand, Verkehrsfluss, Fahrzeuggeschwindigkeit und meteorologischen Parametern abgeleitet und Wirkungsuntersuchungen durchgeführt. Derzeit laufen in parallelen Forschungsprojekten weitere Arbeiten, um den Erkenntnisstand bei der PM_{10} -Emissionsmodellierung bzw. bei der Bewertung von Minderungsmaßnahmen zu erhöhen. Es sollte einer separaten Auswertung vorbehalten sein, aus all diesen neuen Forschungsprojekten die Schlussfolgerungen für die zukünftige PM_{10} -Modellierung zu ziehen.

5 Literatur

22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl. I Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626; zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I, S. 241).
- Diering (2001): Persönliche Information von Hr. Diering von der Bauabteilung der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Referat für Straßenbau an Hr. Reichenbacher, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 1X D 2, Berlin.
- Huschek, S. (2004): Entwicklung der Oberflächeneigenschaften auf der Versuchsstrecke Bamberg A 70 – Messtechnische Erfassung 1999 – 2001. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 898), Bonn, August 2004.
- Muschak, W. (1990): Pollution of street run-off by traffic and local conditions, in: The Science of the total Environment 93 (1990), S. 419 - 431.
- Sieker, F.; Grottker, M. (1988): Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser bei mittlerer Verkehrsbelastung. Bericht der Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtsch. Wasserbau, Juni 1987. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 530), Bonn.

Tabelle 1: Zusammenfassung der ermittelten PM_x-Emissionsfaktoren

Straße	Verkehrsstärke/ Lkw-Anteil	Verkehrssituation	Auswertejahr	Untersuchte Situation	PM ₁₀ / PM _{2,5} - Emissionsfaktor - Gesamt mg/(km · Fzg)	PM ₁₀ / PM _{2,5} - Emissionsfaktor-Motor mg/(km · Fzg)	PM ₁₀ / PM _{2,5} - Emissionsfaktor- Auf/Ab mg/(km · Fzg)	Bemerkung
Merseburger Straße in Halle	36 000 Kfz/d / 5 %	HVS2	2002 bis 2004	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 50, Asphalt, guter Zustand	117/38	28/28	89/10	
Lützner Straße Leipzig	27 000 Kfz/d / 4 %	HVS2, HVS4, LSA2, IO_Kern	2004	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 50, Asphalt rissig und geflickt, Gehwege teilweise unbefestigt	105 bis 113/-	28/-	77 bis 85/-	Situation vor Sanierung
Lützner Straße Leipzig	20 000 Kfz/d / 4 %	HVS2, HVS4, LSA2, IO_Kern	2006	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 50, Asphalt gut, Gehwege befestigt	80 bis 88/-	25/-	55 bis 63/-	Situation nach Sanierung
Bergstraße Erfurt	14 000 Kfz/d / 1,5 %	IO_Kern_ Tempolimit 30 km/h_+4,6 % Längsneigung	2005	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 30, Pflaster, teilweise ausgewaschen und mit Asphalt geflickt, Gehwege unbefestigt	47 bis 61/-	23/-	24 bis 38/-	Situation vor Sanierung
Bergstraße Erfurt	14 000 Kfz/d / 1,5 %	IO_Kern_ Tempolimit 30 km/h_+4,6 % Längsneigung	2007	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 30, Asphalt gut, Gehwege befestigt	43 bis 50/-	19 bis 23/-	20 bis 31/-	Situation nach Sanierung
Bergstraße in Dresden	20 000 Kfz/d / 6 %	HVS2_6 % Längsneigung	2005	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 50, Asphalt, guter Zustand	70/-	30/-	40/-	nach dem Straßenausbau
Schildhornstraße in Berlin	41 000 Kfz/d / 6 %	LSA1/HVS2	2005	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 50, Asphalt, guter Zustand	46/-	23/-	23/-	Tempo 50
Schildhornstraße in Berlin	41 000 Kfz/d / 6 %	LSA1/HVS2_Tempolimit 30km/h	2006	Hauptverkehrsstraße mit Tempo 30, Asphalt, guter Zustand	39/-	23/-	16/-	Tempolimit radarüberwacht