

Einfluss von offenporigem Asphalt auf die Feinstaubbelastung an Straßen

FA 2.273

Forschungsstelle: Müller-BBM GmbH, Planegg / Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, Augsburg

Bearbeiter: Ropertz, A. / Suritsch, N. / Dutzi, R. / Wächter, G. / Beckenbauer, T. / Ott, H. / Ostermair, C. / Munzert, K. / Männel, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juli 2009

1 Aufgabenstellung

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG (über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft) in nationales Recht wurde die 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (22. BImSchV) novelliert und insbesondere die Immissionswerte für Feinstaub (Partikel PM_{10}) drastisch verschärft. Seit dem 1. Januar 2005 beträgt der über ein Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub zum Schutz der menschlichen Gesundheit $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der über 24 Stunden gemittelte Feinstaub-Immissionsgrenzwert $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr.

Insbesondere an den Verkehrsmessstationen ist es in den letzten Jahren bundesweit zu erheblichen Überschreitungen des Tagesmittelwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bei 35 Überschreitungen pro Jahr) gekommen, der sich in der Praxis als der deutlich "strengere" Grenzwert gegenüber dem Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erwiesen hat. Je nach lokalen Randbedingungen (u. a. DTV-Wert, SV-Anteil, Straßenzustand, Ausbreitungsbedingungen) wird ab Jahresmittelwerten von etwa 27–36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ der Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mehr als 35-mal überschritten.

Bei Überschreiten der Immissionswerte sind die zuständigen Immissionsschutzbehörden verpflichtet, Luftreinhaltepläne und bei der Gefahr von Überschreitungen Aktionspläne aufzustellen. Im Rahmen einer nachhaltigen Luftreinhalteplanung müssen geeignete Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffbelastung behördlicherseits aufgezeigt und bei Überschreiten der Grenzwerte diese auch umgesetzt werden. Im Fokus potenzieller Maßnahmen steht dabei vorrangig der Kfz-Verkehr, der lokal als einer der Hauptverursacher für die hohe Feinstaubbelastung gilt.

Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaubemissionen beziehen sich für den Kfz-Bereich neben der Reduzierung der direkten Auspuffemissionen auch auf die Verringerung der direkten Emissionen durch Abrieb (u. a. von Brems-, Kupplungs- und Reifenabrieb) und der indirekten Emissionen durch Straßenabrieb und Wiederaufwirbelung. Gerade im Rahmen der notwendig gewordenen Aufstellung von Luftreinhalte- und Aktionsplänen wird der Anteil des Straßenabriebs und der Wiederaufwirbelung an der Feinstaubbelastung seit einiger Zeit diskutiert.

Bislang noch nicht systematisch untersucht ist in diesem Zusammenhang die Frage, welchen Einfluss verschiedene Straßendeckschichten, wie beispielsweise konventioneller Splittmastixasphalt (SMA) oder offenporiger Asphalt ("porous asphalt", PA), auf die indirekten Feinstaubemissionen durch Straßenabrieb und Wiederaufwirbelung haben.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Untersuchung der Frage, ob und in welcher Ausprägung sich die Ausstattung von Verkehrswegen mit offenporigen Asphaltdeckschichten nicht nur lärmindernd, sondern auch positiv auf die Luftschadstoffbelastung durch Feinstaub an hoch frequentierten Bundesfernstraßen auswirkt. Dieser Fragestellung liegt die folgende Überlegung zugrunde, die im Rahmen des Forschungsvorhabens auf ihre Geltung hin untersucht wurde:

Die von den Fahrzeugen emittierten Partikel werden durch Sedimentation und Deposition in die Poren des offenporigen Asphalts verfrachtet und dort vor einer weiteren Aufwirbelung bewahrt. Dadurch wird der Beitrag durch die Aufwirbelung von zuvor emittierten oder von außen eingetragenen Partikeln reduziert.

Folgende Fragen stehen in direktem Zusammenhang mit dieser Zielstellung:

- Findet eine Minderung des PM_{10} -Gehalts der bodennahen Atmosphäre bei Verwendung von offenporigen Asphaltdeckschichten statt? Wenn ja: Auf welchen Mechanismen beruht die Reduktion des PM_{10} -Gehalts?
- Tritt eine Änderung der Luftschadstoffbelastung durch PM_{10} bei Regenereignissen auf? Wenn ja, kann dies mit Verwendung des PA korrelieren oder wird dieses Verhalten auch an Standorten mit anderen Deckschichten beobachtet?
- Wirkt sich gegebenenfalls die Beladung des Porenvolumens des PA durch Feinstaub negativ auf die lärmindernden Eigenschaften des PA aus?

Bei einer nachgewiesenen Minderungswirkung durch Verwendung von offenporigen Asphaltdecken könnten Straßenbaumaßnahmen nicht nur zur Lärminderung, sondern auch zur Senkung der Luftschadstoffbelastung durch PM_{10} beitragen.

2 Untersuchungsmethodik

Als Basis zur Bearbeitung des Projekts sowie zur Beantwortung der unter Abschnitt 1 genannten Fragestellungen diente die folgende Vorgehensweise:

- Literaturstudie zur Minderungswirkung auf die Partikel PM_{10} -Belastung beim Einsatz von PA an hoch frequentierten Straßen,
- Durchführung von PM_{10} -Messungen an einem geeigneten Standort an einer hoch frequentierten Außerortsstraße zur Untersuchung eines potenziellen Minderungseffekts sowie
- Auswertung, Analyse und Bewertung der Messdaten sowie der Erkenntnisse aus der Literaturstudie in Bezug auf die oben genannte Fragestellung.

Neben einer eingehenden Literaturrecherche wurden als wesentlicher experimenteller Teil umfangreiche Partikel PM_{10} -Messungen sowie meteorologische Messungen kontinuierlich über einen Zeitraum von etwa 15 Monaten bei kalendertäglicher Beprobung der Filter an einer hoch frequentierten Außerortsstraße realisiert.

Die verfolgte Messstrategie basiert auf dem Ansatz, Partikel PM_{10} -Messungen zeitgleich sowohl an einer konventionellen Deckschicht (z. B. Splittmastixasphalt, SMA) und an einem offenporigen Asphalt (PA) durchzuführen, wobei möglichst alle weiteren Einflussgrößen (wie DTV-Wert, Anteil Lkw bzw. SV, Anzahl Fahrstreifen, Abstand der Messung von der Emission, Meteorologie, u. a. Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Niederschlag, Strömungsfeld am Standort, Vor- bzw. Hintergrundbelastung) konstant zu halten sind. Darüber hinaus war die sichere Zugänglichkeit der Messstellen sowie die Bereitstellung einer Spannungsversorgung zu gewährleisten. Gewählt wurde ein "Versuchsaufbau" im Bereich eines Übergangs von konventioneller zu offenporiger Deckschicht, da die Konstanz der Emissionssituation (DTV-Wert, etc.) als zentrale Einflussgröße betrachtet wurde.

Als Ergebnis der Messortsuche wurde ein Abschnitt der A 9 zwischen den Anschlussstellen Trockau und Bayreuth-Süd ausgewählt. Der Standort erschien für das Projekt aufgrund seiner geringen bis moderaten Hintergrundbelastung besonders geeignet, um Einflüsse einer hohen und gegebenenfalls stark variierenden Hintergrundbelastung ausschließen zu können. An diesem Standort wurden im Bereich des Übergangs von konventioneller zu offenporiger Deckschicht insgesamt 4 PM_{10} -Messstellen (je 2 PM_{10} -Messstellen an SMA und PA, jeweils 1 Messsystem je Fahrtrichtung bei gleichem Abstand zum Fahrbahnrand) installiert. Durchgeführt wurden die PM_{10} -Messungen mit Kleinfiltergeräten gemäß DIN EN 12 341 (Referenzverfahren).

Die lokalen Ausbreitungsbedingungen der bodennahen Atmosphäre wurden durch ergänzende meteorologische Messungen direkt an der A 9 erfasst, wobei im Rahmen der Auswertung zusätzlich Daten der Station Hof-Hohensaas des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen wurden.

Zur Beantwortung der Frage, ob sich die PM_{10} -Messungen an den jeweiligen Deckschichten SMA und PA gegebenenfalls auch durch spezifische Muster der Inhaltsstoffe unterscheiden, wurden in ausgewählten Datenkollektiven umfangreiche Inhaltsstoffanalysen durchgeführt. Hierzu wurden alle beprobten Filter nach den gravimetrischen Analysen tagschaff zurückgestellt und nachträglich insbesondere windrichtungsbabhängig auf Inhaltsstoffe (insbesondere Metalle) analysiert.

Um neben den langfristigen Mittelwerten sowie den Kenngrößen dieser Datenkollektive auch Informationen über typische Tagesgänge der Spurenstoffe an den Messstandorten, die Strömungscharakteristik sowie typische Korngrößenverteilungen innerhalb der PM_{10} -Fraktion zu erhalten, wurden temporär über Zeiträume von etwa 4–8 Wochen zusätzliche Messungen mit zeitlich höher auflösenden Messsystemen durchgeführt. Sowohl die Erfassung der gasförmigen Komponenten NO , NO_2 , O_3 und CO sowie der Partikelfraktionen PM_{10} , $PM_{2,5}$ und PM_1 erfolgte mit je zwei Messsystemen an der SMA-Deckschicht.

In Ergänzung zu den kontinuierlichen PM_{10} -Messungen sowie den temporären Messungen von PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 und den gasförmigen Komponenten NO , NO_2 und O_3 wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) kontinuierlich Staubbiederschlagsmessungen (StN) durchgeführt. Analog zu den PM_{10} -Messungen wurden insgesamt 4 Messorte (je 2 StN-Messstellen an SMA und PA, jeweils 1 Sammler je Fahrtrichtung bei gleichem Abstand zum Fahrbahnrand) realisiert. Neben den gravimetrischen Analysen wurden auch die gesammelten Staubbiederschlagsproben auf verschiedene Inhaltsstoffe analysiert.

Über die lufthygienischen und meteorologischen Messungen hinaus wurden jeweils zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraums Messungen der Reifen-Fahrbahn-

Geräusche nach der in ISO/CD 11819-2 beschriebenen Anhängermessmethode (CPX) durchgeführt. Aus einem Vergleich der Ergebnisse der akustischen Messungen zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraums konnte auf die akustische Minderungswirkung des offenporigen Fahrbahnbelags geschlossen werden und somit indirekt auf dessen Verschmutzungsgrad.

Zur Beurteilung der im Bereich der A 9 erfassten PM_{10} -Daten im Hinblick auf die regionale Immissionsituation wurden vergleichend Messdaten aus dem Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) ausgewertet. Hierzu wurden die Monatskenngrößen für PM_{10} der Stationen Bayreuth, Kulmbach, Arzberg, Erlangen und Bamberg des LfU Bayern herangezogen.

3 Untersuchungsergebnisse

Aus den im Rahmen der Literaturstudie ausgewerteten Untersuchungen kann im Grundsatz ein PM_{10} -Minderungspotenzial durch offenporigen Asphalt abgeleitet werden, das auf einer Reduzierung des Emissionsanteils "Wiederaufwirbelung" basiert. Die Höhe dieses Anteils variiert dabei in Abhängigkeit der lokalen Randbedingung, wie beispielsweise Straßenzustand, Flottenzusammensetzung, Lkw-Anteil und Fahrzyklus, und liegt außerorts typischerweise bei etwa 30 % der Gesamt- PM_{10} -Emissionen durch den Kfz-Verkehr. Diesem PM_{10} -Emissionsanteil durch Wiederaufwirbelung wird insbesondere zukünftig eine besondere Bedeutung zukommen, da der Anteil der direkten Motoremissionen an den Gesamtstaubemissionen des Straßenverkehrs zurückgehen wird. Die weiteren Quellterme wie die direkten Auspuffemissionen mit ca. 50 % sowie Brems- und Reifenabrieb mit ca. 20 % sind hingegen nicht bzw. kaum durch die eingesetzte Fahrbahnbelagschicht beeinflussbar.

Die Ergebnisse der PM_{10} -Messungen wurden zunächst vor dem Hintergrund der meteorologischen Verhältnisse während des Messzeitraums analysiert und bewertet. Die dazu verwendeten meteorologischen Daten stellen dazu eine belastbare Datenbasis zur Charakterisierung der lokalen Austauschverhältnisse an der A 9 dar, da sie zeitgleich lokal erfasst wurden.

Die jahreszeitliche Variation der PM_{10} -Konzentrationen zeigt erwartungsgemäß im Mittel deutlich höhere Belastungen im Winterhalbjahr als im Sommerhalbjahr. Auf der Basis von Monatsmittelwerten lagen die maximalen PM_{10} -Konzentrationen im Februar etwa um den Faktor 2 höher als im Juli und August. Diese Charakteristik ist im Wesentlichen auf die jahres- und tageszeitliche Variation der atmosphärischen Austauschbedingungen in Verbindung mit den Hauptemissionszeitpunkten zurückzuführen.

Im Hinblick auf die regionale Einordnung der an der A 9 erfassten PM_{10} -Belastung wurden die Messdaten den vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) erfassten PM_{10} -Kenngrößen im regionalen Umfeld gegenübergestellt. Die insgesamt gute qualitative Übereinstimmung im zeitlichen Verlauf der PM_{10} -Daten dokumentiert dabei den Einfluss der regionalen und überregionalen Hintergrundbelastungen sowie der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen auf die lokale PM_{10} -Belastung. Die an der A 9 erfassten mittleren PM_{10} -Konzentrationen liegen im Verlauf zumeist zwischen den Werten der Hintergrundstationen (z. B. Erlangen) und den eher hohen PM_{10} -Belastungen der Verkehrsmessstationen.

Zur weiteren Analyse der PM_{10} -Messergebnisse wurden die PM_{10} -Daten in Abhängigkeit verschiedener Parameter, wie z. B. Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Niederschlag, untersucht und bewertet. Das ausschließlich auf Queranströmung des relevanten Streckenabschnitts basierende Datenkollektiv zeigte einen deutlichen Effekt in Bezug auf die resultierenden

PM₁₀-Belastungen an den unterschiedlichen Deckschichten SMA und PA. Ohne einen nennenswerten horizontalen Transport zwischen SMA und PA lagen die PM₁₀-Konzentrationen am PA im Mittel um 4 µg/m³ niedriger als am konventionellen SMA. Innerhalb dieses Datenkollektivs (Queranströmung) konnte diese Verringerung im Wesentlichen auf Tage mit Niederschlagsereignissen zurückgeführt werden. Während an Tagen ohne Niederschlag kein signifikanter Unterschied der PM₁₀-Konzentrationen zwischen SMA- und PA-Belag festgestellt werden konnte, wurden an Tagen mit Niederschlag im Bereich des PA im Mittel um 5 µg/m³ und damit um mehr als 20 % geringere PM₁₀-Konzentrationen als an dem Autobahnabschnitt mit SMA erfasst.

Im Hinblick auf den Wirkungszusammenhang ist davon auszugehen, dass durch die Niederschläge relevante Anteile sedimentierter und deponierter Partikel in den Porenraum des offenporigen Asphalts (PA) verfrachtet werden, die dann nach Abtrocknung der Fahrbahnoberflächen für eine Resuspension in die bodennahe Atmosphäre nicht mehr bzw. lediglich zu einem geringeren Anteil zur Verfügung stehen.

Aus allen weiteren Analysen der PM₁₀-Ergebnisse in Abhängigkeit von Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie aus den umfangreichen Inhaltsstoffanalysen in den verschiedenen Datenkollektiven konnten keine belastbaren Aussagen in Bezug auf eine Differenzierung zwischen den Deckschichten SMA und PA abgeleitet werden.

Aus den kontinuierlichen und zeitlich hochaufgelösten Messungen von PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁ während eines etwa 5-wöchigen Zeitraums konnte der Anteil von motor- bzw. verbrennungsbedingten Partikeln an den Gesamt-PM₁₀-Immissionen abgeschätzt werden. Von den ermittelten PM₁₀-Konzentrationen konnten im Mittel etwa 70 % dem PM_{2,5} und etwa 60 % dem PM₁ zugeordnet werden. Der nicht motorbedingte Anteil am PM₁₀ lag somit am untersuchten Abschnitt der A 9 im Mittel bei etwa 30 bis 40 %, wobei die Verhältnisse von PM_{2,5} und PM₁ zu PM₁₀ dabei im Tagesgang nicht konstant waren.

Darüber hinaus konnten aus den kontinuierlichen PM_x-Messungen sowie aus der kontinuierlichen Erfassung gasförmiger Komponenten typische Tagesgänge abgeleitet werden, die zusätzlichen Aufschluss über die Wirkungszusammenhänge der PM_x-Immissionen sowie der Ausbreitungscharakteristik an den Messstandorten erlauben.

Die durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) über den gesamten Messzeitraum erfassten Staubniederschläge lagen an den 4 Messorten am SMA und PA insgesamt auf einem geringen bis moderaten Niveau. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Depositionsmessungen, dass auch bei den größeren Partikelfractionen (als wesentliche Bestandteile des Staubniederschlags), die im unmittelbaren Nahbereich der Autobahn wieder sedimentieren, die Staubniederschlagsbelastung im Bereich des PA gegenüber dem konventionellen SMA geringer ist.

4 Folgerungen für die Praxis

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die Ausstattung von Verkehrswegen mit offenporigen Asphaltdeckschichten eine interessante Maßnahmenoption zur potenziellen Verringerung der PM₁₀-Emissionen durch Wiederaufwirbelung somit zur Reduktion der PM₁₀-Immissionen darstellt. Dies gilt insbesondere auch aufgrund der synergetischen Wirkung mit dem eigentlichen Einsatzzweck der Lärminderung.

Die vorliegenden Ergebnisse sollten durch weitere Untersuchungen mit kontinuierlichen, korngroßen-fraktionierenden Messgeräten an weiteren geeigneten Standorten abgesichert werden. Es wird empfohlen, hierbei neben den unbedingt erforderlichen meteorologischen Messungen auch kontinuierliche NO_x-Messungen durchzuführen, um grundsätzlich die Wirkungszusammenhänge der Schadstoffausbreitung im Nahbereich von stark frequentierten Straßenabschnitten detaillierter beschreiben zu können. Ergänzend könnten bei weiteren Messkampagnen auch gezielte Bewässerungsversuche durchgeführt werden, um den im Mittel statistisch nachgewiesenen Minderungseffekt auch bei hohen Feinstaubkonzentrationen zu quantifizieren.

Im Falle einer signifikanten Minderungswirkung stellt der Einsatz von offenporigen Asphaltdeckschichten eine geeignete Maßnahme im Rahmen der von den Behörden nach dem BImSchG und der 22. BImSchV aufzustellenden Luftreinhalte- und Aktionspläne dar, die nachhaltig zur Minderung der Feinstaubbelastung beitragen könnte.