

## Einsatz von Straßenbewässerung zur Minderung der PM<sub>10</sub>-Belastung

FA 2.279

Forschungsstelle: KOMMZEPT – Ingenieurbüro Hausmann, Bannewitz

Bearbeiter: Hausmann, G.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: August 2009

### 1 Aufgabenstellung

Durch die Novellierung der 22. Bundesimmissionsschutzverordnung (BlmSchV) wurden die Forderungen der RL 1996/62/EG über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität und deren Tochtrichtlinie RL 1999/30/EG über Grenzwerte für verschiedene Luftschadstoffe in nationales Recht umgesetzt. Bei Überschreiten der Grenzwerte müssen durch die zuständige Immissionsschutzbehörde Luftreinhaltepläne und bei der Gefahr der Überschreitung Aktionspläne aufgestellt werden. Diese können "je nach Fall Maßnahmen zur Beschränkung und soweit erforderlich zur Aussetzung der Tätigkeiten, einschließlich des Kraftfahrzeugverkehrs, vorsehen" (§ 11, Abs. 4 der 22. BlmSchV). Im Zuge der Luftreinhalteplanung müssen geeignete Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffbelastung aufgezeigt und bei Überschreiten der Grenzwerte eingesetzt werden.

Im Zuge dieser Maßnahmenplanungen stellt sich die Frage, inwiefern sich der Einsatz von Lösungen, welche Staub bindende Eigenschaften aufweisen, positiv auf die Luftschadstoffbelastung durch Partikel auswirkt. Studien aus Skandinavien und Österreich haben gezeigt, dass die Verwendung von CMA (Calcium-Magnesium-Acetat) als Winterstreumittel zu einer Feinstaubminderung führt. Im Winterdienst eingesetzte Taustoffe wie Calcium- oder Magnesiumchlorid mit einer hygroskopischen Wirkung könnten ebenfalls geeignet sein. So könnten die Partikelbelastungen insbesondere in den schadstoffreichen Wintermonaten durch den Einsatz von Tausalzlösungen im Winterdienst anstelle der in Deutschland genutzten Feuchtsalzzstreueung vermindert werden.

Beim Feuchtsalzzstreueverfahren auf trockenen oder nur mit sehr dünnen Feuchtfilmen überzogenen Straßen lässt sich beobachten, dass ausgebrachte Tausalzkörner teilweise schon nach wenigen schnellen Fahrzeugüberfahrten durch Fahrtwindwirkung Richtung Fahrbahnrand befördert sind. Dort sind sie für die Glättevermeidung/-beseitigung auf der Fahrbahn wirkungslos. Deshalb kann bei einer zu erwartenden Glätte mit geringer Eismenge der Einsatz von Tausalzlösungen, die vollständig auf der Fahrbahn haften bleiben, sinnvoll sein. Andere europäische Länder verwenden bereits Tausalzlösungen im Winterdienst.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung der Minderungswirkung auf die PM<sub>10</sub>-Belastung der Luft an hoch frequentierten Straßen durch Verwendung von Calcium- oder Magnesiumchloridlösungen. Dabei wird von der Vorstellung ausgegangen, dass die von Fahrzeugen emittierten Partikel sowie das von außen eingetragene Material durch die Tausalzlösung, die durch Streufahrzeuge ausgebracht wird, gebunden und somit der Umgebungsluft entzogen werden. Somit könnte ein Beitrag zur Senkung der Feinstaubbelastung in der Nähe von Straßen geleistet werden.

Das Ausbringen von Taustofflösungen anstelle von Feuchtsalz zum Vermeiden von Glätte kann auch zu einer Reduzierung des Taustoffverbrauchs führen.

Der teilweise Einsatz von Tausalzlösungen statt der Feuchtsalzzstreueung soll der Glättevermeidung dienen und zu einer Reduzierung des Tausalzaustrags durch den Winterdienst führen.

Folgende Fragen mussten geklärt werden:

- Sind die bisher in Deutschland im Gebrauch befindlichen Streumaschinen geeignet zum Ausbringen von Lösungen?
- Wenn nicht: Welche Modifizierungen müssen am Streuteller oder anderen Vorrichtungen der Streumaschinen vorgenommen werden, um ein Ausbringen der Lösungen zu optimieren?
- Wird die Griffbarkeit der Straße durch das Ausbringen von Lösungen beeinflusst?
- Findet eine Minderung des PM<sub>10</sub>-Gehalts der Luft bei Verwendung von Tausalzlösungen zur Glättevermeidung statt?
- Wenn ja: Auf welchen Mechanismen beruht die Reduktion des PM<sub>10</sub>-Gehalts? Konnte ausgeschlossen werden, dass es sich um natürliche, durch meteorologische Ereignisse hervorgerufene Schwankungen handelt?
- Welche alternativen Streustoffe des Winterdienstes stehen zur Verfügung und wie sieht ein monetärer Vergleich der Anschaffungs- und Betriebskosten beim Einsatz abstumpfender Stoffe aus?
- Welche Mengen an Lösungen sind für die Eisvermeidung bzw. -beseitigung notwendig?

Bei einer nachgewiesenen Minderungswirkung durch Verwendung von Lösungen kann – eventuell auch an schadstoffreichen Sommertagen – der Einsatz von Streufahrzeugen des Winterdienstes nicht nur zur Sicherheit, sondern auch zur Luftreinhaltung beitragen. Durch eine so herbeigeführte Absenkung der Luftschadstoffbelastung können verkehrsbeschränkende Maßnahmen umgangen werden.

### 2 Untersuchungsmethodik

In den letzten Jahren wurde international eine Reihe unterschiedlicher Maßnahmen erprobt, um die besonders in Städten auftretende Feinstaubbelastung zu vermindern. Dabei wurden auch Straßenflächen gezielt befeuchtet, um somit Feinstaub auf Fahrbahnen zu binden. Die Wirkungsdauer einer Befeuchtung mit unbehandeltem Wasser ist jedoch relativ kurz. Insofern konnte keine nachhaltige Absenkung der Feinstaubbelastung erreicht werden.

Zudem ist es problematisch, in den Wintermonaten, in denen erfahrungsgemäß die höchsten Feinstaubbelastungen auftreten, reines Wasser auf die Fahrbahn aufzubringen.

Stoffe, die sowohl hygroskopische Eigenschaften haben als auch eine Tauwirkung besitzen, könnten für den Winterdienst mit positiven Nebenwirkungen auf die Staubbindung eingesetzt werden.

Die Feinstaubmessungen erfolgen mit fest installierten Stationen des sächsischen Messnetzes. Die Dauermessstellen sind mit folgenden zertifizierten Geräten für die PM<sub>10</sub>-Messung ausgestattet:

- Vorabscheider DPM 10/30 (Fa. Digital)
- TEOM Staubmessgerät zur kontinuierlichen Messung von Schwebestaubkonzentrationen (Fa. Rupprecht & Patashnick)

Es wurde folgendes Messprogramm durchgeführt:

- Ausbringung von Salzlösung in unterschiedlichen Streudichten (12, 16, 24, 32 g/m<sup>2</sup>) bei kompletter Behandlung der stark frequentierten Verkehrsflächen im Bereich der Messstelle;
- Beobachtung und Auswertung der Abtrocknung unter Berücksichtigung der meteorologischen Randbedingungen;
- Auswertung der PM<sub>10</sub>-Messungen mit dem TEOM-Gerät in 30-Minuten-Intervallen;
- zusätzliche Bestimmung der Tagesmittelwerte anhand der Laboranalyse des mit dem Vorabscheider DPM 10/30 gesammelten Staubes sowie
- Gegenüberstellung der Messwerte, insbesondere der Tagesgänge, während des Versuchszeitraums, mit den Werten einer weiteren Verkehrsmessstation, einer Messstation für den städtischen und einer weiteren für den regionalen Hintergrund.

Ziel der Befeuchtungsmaßnahmen war es, die Feinstaubemissionen zu mindern. Befeuchtungsmaßnahmen zielen darauf ab, insbesondere Staubaufwirbelungen zu vermeiden, die einen Beitrag zur gemessenen PM<sub>10</sub>-Belastung leisten. Die Auswertung der Wirksamkeit von Befeuchtungsmaßnahmen konzentriert sich daher im ersten Schritt auf den direkten Einfluss auf die gemessenen PM<sub>10</sub>-Emissionen. Dabei ist zuerst interessant, ob ein Einfluss der Befeuchtung auf die Halbstundenwerte zu erkennen ist. In den Auswertungsdiagrammen ist außerdem der Tagesgang der PM<sub>10</sub>-Werte der Hintergrundstationen und der Vergleichstationen dargestellt. Weiterhin wird die Differenz der Werte der auszuwertenden Messstation zu der Hintergrundstation dargestellt, um den Hintergrundanteil der Belastung auszublenden.

Die Versuchsdurchführung war so ausgerichtet, dass nur dann befeuchtet wurde, wenn die Fahrbahn trocken war. Praktisch waren daher nur wenige Tage in den Monaten Dezember 2008 bis März 2009 zur Durchführung von Versuchen geeignet. Insbesondere im Januar 2009 waren die Fahrbahnen in Chemnitz und Dresden fast durchgängig feucht oder nass, obwohl kaum Niederschläge fielen. Die Ursache dafür lag in der Taupunktunterschreitung an der Fahrbahnoberfläche wegen der anhaltend niedrigen Fahrbahntemperaturen. Dazu kam noch die regelmäßige Ausbringung von FS 30, in dem in Dresden und Chemnitz MgCl<sub>2</sub>-Sole enthalten ist. Damit fand im gesamten Stadtgebiet eine ständige Fahrbahnbefeuchtung statt. Ein Vergleich befeuchteter und unbefeuchteter Abschnitte war damit nicht möglich. Der Monat Februar 2009 war durch häufige Niederschläge gekennzeichnet.

An den Versuchstagen wurde die Befeuchtung wiederholt, wenn die Fahrbahn deutlich sichtbar abgetrocknet war. Mit dieser Verfahrensweise wurde ein differenzierter Soleinsatz praktiziert, der nur dann erfolgte, wenn auch Effekte erwartet werden konnten.

Die Versuchstage verteilten sich auf die Monate Dezember 2008 bis März 2009. Begonnen wurde mit niedrigen Dosierungen, die dann immer weiter gesteigert wurden.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Minderung der Reibwerte

Es wurde immer wieder davon berichtet, dass nach dem Einsatz traditioneller Taumittel (CaCl<sub>2</sub> und MgCl<sub>2</sub>-Lösung) ein "Schmiereffekt" entsteht, der auch zu gefährlichen Situationen führen kann.

Auch beim Einsatz von CMA in Klagenfurt kam es zu einer Verminderung der Reibwerte. Die Zonen, in denen CMA angewandt wird, sind deshalb besonders gekennzeichnet und in der Fahrgeschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt.

Im Rahmen des Forschungsthemas wurden Reibwertmessungen mit dem SRT-Pendel durchgeführt. Die Feldmessungen fanden im Bereich der Messstation Dresden Bergstraße in landwärtiger Richtung statt. Die MgCl<sub>2</sub>-Lösung wurde in Streudichten von 16, 32 und 48 g/m<sup>2</sup> auf die Fahrbahn aufgebracht. Nach der Ausbringung der Sole wurde 10 Minuten Verkehrseinwirkung zugelassen, damit die in großen Tropfen ausgebrachte Sole durch die Fahrzeuge verteilt wurde und in den Rollspuren ein sichtbarer Solefilm entstand. Nach der anschließenden Sperrung des Fahrstreifens begann die Messung mit SRT-Pendel. Gemessen wurde in der rechten Rollspur des rechten Fahrstreifens. Für jeden Streudichtewert wurde an drei jeweils einen Meter voneinander entfernten Messpunkten gemessen. Die Messungen wurden nach jeweils 1 Stunde Verkehrseinfluss noch zweimal wiederholt.

Die Messungen zeigten, dass durch die Solebefeuchtung der Fahrbahn mit Solemengen bis etwa 50 g/m<sup>2</sup> keine schlechteren Reibwerte auftraten, als sie bei regennasser Fahrbahn vorkommen würden. Die solebefeuchtete Fahrbahn wird optisch auch als feuchte Fahrbahn wahrgenommen. Insofern ist davon auszugehen, dass das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer auf diese Wahrnehmung eingestellt ist.

#### 3.2 Streumaschinen

Die in Deutschland derzeit gebräuchlichen Streumaschinen für den Straßenwinterdienst sind nicht für einen regulären Einsatz mit ausschließlich flüssigen Taustoffen vorgesehen. Es ist aber behelfsmäßig möglich, bei leerem Trockenstoffbehälter ausschließlich Sole über den Streuteller auszubringen. Die Behälterkapazität für Sole ist dabei sehr begrenzt, da sie nur für die 30 % Sole im Rahmen der FS-30-Technologie ausgelegt ist. Für die Befeuchtung von einem Kubikmeter Trockenstoff werden in der Streumaschine 430 l Sole mitgeführt.

Die vorhandenen Geräte müssen für die Soleausbringung neu justiert und gegebenenfalls mit anderen Streutellern ausgerüstet werden. Wenn im regulären Winterdiensteinsatz NaCl-Lösung verwendet wird, muss die Soleanlage der Streumaschine zwischen den Einsätzen gespült werden, da MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> und CMA in Verbindung mit NaCl unlösliche Rückstände bildet, die zu Verstopfungen führen können. Eine Umrüstvariante könnte auch darin bestehen, dass ein größerer Solebehälter in den Trockenstoffbehälter der Streumaschine eingebracht wird. Dann könnte die Nutzmasse der Fahrzeuge ausgenutzt werden und es würden große Reichweiten erzielt.

Bei den Herstellern sind auch Erfahrungen für den Bau spezieller Solesprühgeräte vorhanden. Die Ausbringung von flüssigen Taustoffen wird in den skandinavischen Ländern und auf Flughäfen schon länger praktiziert. Die technischen Lösungen für eine dosierte Ausbringung von Flüssigkeiten sind vorhanden oder befinden sich in der Entwicklung und entsprechen hinsichtlich der wegeabhängigen Dosierung weitgehend denen, die auch für die Verteilung von körnigen Streustoffen angewandt werden.

### 3.3 Minderung der PM<sub>10</sub>-Belastung

Um eine Aussage darüber zu erhalten, ob durch die Befeuchtungsmaßnahmen Feinstaub gebunden wird, musste eine geeignete Analyseverfahren der Tagesdiagramme gefunden werden. Vorzugsweise sollten die direkten Auswirkungen auf die PM<sub>10</sub>-Emission nachgewiesen werden, nach Möglichkeit ohne den indirekten Weg über NO<sub>x</sub> als Tracer.

Dafür erschien der direkte Vergleich der jeweiligen Verkehrsmessstation, an der befeuchtet wurde, mit der zugehörigen, vergleichbaren Referenzstation am besten geeignet. Dabei wird automatisch auch der Verkehrseinfluss berücksichtigt, der an beiden Stationen einen vergleichbaren Tagesgang aufweist. Die Differenzbeträge aus den PM<sub>10</sub>-Messungen der beiden Stationen ( $\Delta PM_{10}$  D-Bergstraße-D- Wettiner Platz,  $\Delta PM_{10}$  C-Leipziger Straße-C- Nord) wurden so geordnet, dass die Zahlenwerte für den Befeuchtungszeitpunkt (x) unabhängig von der Uhrzeit in einer Spalte stehen. Das wurde für den Zeitraum von 4 Stunden vor der Befeuchtung (x-4,0) bis 8 Stunden nach der Befeuchtung (x+8,0) ebenso gehandhabt. Die Mittelwerte der so ausgerichteten Zahlenwerte geben dann den Trend wieder, in welcher Relation die PM<sub>10</sub>-Belastungen der Stationspaare zueinander stehen. Dabei sind Werte unterhalb der Monatsdurchschnitte unmittelbar nach der Befeuchtung ein Indiz für die Staubbinding mittels Befeuchtung.

Die Zusammenfassung aller Messtage in Chemnitz und Dresden zeigt einen sehr deutlichen Abfall des Differenzwerts unmittelbar nach der Befeuchtung zum Zeitpunkt x. Das deutet darauf hin, dass sich die Relation der PM<sub>10</sub>-Werte zwischen Messstation und Referenzstation verschiebt und damit der positive Einfluss der Befeuchtung deutlich wird. Es ist auch zu erkennen, dass die Ausgangswerte nach 6 Stunden wieder erreicht sind. Der aus den vorhandenen Werten ermittelte und im Diagramm dargestellte Effekt führt in den 6 Stunden nach einer Befeuchtung zu einer Verminderung der PM<sub>10</sub>-Belastung im Vergleich zur Referenzstation von 6 µg/m<sup>3</sup>. Auf einen Tag bezogen (24 h) würde das eine Minderung von 1,5 µg/m<sup>3</sup> bedeuten.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Die von der Staubbinding auf ungebundenen Fahrbahndecken seit Jahrzehnten bekannte Methode der Befeuchtung mit hygroskopischen Salzlösungen wurde hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für die Minderung der PM<sub>10</sub>-Belastung durch Anwendung auf befestigten Straßenoberflächen untersucht. Aus der Organisation, der Durchführung und der Auswertung der Befeuchtungsversuche lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

1. Eine großflächige Ausbringung von Salzlösungen erfordert die Modifikation vorhandener Winterdiensttechnik hinsichtlich der Behältervolumen auf den Fahrzeugen und der technisch realisierbaren Streubreiten. Die Ausbringung der Salzlösung sollte vorzugsweise über Düsensysteme statt über Streuteller erfolgen.
2. Bei umfassender Anwendung von Befeuchtungsmaßnahmen müssen die Lagervolumina und die Kapazitäten für die Eigenherstellung von Salzlösung erweitert werden.
3. Die durch die Versuche nachgewiesenen Effekte der Staubbinding wirken sich auch unter günstigen Randbedingungen nur in geringem Maße auf die Tagesmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Belastung aus. Im Mittel kann pro Einsatz mit einer Verringerung des Tagesmittelwerts von 1,5 µg/m<sup>3</sup> gerechnet werden. Da maximal zwei Einsätze pro Tag sinnvoll sind, ist im Mittel mit einer Minderung von 3 µg/m<sup>3</sup> zu rechnen.
4. Es konnte nachgewiesen werden, dass auch durch punktuelle und situationsbezogene Befeuchtung Effekte erzielt werden können.
5. Der Erfolg von Befeuchtungsmaßnahmen hängt offenbar auch von den Windgeschwindigkeiten ab. Bei Windgeschwindigkeiten größer als 1 m/s (3,6 km/h) konnte kein nennenswerter Einfluss der Befeuchtung auf die PM<sub>10</sub>-Belastung nachgewiesen werden.
6. Visuelle Beobachtungen und die Auswertung der Messwerte ergaben, dass bis maximal 8 Stunden nach Ausbringung der Salzlösung mit Staub bindenden Effekten zu rechnen ist. Im Mittel ist von einer Wirkungszeit von 6 Stunden auszugehen.
7. Die Ausbringung von MgCl<sub>2</sub>-Lösung mit einer Dosierung von bis zu 50 g/m<sup>2</sup> führt kurzzeitig zu Reibwertminderungen in der Rollspur, die der nassen Fahrbahn entsprechen. Nach Verkehrseinwirkung von einer Stunde sind die Ausgangswerte bei trockener Fahrbahn wieder erreicht. Es gibt aus Fahrersicht keine Abweichung zwischen dem gewohnten visuellen Eindruck bei feuchter oder trockener Fahrbahn und den durch MgCl<sub>2</sub>-Lösung erzeugten Reibwerten.
8. Gegenüber der Anwendung von Salzlösungen für die Staubbinding gibt es in Teilen der städtischen Verwaltungen erhebliche Vorbehalte.
9. Salzlösungen sind in den für die Staubbinding üblichen Dosierungen auch für die Glättebekämpfung einsetzbar.
10. Eine differenzierte Anwendung von Befeuchtungsmaßnahmen erfordert die ständige Beobachtung und Beurteilung der meteorologischen und straßenbezogenen Randbedingungen. Entscheidungen für Befeuchtungsmaßnahmen sollten an folgende Startbedingungen gebunden werden:
  - Prognose erhöhter Tagesmittelwerte der PM<sub>10</sub> Belastung (z. B. > 40 µg/m<sup>3</sup>),
  - trockene Fahrbahn sowie
  - geringe Windgeschwindigkeiten.