

PM₁₀ Belastung durch Laubblasgeräte

Erstellt im Auftrag der

Steiermärkischen Landesregierung
Abteilung 13 – Umwelt und Raumordnung
Landhausgasse 7, 8010 Graz

Bericht Nr. IVT I-23/2013 Hin V&U 2012/10/I-620 vom 03.09.2013

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und
Hinzufügen, veröffentlicht werden.
Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden,
so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Verfasser einzuholen.

PM₁₀ Belastung durch Laubblasgeräte

Freigegeben: Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Peter Sturm

03.09.2013

Erstellt: Mag. Marlene Hinterhofer

03.09.2013

Inhalt

1.	Einleitung	4
2.	Versuchsanordnung	4
2.1.	Messaufbau und eingesetzte Messgeräte.....	4
2.2.	Versuchsobjekte und verwendetes Material.....	6
3.	Auswertung der Versuche	7
3.1.	Messergebnisse.....	8
3.2.	Abschätzung eines Emissionsfaktors	13
4.	Diskussion der Ergebnisse.....	13
5.	Vergleich mit Literaturangaben	14
6.	Abbildungsverzeichnis	15
7.	Literaturverzeichnis.....	16

1. Einleitung

Das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik wurde seitens des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung beauftragt die PM_{10} Konzentrationen beim Einsatz von Laubbläsern zur Straßenreinigung im Vergleich zu herkömmlicher Besenreinigung messtechnisch zu erheben.

Gegenstand der Untersuchung ist die Bestimmung der PM_{10} Emissionen die durch den Betrieb von Laubbläser entstehen. Die Anwendungsgebiete sind vielfältig, neben dem klassischen Laubsammeln im Frühjahr und Herbst bzw. nach Sturmschäden werden sie in Graz auch für die Reinigung der Gehwege von Streumaterial verwendet und auch in der Landwirtschaft finden sich immer vielfältigere Einsatzgebiete.

Nach Rücksprache mit der Holding Graz (Hr. Dipl.-WI (FH) Martin Nigitz, Leitung Grünraum / Stadtreinigung) werden den Gemeinden die Laubbläser vorrangig bei den jährlichen Reinigungsarbeiten auf befestigten Flächen eingesetzt. D.h. die verwendeten Laubbläser ersetzen hauptsächlich den klassischen Straßenbesen und zu einem vernachlässigbaren Anteil den Rechen.

Auf Basis dieser Tätigkeitsbeschreibung wurde für die Bestimmung der zu erwartenden PM_{10} Konzentrationen der Einsatz von Laubbläser mit dem Einsatz von Besen verglichen. D.h. Ziel der Untersuchung ist es den Betrieb der Laubbläser mit dem Einsatz herkömmlicher Arbeitsgeräte (Besen) bezogen auf die PM_{10} Emissionskonzentration zu vergleichen. Die Bestimmung der PM_{10} Konzentration erfolgt im Rahmen eines Testversuches, nachstehend werden die Versuchsanordnung sowie die erzielten Ergebnisse detailliert beschrieben und diskutiert.

2. Versuchsanordnung

In weiterer Folge wurde überschlägig ein Emissionsfaktor für die beiden Tätigkeiten „blasen“ und „kehren“ abgeleitet.

2.1. Messaufbau und eingesetzte Messgeräte

Die Versuche sind in der Halle des Institutes für Wasserbau und Wasserwirtschaft auf dem Gelände der Technischen Universität Graz (Inffeldgasse) am 13.8.2013 durchgeführt worden. Die Halle ist ca. 8 - 10 m hoch und auf einer Seite offen (Gitter) (siehe Abbildung 1).

In der Halle wurde eine Versuchsfläche im Ausmaß von ca. 80 m² abgesteckt. Innerhalb dieser Fläche wiederum, wurde auf einem markierten Bereich von 35 m² eine definierte Menge von Material gleichmäßig aufgebracht (siehe Abbildung 2). Dieses Material wurde dann mittels Laubbläser bzw. Besen aus dem Bereich, an den Messgeräten vorbei, entfernt.

Bei den eingesetzten PM_{10} und $PM_{2,5}$ Messgeräten handelt es sich um zwei Sharp 5030 Staubmonitore, die die Immissionskonzentration als 5 Sekunden Mittelwert erfassen. Die Erfassung der Windgeschwindigkeit dient primär dazu einheitliche Versuchsbedingungen (wenig Längsströmung) zu garantieren. Steigt die Windgeschwindigkeit auf mehr als 0,8 m/s wird der Versuch nicht gestartet. Die Windgeschwindigkeit wird sekundlich erfasst. Zur Erfassung der Hintergrundkonzentration wurde ein GRIMM Messgerät eingesetzt, das sowohl die PM_{10} als auch $PM_{2,5}$ Konzentration als 3 Minuten Mittelwert aufzeichnet. Sollte sich zwischen den einzelnen Versuchen die Konzentration nicht wieder

auf das Niveau vor Beginn des Versuches absenken, ist es möglich die Konzentrationswerte mit der Hintergrundkonzentration abzugleichen.



Abbildung 1: Versuchshalle in der Inffeldgasse, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

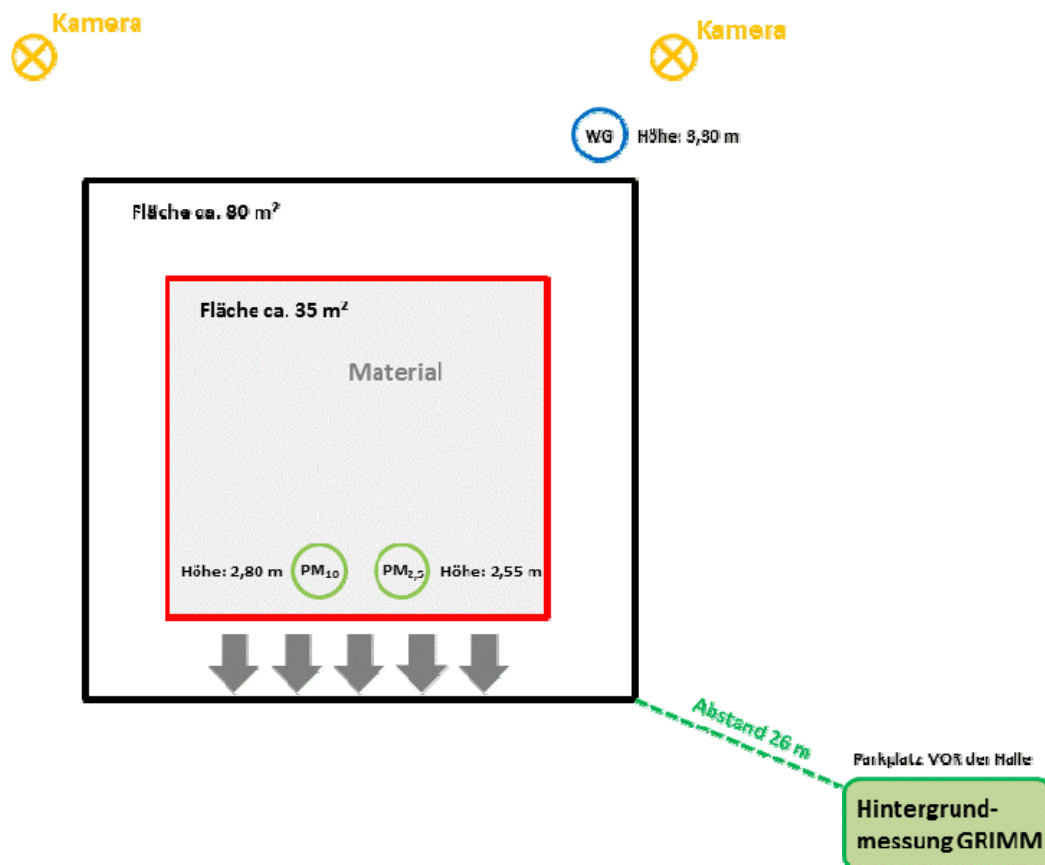


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Messaufbaus innerhalb der Halle.



Abbildung 3: Fotos vom Messaufbau.

2.2. Versuchsobjekte und verwendetes Material

Der eingesetzte Laubbläser wurde vom Wirtschaftshof Graz für die Dauer der Versuche zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um das rückengetragenes Modell Echo PB-650 mit einer Leistung von $17 \text{ m}^3/\text{min}$ und einer Ausblasgeschwindigkeit von maximal 94 m/s . Der Laubbläser wird mit Gerätebenzin betrieben.



Abbildung 4: Eingesetzter Laubbläser der Marke Echo PB-650.

Beim verwendeten Besen handelt es sich um einen handelsüblichen Straßenkehrbesen mit einer Breite von 40 cm .

Das ausgebrachte Material besteht aus Staub und Split, das in seiner Zusammensetzung dem Material entspricht, das von der Kehrmaschine auf dem Gelände der Technischen Universität auf den befestigten Fahrwegen entfernt wurde (siehe Abbildung 5). Die Menge des Materials wird über das Volumen bestimmt und bei allen Versuchen konstant gehalten.

ten. Bei jedem Versuch wird neues Material ausgebracht. D.h. für jeden Versuch wird auf einer Fläche von 35 m² ca. 13,3 kg (12,8 – 13,8 kg) Material ausgebracht. Das entspricht einer Verunreinigung von 0,38 kg/m². D.h. die Oberfläche wurde sehr stark verunreinigt.



Abbildung 5: Material aus der Kehrmaschine, das beim Versuch ausgebracht wurde.



Abbildung 6: Ausgebrachtes und verteiltes Material auf der Versuchsfläche.

Ziel ist es das auf der Versuchsfläche aufgebrachte Material gezielt, an den Messgeräten vorbei durch das Gitter, aus der Halle zu bringen. Die Dauer wird gestoppt und erst wenn die Immissionsmessungen wieder das Grundniveau erreicht haben wird erneut Material ausgebracht. D.h. die Dauer der Auswirkungen (erhöhte Feinstaubwerte) kann anhand der Messwertverläufe festgestellt werden.

Anmerkung: bei dem eingesetzten Versuchsmaterial handelt es sich um ein bereits einmal gekehrtes Material. D.h. die Anteile an PM₁₀ dürften beim ursprünglichen maschinellen Kehrvorgang bereits reduziert worden sein.

3. Auswertung der Versuche

Da das Einsatzgebiet für den Laubbläser vorrangig der Straßenbereich ist und die Grünflächen in Graz nur eine untergeordnete Rolle spielen (Hr. Dipl.-WI (FH) Martin Nigitz Lei-

tung Grünraum / Stadtreinigung, Besprechung 15.4.2013), wird für die Beurteilung der Emissionen der Besen dem Laubbläser gegenübergestellt. Das bedeutet weiters, dass bei der Beurteilung das Augenmerk verstärkt auf den Vergleich dieser beiden Arbeitsgeräte gelegt wird.

Beurteilungskriterium ist die gemessene maximale Immissionskonzentration. Die Schwankungen die im Konzentrationsverlauf zu beobachten sind, resultieren vorrangig aus der Handhabung des Laubbläses als diese dem Betrieb zuzuschreiben sind. Wird das Material vom Messgerät weggeblasen bzw. ist der Abstand zu den Messgeräten größer werden geringere Konzentrationen erfasst als bei einem direkten Anblasen. Diese Schwankungen, treten auch bei den Versuchen mit dem Straßenbesen auf.

Um repräsentative Werte sicher zu stellen, werden die Versuche für den Laubbläser sowie den Besen je viermal durchgeführt, wobei der Versuch mit der niedrigsten und der höchsten gemessenen PM_{10} Immissionskonzentration für die weiteren Auswertungen gestrichen wird.

3.1. Messergebnisse

In Abbildung 7 und Abbildung 9 sind die Konzentrationsverläufe (PM_{10} , $PM_{2,5}$) getrennt nach Laubbläser und Besen dargestellt.

Bei den Versuchen mit dem Laubbläser (Abbildung 7) betrug die benötigte Zeit zur Reinigung der Versuchsfläche zwischen 1 Minuten und 50 Sekunden und 2 Minuten 16 Sekunden. Die Nachlaufzeit bis zur Grundkonzentration war mit Ausnahme des ersten Versuches (mehr als 20 Minuten) mit 8 Minuten 10 Sekunden bis 11 Minuten annähernd gleich.

Bei den Versuchen mit dem Besen (Abbildung 9) wurden, nachdem die ersten beiden Versuche vergleichbare Werte geliefert haben noch Abläufe mit sehr hochfrequenten kurzen (Versuch Besen Nr. 3) und sehr langgezogene ruhige Kkehrbewegungen (Versuch Besen Nr. 4) durchgeführt. Die Versuchsdauer bis zur vollständigen Reinigung der Versuchsfläche war erstaunlicherweise nicht merklich anders als beim Einsatz des Laubbläses, die Nachlaufzeiten (d.h. bis zum Abnahme der Konzentration auf das Ausgangsniveau) sind in etwa gleich lang.

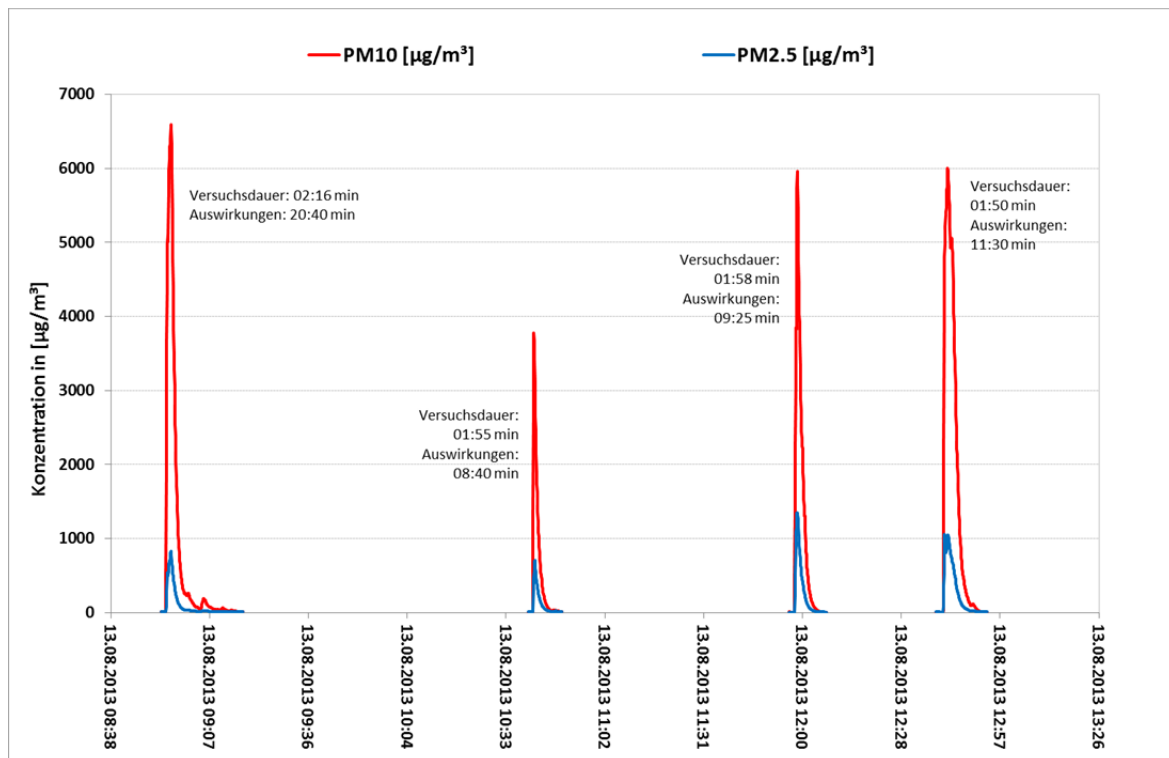


Abbildung 7: PM₁₀ und PM_{2,5} Konzentrationsverlauf während der Versuche mit dem Laubbläser.



Abbildung 8: Exemplarische Fotodokumentation der Versuche mit dem Laubbläser.

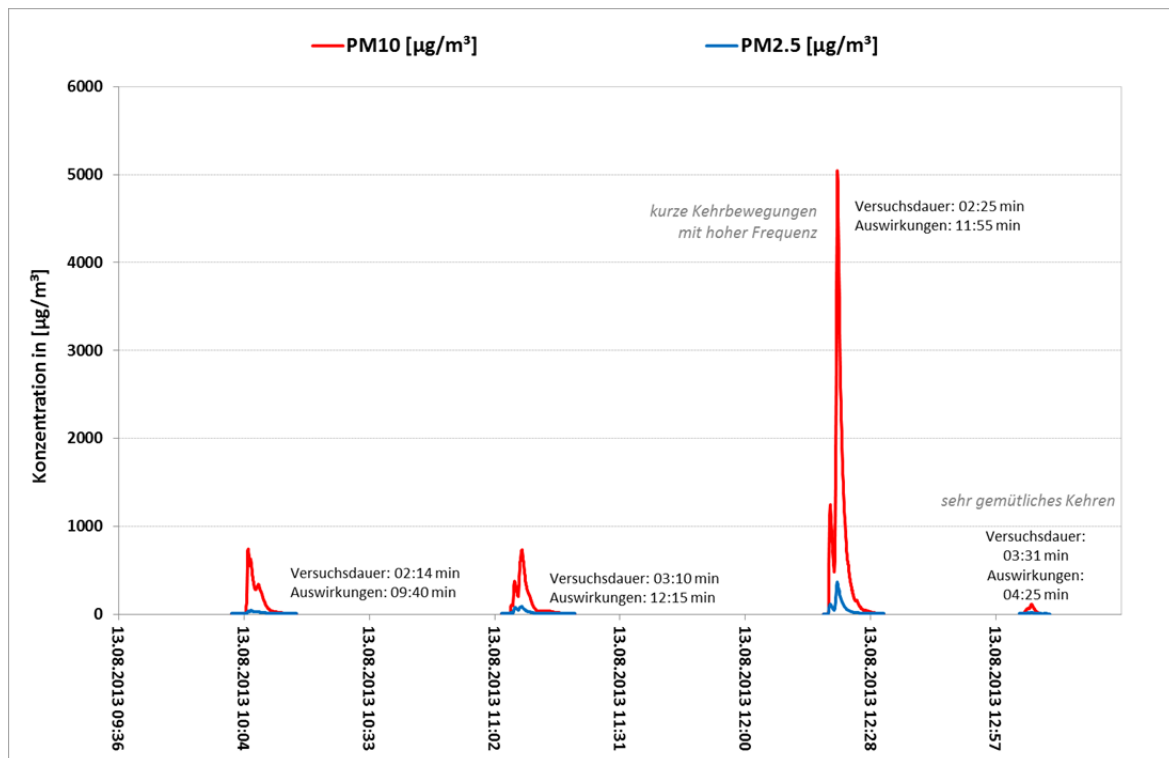


Abbildung 9: PM₁₀ und PM_{2,5} Konzentrationsverlauf während der Versuche mit dem Straßenbesen.



Abbildung 10: Exemplarische Fotodokumentation der Versuche mit dem Straßenbesen.

Es zeigt sich, dass das Konzentrationsniveau bei dem Betrieb der Geräte stark unterschiedlich ist. Werden während des Betriebes der Laubbläser PM₁₀ Konzentrationen bis 6600 µg/m³ (Versuch 1) detektiert, erreichen die PM₁₀ Konzentrationen beim Kehren zu- meist weniger als 1000 µg/m³.

In Tabelle 1 sind die gemessenen maximalen Immissionskonzentrationen für PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Zeitspannen für jeden Versuch angegeben.

Tabelle 1: Maximale PM₁₀ bzw. PM_{2,5} Immissionskonzentration für die einzelnen Versuche sowie die zeitlichen Parameter (Versuchsdauer, Auswirkungsdauer) der einzelnen Versuche.

Arbeitsgerät	Maximale Immissionskonzentration		Versuchsdauer ¹ [mm:ss]	Auswirkungsdauer ² [mm:ss]	Streichresultat ³
	PM ₁₀ [µg/m³]	PM _{2,5} [µg/m³]			
Laubbläser	6594	829	02:16	20:40	Ja
Laubbläser	3774	703	01:55	08:40	Ja
Laubbläser	5959	1351	01:58	09:25	Nein
Laubbläser	6008	1053	01:50	11:30	Nein
Besen	741	45	02:14	09:40	Nein
Besen	730	85	03:10	12:15	Nein
Besen	5042	366	02:25	11:55	Ja
Besen	117	18	03:31	04:25	Ja

¹ Als Versuchsdauer wird jene Zeit definiert, die benötigt wird, um das aufgebrachte Material zu entfernen.

² Als Auswirkungsdauer wurde jene Zeit definiert, die benötigt wird, um die PM₁₀ Ausgangskonzentration nach Start des Versuches wieder zu erreichen.

³ Die Versuche mit der höchsten und der niedrigsten gemessenen PM₁₀ Immissionskonzentration werden in der anschließenden Auswertung nicht mehr berücksichtigt. Anhand der grün markierten Versuche wird die Auswertung durchgeführt.

Auffällig ist, dass beim Kehren vor allem die Frequenz und die Länge der Kehrbewegungen deutliche Unterschiede bei den gemessenen Konzentrationen hervorruft. So können mit sehr kurzen, aber druckvollen Kehrbewegungen, die mit einer hohen Frequenz durchgeführt werden, durchaus ähnlich hohe PM₁₀ Konzentrationen wie beim Laubbläser produziert werden (siehe Versuch 3). Im Gegenzug treten bei eher langen ruhigen Kehrbewegungen (siehe Versuch 4) sehr geringe und vor allem bodennahe Konzentrationserhöhungen auf. Lt. Angaben vom Wirtschaftshof Graz ist der Zeitaufwand beim Kehren 2 bis 4 mal so hoch, verglichen mit dem Laubblasen. Im gegenständlichen Fall konnte diese Aussage nicht bestätigt werden, da selbst beim sehr „gemütlichen“ Kehren der Zeitaufwand maximal verdoppelt wurde, im Gegenzug dazu jedoch die gemessenen Immissionskonzentrationen sehr niedrig sind.

Wie bereits eingangs erwähnt, werden für die weiteren Beurteilung die Versuche mit den höchsten und niedrigsten gemessenen Immissionskonzentrationen gestrichen. D.h. wie in Abbildung 11 ersichtlich, ergibt sich für den Laubbläser eine durchschnittliche maximale PM₁₀ Immissionskonzentration von knapp 6000 µg/m³. Demgegenüber steht eine PM₁₀ Immissionskonzentration von 735 µg/m³ für den Straßenbesen (siehe Abbildung 12).

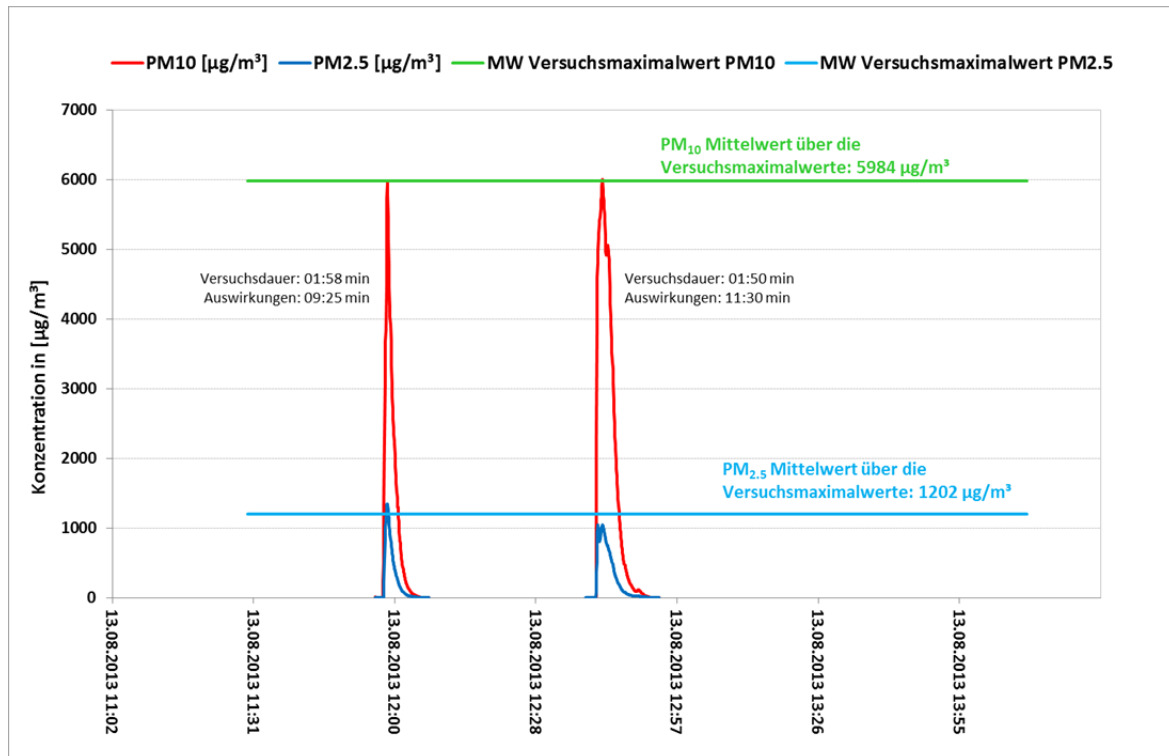


Abbildung 11: PM₁₀ und PM_{2.5} Konzentrationsverlauf sowie Mittelwert für die beiden repräsentativen Versuche (Versuch Nr. 3 und 4) mit dem Laubbläser.

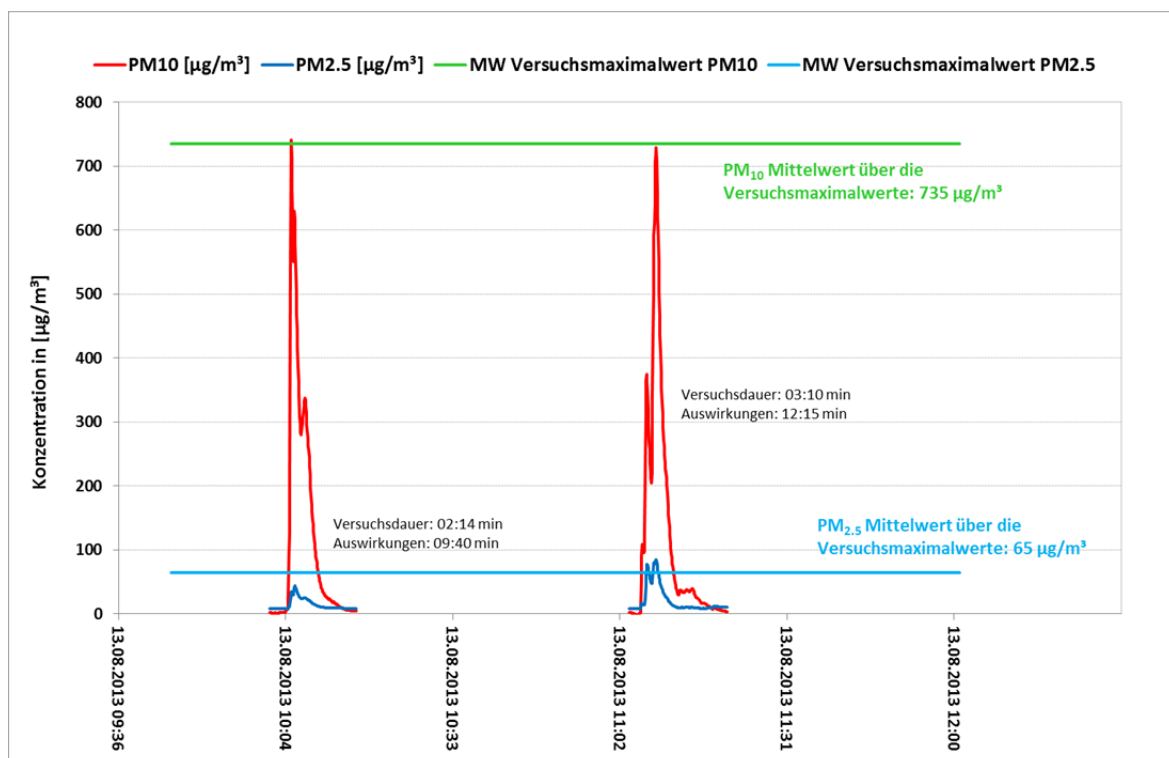


Abbildung 12: PM₁₀ und PM_{2.5} Konzentrationsverlauf sowie Mittelwert für die beiden repräsentativen Versuche (Versuch Nr. 1 und 2) mit dem Straßenbesen.

3.2. Abschätzung eines Emissionsfaktors

Die Bestimmung der Emissionsmenge basiert auf der Beurteilung der gemessenen Immissionsmaxima. Betrachtet man den Konzentrationsverlauf, so ist deutlich erkennbar, dass unabhängig von der Dauer des Kehrvorganges die messtechnisch erfassbaren Auswirkungen auf die PM_{10} Immissionskonzentration bei der Besenkehrung nur geringfügig länger, rund 5 %, festgestellt werden konnten.

Aufgrund dieser Tatsache wird der Einfluss des Zeitaufwandes auf die Abschätzung einer Emissionsmenge mit 5 % Mehraufwand beim Kehren veranschlagt. D.h. berechnet man die Emissionsmenge die durch das Laubblasen freigesetzt wird und vergleicht diese mit den Emissionen während des Kehrens so werden, aufgrund der Zeitdauer 5 % aufgeschlagen.

Konkret erfolgt die Abschätzung der Emissionsmenge aufgrund der oben beschriebenen Überlegungen nach folgendem Ansatz:

Die gemessene Immissionsbelastung (5 s Mittelwert) ist für den Bereich um die Messgeräte repräsentativ. Die Standfläche der beiden Messgeräte beläuft sich auf einen Bereich von 2 m mal 1 m. Bei einer maximalen Probenahmehöhe von 2,80 m und einem Zuschlag von 70 cm ergibt sich ein Boxvolumen von 7 m^3 .

Die maximal erfasste Immissionsspitze repräsentiert die Emissionen, die während des Betriebes in unmittelbarer Nähe auftreten. Unter Berücksichtigung der Verdünnung innerhalb des Messbereiches kann die Emissionsmenge innerhalb der Box (Volumen: 7 m^3) bestimmt werden. Diese Emissionsmenge entspricht den Emissionen pro Sekunde. Multipliziert man diese Menge mit dem Zeitbedarf (01:54) für die Reinigung und dividiert diesen Wert durch die Fläche (35 m^2), so erhält man die Emissionen pro gereinigtem m^2 .

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse dieser Abschätzung basierend auf den Mittelwerten beider Versuchsreihen angeführt. Es handelt sich hierbei um Emissionsfaktoren in Gramm pro gereinigten Quadratmeter $[\text{g}/\text{m}^2]$, wobei die Fläche eine Verunreinigung von $0,38\text{ kg}/\text{m}^2$ aufweist.

Tabelle 2: PM_{10} und $PM_{2,5}$ Emissionsfaktoren für das Reinigen von Flächen mit einem Laubbläser bzw. Besen in $[\text{g}/\text{m}^2]$, bei definierter Staubbelegung.

Arbeitsgerät	Emissionsfaktor $[\text{g}/\text{m}^2]$	
	PM_{10}	$PM_{2,5}$
Laubbläser	134	27
Besen	17	2

Es zeigt sich, dass beim Reinigen mittels Besen verglichen mit dem Laubbläser bezogen auf PM_{10} ca. 85 % der Emissionen reduziert werden. Bezogen auf $PM_{2,5}$ sind es sogar nahezu 95 %. Während der Versuche wurde jedoch auch deutlich, dass durch kurze Kehrbewegungen mit hoher Frequenz deutlich höhere Immissionskonzentrationen und damit Emissionen erreicht werden können.

4. Diskussion der Ergebnisse

Die durchgeführten Versuche lassen in erster Linie eine qualitative Aussage zu. Sie haben weiters gezeigt, dass die Feinstaubemissionen bei Besenkehrung in Abhängigkeit von der Kehrart stark variabel sind. Abhängig von der Kehrbewegung, dem Druck auf den

Besen und die Kehrfrequenz können sehr hohe aber auch sehr niedrige Emissionsmengen auftreten.

Geht man davon aus, dass der Zeitaufwand für die Säuberung einer Fläche mit dem Besen beim 2-4 fachen verglichen mit dem Laubbläser liegt, so muss die Kehrfrequenz eher gering sein, was weiters bedeutet, dass die PM_{10} und $PM_{2,5}$ Emissionsmengen sehr niedrig sind und eher bodennah freigesetzt werden.

Die Versuche mit dem Laubbläser haben im Gegensatz zu Besenkehrung gezeigt, dass deutlich mehr Staub und der auch wesentlich höher aufgewirbelt wird. Trotz verlängerter Reinigungszeit mit dem Besen ist jene Zeitspanne, in denen die Aktivitäten bei den gemessenen Immissionskonzentrationen nachweisbar sind, nur um 5% verlängert. D.h. unabhängig von der Arbeitsdauer ist davon auszugehen, dass die Emissionsmenge die beim Kehren freigesetzt wird, geringer ist als beim Laubblasen.

Da die bearbeitete Fläche stark verschmutzt war, muss für eine regionale Abschätzung des Reduktionspotentials dieser Umstand berücksichtigt werden. Emissionsfaktoren müssen entsprechend der tatsächlichen Straßenverschmutzung (Beladung der Straßenoberfläche) angepasst werden.

5. Vergleich mit Literaturangaben

Von der Fachhochschule Düsseldorf, Labor für Umweltmesstechnik wurde 2010 eine ähnliche Untersuchungsmethode zur Bestimmung des Emissionsverhaltens eines rückengetragenen Gebläses im Reinigungsbetrieb bei Wegereinigungsarbeiten gewählt [1]. Hierfür wurde auf unterschiedlichen Wegen mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad und differierender Verschmutzungsart Versuche durchgeführt. Zur Bestimmung der Emissionen wurde auf einer Sackkarre ein GRIMM 1.107 (mit radialer Probenahme in einer Höhe von 1,5 m) sowie eine Kamera montiert. Diese Messeinheit wird 3 bis 5 m vor dem Gebläse (je nach Situation) geführt.

Die gemessenen Massenkonzentrationen schwanken stark, zum einen zeitlich über die einzelnen Versuchsdauern und zum anderen zwischen den einzelnen Versuchen. Generell kann gesagt werden, dass Massenkonzentrationen bis $42000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kurzzeitige Peaks) detektiert wurden. Bei trockenen Verschmutzungen, wie sie auch bei den Untersuchungen der Technischen Universität Graz vorgelegen sind, erzeugten bei der Blasreinigung die höchsten Emissionen von einigen tausend bis mehrere zehntausend $\mu\text{g}/\text{m}^3$, durchfeuchtete Verunreinigungen bis mehrere hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In diesem Konzentrationsbereich bewegen sich auch die in Kap. 3.1 dargestellten Messergebnisse.

Die Universität von Kalifornien bestimmte innerhalb eines geschlossenen Raumes (Folientunnel) die Emissionen von Gebläse, Besen und Rechen [2]. Maßgeblicher Unterschied in dieser Untersuchung verglichen mit den durchgeführten und vorher beschriebenen Versuchen ist die Tatsache, dass es sich hierbei um einen abgeschlossenen Tunnel mit eher kleinem Querschnitt handelt. D.h. aufgewirbeltes Material bleibt während des Versuches im Tunnel enthalten und kann nicht verfrachtet werden. Auf Basis dieser Messung wurden Emissionsfaktoren in der Form mg/m^2 gereinigte Fläche abgeleitet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: TSP, PM_{10} und $PM_{2,5}$ Emissionsfaktoren für das Reinigen von Flächen in $[\text{mg}/\text{m}^2]$ [2].

Arbeitsgerät	Beschreibung	Emissionsfaktor $[\text{mg}/\text{m}^2]$		
		TSP	PM_{10}	$PM_{2,5}$
Laubbläser	Beton	100	80	30
	Asphalt	80	60	20

Arbeitsgerät	Beschreibung	Emissionsfaktor [mg/m ²]		
		TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}
Laubbläser	Grünfläche, Rasen	3	2	1
	Abflussrinne	50	30	9
	Starke Verschmutzung	160	120	80
	Grünschnitt am Gehweg	9	6	2
Besen	Beton	110	80	20
	Asphalt	30	20	0
Rechen	Beton	10	0	0
	Asphalt	0	0	0
	Grünfläche, Rasen	1	1	0

Die Ergebnisse der Versuchsreihen zeigen, dass beim Rechen kaum PM₁₀ aufgewirbelt wird, der Unterschied zwischen Besen und Gebläse auf Betonflächen gering ist, aber auf asphaltierten Flächen das Gebläse deutlich mehr aufwirbelt als der Besen (3 Mal so viel).

Vergleicht man die jetzt durchgeführten Versuche mit den Ergebnissen der Universität Kalifornien so zeigt sich, dass zum einen die Emissionsfaktoren um einen Faktor von 1000 höher sind als jene bei der Tunnelmessung und zum anderen die Differenz zwischen Besen und Laubbläser deutlicher hervortritt.

Die gänzlich unterschiedliche Größenordnung der Emissionsfaktoren kann u.a. auch auf die deutlich höhere Oberflächenverschmutzung bei den Versuchen in Graz zurückgeführt werden. Deshalb ist für eine Abschätzung des Reduktionspotentials der Verschmutzungsgrad der Oberfläche mit zu berücksichtigen.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchshalle in der Inffeldgasse, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.	5
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Messaufbaus innerhalb der Halle.....	6
Abbildung 3: Fotos vom Messaufbau.	6
Abbildung 4: Eingesetzter Laubbläser der Marke Echo PB-650.....	6
Abbildung 5: Material aus der Kehrmaschine, das beim Versuch ausgebracht wurde.....	7
Abbildung 6: Ausgebrachtes und verteiltes Material auf der Versuchsfläche.....	7
Abbildung 7: PM ₁₀ und PM _{2,5} Konzentrationsverlauf während der Versuche mit dem Laubbläser.	9
Abbildung 8: Exemplarische Fotodokumentation der Versuche mit dem Laubbläser.	9
Abbildung 9: PM ₁₀ und PM _{2,5} Konzentrationsverlauf während der Versuche mit dem Straßenbesen.	10
Abbildung 10: Exemplarische Fotodokumentation der Versuche mit dem Straßenbesen.	10
Abbildung 11: PM ₁₀ und PM _{2,5} Konzentrationsverlauf sowie Mittelwert für die beiden repräsentativen Versuche (Versuch Nr. 3 und 4) mit dem Laubbläser.....	12
Abbildung 12: PM ₁₀ und PM _{2,5} Konzentrationsverlauf sowie Mittelwert für die beiden repräsentativen Versuche (Versuch Nr. 1 und 2) mit dem Straßenbesen.	12

7. Literaturverzeichnis

- [1] Weber, K.; Fischer, C.; Vogel, A.: Untersuchung eines rückengetragenen Gebläses und einer Saugreinigungsmaschine hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens im Reinigungsbetrieb bei Wegereinigungsarbeiten. 2010. Fachhochschule Düsseldorf, Labor für Umweltmesstechnik
- [2] Fitz, D. R.; Pankratz, D.; Chitjian, M.; Bristow, J.; Pederson, S.: Particulate matter emissions factors and emissions inventory from leaf blowers in use in the San Joaquin Valley. 2006. University of California