

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Einleitung.....	3
2 Problemstellung.....	13
3 Theoretische Grundlagen	16
3.1 Berechnungsmodelle für diffuse Staubemissionen von befestigten Straßen	16
3.1.1 Berechnungsbeispiele für obige Formeln für befestigten Straßen	24
3.1.2 Bestimmungsmethodik des sL- Wertes (nach EPA)	28
4 Beschreibung der für Wien formulierten Mess- und Berechnungsvorschrift.....	32
4.1 Messung des sL-Wertes.....	32
4.1.1 Beschreibung des Messfahrzeuges	32
4.1.2 Auswahl der Messpunkte.....	35
4.1.3 Durchführung und Auswertung der Messung.....	37
4.2 Bestimmung des Durchschnittsgewichts der Fahrzeuge	39
4.3 Berechnung des Emissionsfaktors für die Messstelle.....	42
5 Ergebnisse der Überprüfung der Verwendbarkeit dieser Mess- und Berechnungsvorschrift.....	44
5.1 Ergebnisse der Messung des sL-Wertes	44
5.2 Ergebnisse der Berechnung des Durchschnittsgewichtes aller Fahrzeuge W an den Messstellen.....	48
5.3 Berechnung der Emissionsfaktoren an den Messstellen	50
6 Zusammenfassung	54
7 Literaturverzeichnis.....	56

8	Abbildungsverzeichnis.....	58
9	Tabellenverzeichnis.....	59
10	Anhang.....	60
10.1	Tageshöchsttemperaturen im Messzeitraum.....	60
10.2	Tagestiefsttemperaturen im Messzeitraum.....	61
10.3	Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum.....	62
10.4	Tagessummen an Niederschlag im Messzeitraum.....	63
10.5	Relative Luftfeuchtigkeit im Messzeitraum.....	64

1 Einleitung

Diffuse Staubemissionen nehmen heutzutage bei der Aufklärung der Entstehungsursachen und den Verminderungsmethoden einen immer größer werdenden Stellenwert ein, da ihr Anteil an der gesamten entstehenden Staubmenge wegen der bisher erfolgreich bekämpften Staubemissionen aus gefassten Quellen zunimmt. Auch hier, wie bei den gefassten Staubquellen, sind den Feinstaubfraktionen im Bereich von 10 μm und darunter, welche massenmäßig keinen großen Anteil liefern, besondere Beachtung zu schenken. Die mit den Feinstaubfraktionen verbundene, verstärkte Gesundheitsgefährdung wurde erst in letzter Zeit erkannt und stellt eine neue Herausforderung bei der Aufklärung der Entstehungsmechanismen und der Entwicklung von verbesserten Abscheidetechniken dar.

Diese **Feinstaubfraktionen** können in den menschlichen Atmungstrakt eindringen und Krankheiten wie z.B. Silikose auslösen. Zusätzlich wirkt der Feinstaub nicht nur als Schadstoff selbst, sondern ist noch in der Lage, im Gas befindliche andere Schadstoffe an der Partikeloberfläche durch Sorption zu binden. Die beim Feinstaub vorhandene extrem große Partikeloberfläche und dessen Möglichkeit zur Lungengängigkeit lässt daher diesen als besonders gesundheitsgefährlich ansehen. [1] Die gesundheitlichen Auswirkungen von Stäuben sind abhängig von der jeweiligen Partikelgröße und der vorhandenen Konzentration in der eingeatmeten Luft. Die WHO unterscheidet zwischen den akuten Auswirkungen und den Langzeitauswirkungen auf den Menschen. Zu den akuten Auswirkungen durch eine steigende Staubkonzentration zählen unter anderem eine erhöhte Sterblichkeitsrate und eine Zunahme an Krankenhausaufenthalten von Patienten mit Atemwegserkrankungen. Zu den Langzeitauswirkungen zählen ebenso eine erhöhte Sterblichkeitsrate und eine Zunahme an Lungenerkrankungen bzw. Lungenfunktionsstörungen. Während man für die Kurzzeiteffekte bereits einen mathematischen Zusammenhang zwischen der Staubkonzentration und der prozentuellen Steigerung der akuten Auswirkungen für PM-10 und PM-2,5 formulieren konnte, gibt es zu den Langzeiteffekten noch sehr wenig Studien. [2]

Auch im Bereich der **Sicherheitstechnik** muss darauf geachtet werden, dass hochkonzentrierte Staubaufwirbelungen von brennbaren und/oder oxidierbaren Stäuben, insbesondere von Feinstäuben, die eine relative hohe spezifische Oberfläche besitzen, explosionsgefährliche Gemische bilden können, die dann ein Gefährdungspotential für den Menschen darstellen.

Ein weiterer Aspekt im Bereich des Umweltschutzes stellen **Bodenablagerung** von Stäuben dar. Dadurch werden Wertminderungen von landwirtschaftlichen Flächen, zum Beispiel durch Bodenversalzen in der Nähe von Steinsalz- und Kaliwerken, und Hemmungen des Wurzelwachstums durch Anreicherung von Metalloxiden, die auf Staubpartikeloberflächen durch Sorption gebunden sind, verursacht.[3]

Allgemein gesehen sind **Stäube** disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen oder Luft, entstanden entweder durch Kondensation aus Gasen und Dämpfen, durch Dispersion aus kompakten Massen oder auch durch Vermehrung von Mikroorganismen in der Luft. Der Begriff des Staubes wird umgangssprachlich oft auch für Teilchen verwendet, die bereits aus Gasen oder der Luft auf eine Oberfläche sedimentiert sind.[4][5]

Nach VDI 3790, Blatt 3 [6] wird prinzipiell zwischen **definierten und diffusen Staubemissionsquellen** unterschieden. Zu den definierten Quellen gehören z.B. Schornsteine. Diffuse Staubemissionen treten beim Umschlag, bei der Gewinnung, beim Transport und bei Be- und Entladevorgängen von staubenden Schüttgütern auf. Zusätzlich zählen zu den Quellgebieten für diffuse Staubemissionen alle Flächen, auf denen abwehmfähige Partikel gelagert (z.B. befestigte und unbefestigte Straßen, Ackerböden, Schüttguthalden) und unter anderem der Winderosion ausgesetzt sind.

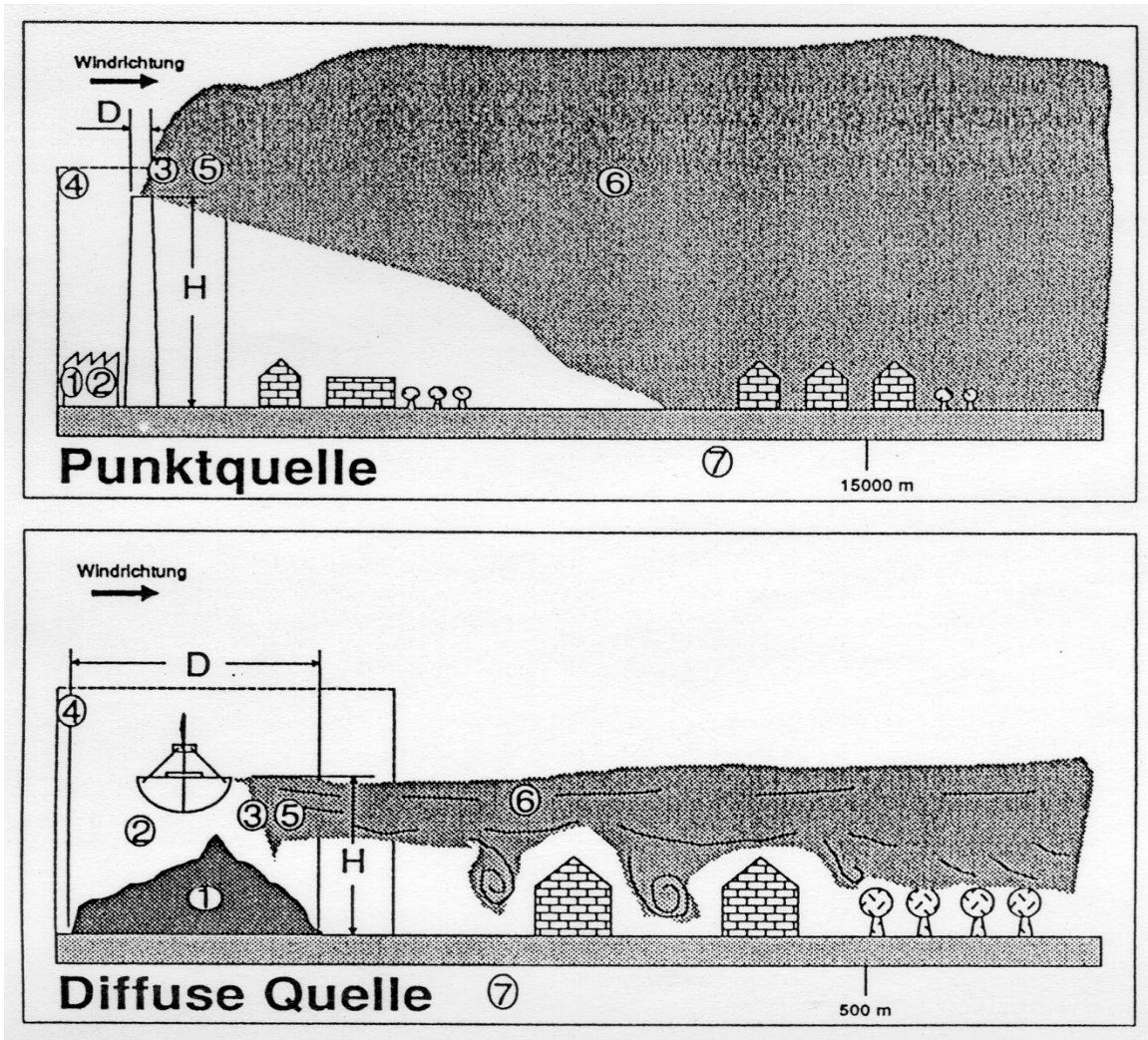
Nach [7] ergeben sich folgende **Hauptunterschiede** zwischen Punktquelle und diffuser Quelle (siehe Tabelle 1.1):

- *Tabelle 1.1 : Hauptunterschiede zwischen Punktquelle und diffuser Quelle [7]*

Punktquelle		Diffuse Quelle
1. Struktur der Partikel		
Die Korngrößenverteilung ist meist durch Filter abgeschnitten. Die Partikel haben eine lange Aufenthaltszeit in der Atmosphäre.		Die Partikel haben eine breite Korngrößenverteilung. Feuchtigkeit, Festigkeit, Temperatur und Wind beeinflussen die Emission.
2. Emissionsmechanismus		
Ein staubbeladener Abgasstrom tritt durch Wärme, Zug und Impuls aus dem Schornstein. Der Massenstrom ist relativ einfach messbar.		Je nach Art der Quelle ist der Mechanismus unterschiedlich: z.B. Verwehung beim Umschlag. Der Massenstrom ist meist nicht direkt messbar.
3. Freisetzung der Partikel		
Geführte Freisetzung durch den Schornstein. Eventuell thermische Überhöhung durch hohe Temperatur der Abgase.		Nicht geführte Freisetzung. Thermische Überhöhung spielt keine Rolle.
4. Räumliche Struktur der Quelle		
Die große Quellhöhe reduziert den Einfluß von Gebäuden und Bewuchs. Die Annahme einer punktförmigen Quelle bedeutet kleine Anfangsstreuungen bei der Ausbreitung.		Wegen geringer Quellhöhe verursachen Gebäude und Bewuchs Turbulenzen, die die Ausbreitung des Staubes stark beeinflussen. Die Ausdehnung der Quelle bewirkt große Anfangsstreuungen.
5. Zeitverhalten		
Meist konstanter Emissionsmassen-		Emissionsmassenstrom nicht konstant.

<p>strom. Eine Änderung der Ausbreitungssituation verändert die Konzentrationsverteilung stark.</p>		<p>Änderung der Ausbreitungssituation hat weniger Einfluss, weil die Windströmung von der Orografie beeinflusst wird. Alterungserscheinungen bei Lagerhalden.</p>
<p>6. Transmission</p>		
<p>Ausbreitung aufgrund von Advektion und turbulenter Diffusion. Wegen großer Quellhöhe und kleinen Partikeln kann der Flugweg sehr lang sein, daher kleine Immissionskonzentration (große Verdünnung).</p>		<p>Ausbreitung aufgrund von Advektion und turbulenter Diffusion. Ausbreitung nur im Nahbereich der Quelle, deshalb große Immissionskonzentration.</p>
<p>7. Ablagerung</p>		
<p>Klassierung nicht von Bedeutung.</p>		<p>Es tritt eine Klassierung nach Korngrößen auf.</p>

Abbildung 1.1 zeigt zusätzlich graphisch die Hauptunterschiede zwischen Punktquelle und diffuser Quelle [7] . Der in dieser Grafik gezeigte Greiferabwurf steht beispielhaft für eine diffuse Staubquelle.



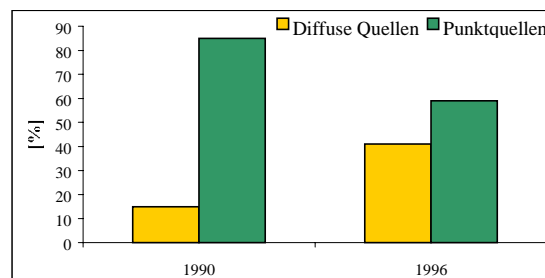
- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Struktur der Partikel | 5 | Zeitabhängigkeit d. Emissionsfaktors |
| 2 | Emissionsmechanismus | 6 | Transmission der Partikel |
| 3 | Freisetzung der Partikel | 7 | Ablagerung der Partikel |
| 4 | Räumliche Struktur der Quelle | | |

• Abbildung 1.1 : Unterscheidungskriterien zwischen Punktquelle und diffuser Quelle[7]

Die nachfolgende Übersicht gibt eine Zusammenstellung der **wichtigsten Quellenarten diffuser Staubemissionen** :

- ◆ **Befestigte Straßen :** z.B. Straßen, Parkplätze
- ◆ **Unbefestigte Straßen :** z.B. Straßen, Parkplätze
- ◆ **Bauwesen :** z.B. Baustellen, Lagerplätze
- ◆ **Winderosion :** z.B. Halden, Brachland
- ◆ **Schüttgutmanipulation :** z.B. Schüttgutabwurf, Schüttgutaufnahme, Schüttguttransport
- ◆ **Landwirtschaft :** z.B. Ackerböden, Düngemittelausbringung

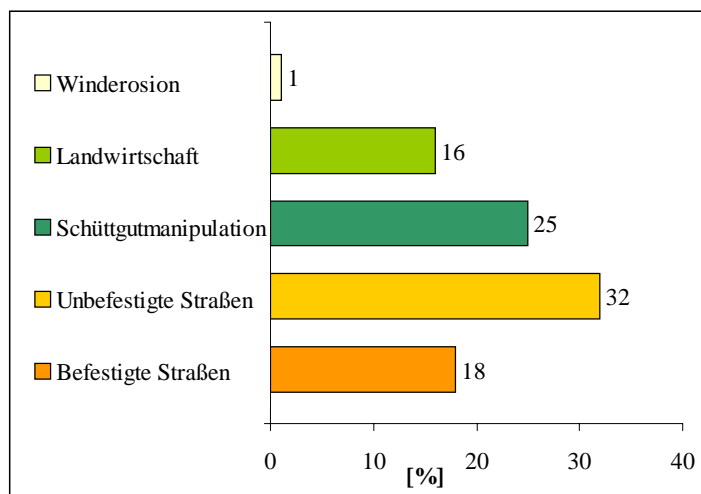
Die Staubemissionen aus punktförmigen Quellen konnten in den letzten Jahren durch verstärkte Umweltschutzmassnahmen wie zum Beispiel durch den Einbau von effizienteren Filteranlagen beträchtlich reduziert werden. Hingegen wurden den diffusen Staubemissionen wenig Beachtung geschenkt, sodass sie laut einer deutschen Studie [8] von 1990 bis 1996 in ihrem Anteil an der Gesamtstaubemission von 15% auf 41 % (siehe Abbildung 1) gestiegen sind. Es ist anzunehmen, dass sich dieser Prozentsatz bis zum heutigen Tage noch weiter gesteigert hat.



• *Abbildung 1.2: Entwicklung der Staubemissionen in Deutschland 1990 und 1996 [8]*

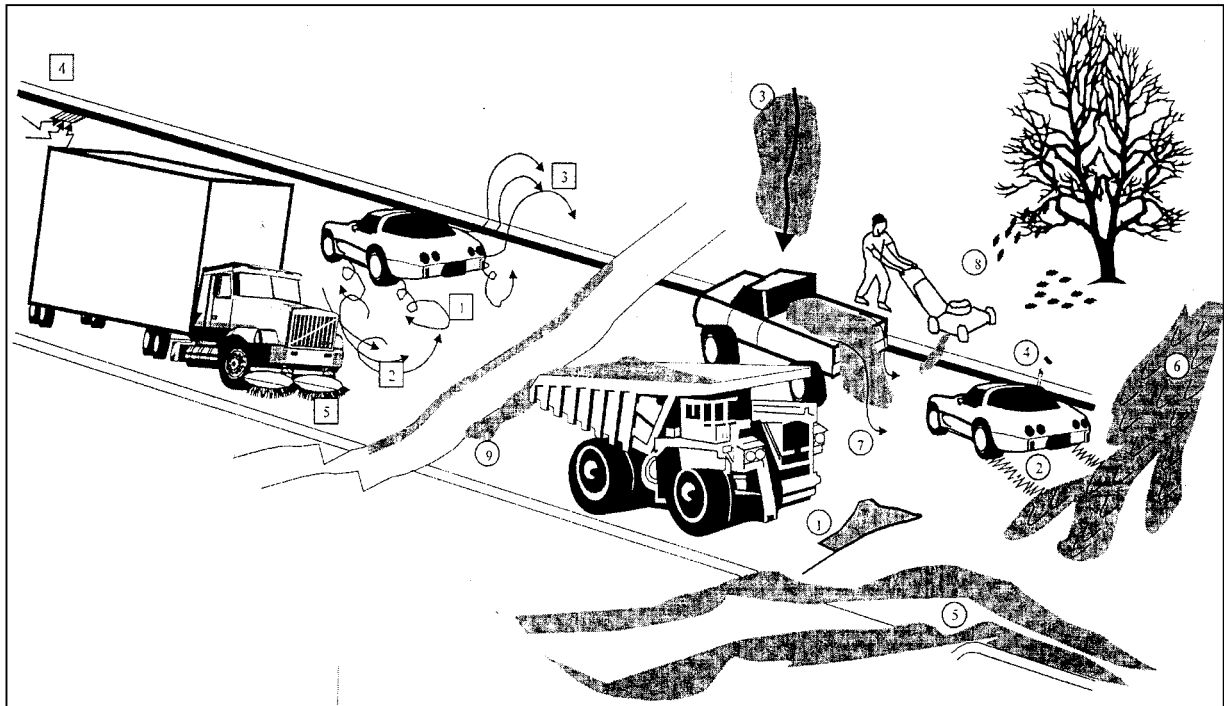
In den USA wurden für das Jahr 1993 von der **EPA** (U.S. Environmental Protection Agency) genauere Untersuchungen der **Staubemissionen aus diffusen Quellen** durchgeführt. Für die Herkunft der diffusen Staubemissionen mit einem

aerodynamischen Partikeldurchmesser kleiner $10\ \mu\text{m}$ wurden die in der Abbildung 1.3 [9] enthaltenen Werte veröffentlicht. Dem gemäß stellt die Aufwirbelung von an befestigten und unbefestigten Strassen abgelagerten Staubmengen eine beträchtliche Emissionsquelle dar. Speziell in Ballungszentren, wie z.B. Großstädte mit einer hoher Bevölkerungsdichte, ist die Kenntnis der von den Straßen emittierten diffusen Stäuben und ihren PM-10 und PM-2,5 Werten aus gesundheitlicher Sicht von großem Interesse.



- *Abbildung 1.3: Vergleich der Stärke einiger diffuser PM-10 Quellarten, veröffentlicht für das Jahr 1993 von der EPA [9]*

Abbildung 1.4 zeigt die Depositions- und Entfernungsmechanismen von Straßenstaub nach EPA:



• *Abbildung 1.4: Depositions- und Entfernungsmechanismen für Straßenstaub [10]*

Die nachfolgende Legende zu Abbildung 1.4 beschreibt näher die in Abbildung dargestellten möglichen Depositions- und Entfernungsmechanismen für Straßenstaub. In der rechten Spalte sind zusätzlich die von Axtell und Zell geschätzten Anteile in Massenprozent dargestellt.[15]

<i>Entfernungsmechanismen von Staub</i>	<i>Massenanteile nach [15] [%]</i>
<input type="checkbox"/> 1...Wiederaufwirbelung von Staub (z.B. durch Fahrzeuge)	41
<input type="checkbox"/> 2...Winderosion von Staub von Straßen	8
<input type="checkbox"/> 3...Verlagerung von Staub an den Straßenrand (z.B. durch Fahrverkehr)	16
<input type="checkbox"/> 4...Auswaschen von Straßenstaub in den Abwasserkanal	20
<input type="checkbox"/> 5...Straßenreinigung	14

<i>Staubanlagerungsmechanismen von Staub</i>	<i>Massenanteile nach [15] [%]</i>
①... <i>Straßenabrieb durch Fahrverkehr</i>	8
②... <i>Fahrzeugemissionen (z.B. Dieselrußpartikel)</i>	7
③... <i>Staubablagerung (z.B. durch staubbeladene Regenfälle)</i>	4
④... <i>Abfall (z.B. durch Entsorgen von Zigarettenasche aus Fahrzeugen)</i>	17
⑤... <i>Schmutz- und Bodenaustrag von angrenzenden Baustellen oder landwirtschaftlich genutzten Flächen</i>	42
⑥... <i>Staubablagerungen durch Winderosion aus der Umgebung</i>	8
⑦... <i>Ladegutverluste von Fahrzeugen</i>	<1
⑧... <i>Organisches Material(z.B. Laubabwurf von Bäumen)</i>	8
⑨... <i>Streusplitt, Streusalz</i>	8

Zur Charakterisierung von diffusen Quellen dienen **Emissionsfaktoren**, die die Masse an emittiertem Staub pro Bezugsgröße angeben. Solche Bezugsgrößen können je nach Art der Quelle sein: Masse an umgeschlagenen Schüttgut, Länge an zurückgelegtem Fahrweg, landwirtschaftliche Fläche.....

Emissionsfaktoren haben also keine genormte Einheit, sondern die Einheit variiert je nach Art der Staubquelle.

Während man früher für die Ermittlung der Emissionsfaktoren nur die emittierte Gesamtstaubmasse verwendete, berücksichtigt man heute auch die Korngröße des emittierten Staubes. Zum Beispiel legt die EPA, die US-amerikanischen Umweltschutzbehörde (Environmental Protection Agency), wegen der Lungengängigkeit ihr Hauptaugenmerk auf die Ermittlung von Emissionsfaktoren für „PM-10“ (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner 10µm). Als

aerodynamischer Durchmesser eines Teilchens beliebiger Form und Dichte wird allgemein der Durchmesser einer Kugel mit der Dichte 1 ($1,0 \text{ g/cm}^3$) bezeichnet, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in ruhender oder laminar strömender Luft, wie das betrachtete Teilchen, besitzt.

In der Richtlinie 1999/30/EG des Rates der Europäischen Union über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft [11] wird PM_{10} als die Partikel definiert, die einen gröbenselektiven Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10 \text{ }\mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Diese Definition unterscheidet sich von der Definition der EPA deutlich, da man in der Richtlinie des Rates nur von einer Abscheidewirksamkeit von 50 % für Teilchen von $10 \text{ }\mu\text{m}$ spricht. Die Definition des Rates wird für Immissionsmessungen und zur Definition von Grenzwerten in der EU herangezogen (Anmerkung : Analog wird $\text{PM}_{2,5}$ definiert). [11]

Daneben sind auch Emissionsfaktoren für $\text{PM}_{2,5}$ (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner $2,5 \text{ }\mu\text{m}$) beim Menschen von Interesse. Diese Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als $2,5 \text{ }\mu\text{m}$ können beim Menschen bis in die Lungenbläschen vordringen.

Die US-EPA [12] unterscheidet daneben grundsätzlich zwischen:

TSP: „Total Suspended Particulate“, emittierbare Staubpartikel

SP: „Suspended Particulate“, Schwebstaub, wird oft als Ersatz für TSP verwendet, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 30 \text{ }\mu\text{m}$, als „PM-30“ bezeichnet.

IP: „Inhalable Particulate“, einatembarer Feinstaub, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 15 \text{ }\mu\text{m}$, als „PM-15“ bezeichnet.

FP: “Fine Particulate”, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 2,5 \mu\text{m}$, als “PM-2,5” bezeichnet

2 Problemstellung

Wie in der Einleitung erwähnt wurde, stammen nach einer Veröffentlichung der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA [9] 50 % der diffusen Staubemissionen aus dem Straßenverkehr. Speziell in Ballungsräumen ist die Kenntnis der emittierten diffusen Staubemissionen von Straßen von besonderer Bedeutung. Da in Großstädten die Länge und Anzahl der unbefestigten Strassen als äußerst gering anzusehen sind, können diffuse Staubemission, die von unbefestigten Strassen ausgehen, für Großstädte als vernachlässigbar eingestuft werden. Daher sollen in diesem Projekt nur Staubemissionen von befestigten Straßen betrachtet werden.

Um nun die von Straßen in einer Großstadt herrührenden Staubemissionen beurteilen zu können, soll ein Mess- und Berechnungsverfahren für befestigte Straßen für den Ballungsraum Wien entwickelt werden. Dazu werden die in einem vom Institut für Verfahrenstechnik in einem vorrangegangenen Projekt durch einen international durchgeführte Literaturrecherche ermittelten und für österreichische Verhältnisse als verwendbar beurteilten Formeln zur Berechnung von diffusen Staubemissionen an befestigte Straßen herangezogen[13]. Diese für Österreich ausgewählten Formeln wurden von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA veröffentlicht. Um nun ein Messverfahren für die in diesen Formeln verwendeten Eingangsparameter entwickeln zu können, sollen die ebenfalls von der EPA herausgegebenen die Formeln begleitenden Anwendungsvorschriften (sogenannte „Background Documentations“ analysiert werden. Aus diesen Erkenntnissen soll ein für die Großstadt Wien anwendbares Messverfahren abgeleitet werden und anschließend durch einen zirka einen Monat lang dauernden Test die praktische Anwendungsfähigkeit dieses Messverfahrens überprüft werden.

Für diese von der EPA für Österreich übernommenen Formeln werden folgende Eingangsparameter benötigt:

- Angaben zur Verkehrssituation (z.B. Verkehrszählungsdaten, Angaben zum durchschnittlichen Fahrzeuggewicht..)

- sL-Faktor (gibt den Anteil der Straßenstaubbelastung mit einem Siebdurchmesser kleiner als 75 µm an)

Dieser sL-Faktor soll für Wien an statistisch ausgewählten Straßenstellen messtechnisch erfasst werden. Zusätzlich sollen für diese Straßenstellen Verkehrszählungsdaten verfügbar gemacht werden, um daraus das Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge, die die Messstelle passieren, berechnen zu können. Aus dem sL-Wert und dem Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge sollen dann für diese Messstellen die Emissionsfaktoren berechnet werden. Auch sollen bei den Messungen weitere Informationen wie z.B. meteorologische Bedingungen erfasst werden.

Aus den in diesem Projekt gewonnen Erkenntnissen und Erfahrungen soll es für zukünftige Projekte möglich sein, durch intensive Messungen des sL-Faktors über ein ganzes Jahr die diffusen Staubemissionen sowohl für den Gesamtstaub als auch für die PM-10- und PM-2,5- Fraktionen für Wien oder für eine andere beliebige Großstadt abschätzen zu können. Zusätzlich kann bei diesen Langzeitmessungen der Einfluss von Parametern wie Witterung, Jahreszeit, Streuverhalten usw. auf den sL-Wert festgestellt werden. So könnten auch durch Simulationsberechnungen verschiedene Veränderungen und Maßnahmen im Streu-, Kehr und Verkehrsverhalten untersucht bzw. analysiert werden, um somit geeignete Maßnahmen zur Reduktion der diffusen Staubemissionen, die von befestigten Straßen ausgehen, durchführen zu können.

Tabelle 2.1 zeigt die für die Projektdurchführung notwendigen Arbeitsschritte:

- *Tabelle 2.1: Arbeitsplan*

Geplanter Zeitraum	Arbeitsschritte
Juli 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Erstellung eines detaillierten Arbeitsprogramms ◆ Umfassende Literaturrecherche zur eventuellen Aktualisierung des am Instituts bereits vorhandenen

	Formelmateriale zur Berechnung von diffusen Staubemissionen an Straßen
August 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fortsetzung dieser Literaturrecherche, insbesondere in Hinblick auf bereits international vorhandenen Messvorschriften. ◆ Beurteilung auf ihre Anwendbarkeit für Wien
September 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Recherche nach der Verfügbarkeit der zur Berechnung der Staubemissionen notwendigen Eingangsparameter, wie z.B. Verkehrszählungsdaten, meteorologischen Daten, auch in Hinblick auf Simulationsrechnungen in einem etwaigem Folgeprojekt ◆ Auswahl der Messpunkte nach statistischen Gesichtspunkten
Oktober 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Konzeptionierung der für die Messungen notwendigen Messapparatur ◆ Einholen von Geräteinformationen, Testung einzelner Gerätekomponenten im Labor
November 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fertigstellung der für die Messungen notwendigen Messapparatur ◆ Test der Messapparatur im Labor ◆ Testversuche auf Strassen in Wien ◆ Ausarbeitung einer praktischen Messvorgangsweise
Dezember 2000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Erste Messungen in Wien als Überprüfung der Verwendbarkeit der für Wien formulierten Messvorschrift ◆ Verarbeitung exemplarischer Messdaten und Abfassung des Berichts

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Berechnungsmodelle für diffuse Staubemissionen von befestigten Straßen

In diesem Kapitel werden zusammenfassend die im Forschungsprojekt [13] ermittelten Formeln zur Berechnung von diffusen Staubemissionen an befestigten Straßen und deren begleitenden Dokumentationen dargestellt und in Kapitel 4 in weiterer Folge in ihrer Anwendung näher beschrieben.

Für Österreich verwendbare Formeln für befestigte Straßen wurden bis jetzt nur von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA veröffentlicht.

Die **EPA** legt großen Wert auf eine umfassende Dokumentation dieser Berechnungsverfahren. In diesen Dokumentationen sind unter anderem folgende Punkte enthalten :

- Bewertungsverfahren für die Messdaten, aus denen von der EPA die Formeln entwickelt wurden. Diese Messdaten werden in Kategorien A (Daten wurden durch eine von der EPA anerkannte Messmethode ermittelt.) bis D (Daten wurden durch eine von der EPA nicht anerkannte Messmethode ermittelt.) eingeteilt.
- Entwicklung eines Berechnungsansatzes aus diesen Messdaten (u.a. Art des verwendeten Regressionsmodells, statistische Überprüfung der Gültigkeit dieser so ermittelten Gleichungen.....)
- Fehlerabschätzungen für die aus diesen Gleichungen berechneten Emissionsfaktoren. z.B. die EPA verwendet zur Beschreibung der Qualität der Emissionsfaktoren die Buchstaben A (exzellent) – E (schlecht).

Zu den **befestigten Straßen** zählen alle Straßen, die bei Wassereinwirkung keine Oberflächenveränderungen aufweisen. Diffuse Staubemissionen bei Straßen hängen vor allem vom Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße und vom durchschnittlichen Gewicht der Fahrzeuge, die die befestigten Straßen benutzen, ab. Auf befestigten Straßen stellt sich nach einiger Zeit ein **Gleichgewicht des Feinkornanteils** ein. Dieser Gleichgewichtszustand des Feinkornanteils wird wahrscheinlich von den folgenden Faktoren bestimmt [14]:

- Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, errechnet durch das geometrische Mittel der jeweils gemessen Fahrgeschwindigkeiten
- Mittelwert des täglichen Verkehrsaufkommens (ADT – Average Daily Travel), entspricht der mittleren Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde auf einen Tag aufsummiert
- Anzahl der Fahrbahnen (als durchschnittliche Breite einer Fahrbahn wird 2,5 m angenommen) und ADT pro Fahrbahn
- Anteil an Schwerfahrzeugen (als Schwerfahrzeuge werden von der EPA Fahrzeuge mit einem Gewicht von mindestens 30 t definiert)
- eventuelles Vorhandensein von Randsteinen
- eventuelles Vorhandensein von Parkstreifen

Das aktuellste Modell, um Emissionsfaktoren sowohl für öffentlich befestigte Straßen als auch für befestigte Industriestraßen zu berechnen, ist **Gleichung 3-1**. Zusätzlich zu den öffentlich befestigten Straßen wurden zur Ermittlung der Gleichung noch Messdaten befestigter Industriestraßen miteinbezogen. Unter der Annahme einer konstanten Fahrzeuggeschwindigkeit und wie von der EPA bezeichnet „durchschnittlichen Straßenverhältnissen“ wurde für den fließenden Verkehr, d.h. ohne Berücksichtigung des Stop-and-Go-Verkehrs, folgende Gleichung aufgestellt: [14]

$$E = \left(\frac{sL}{2} \right)^{0,65} \cdot \left(\frac{W}{3} \right)^{1,5} \quad \text{Gl. 3-1}$$

E.....Staubemissionsfaktor [g/VKT od. g/VMT od. lb/VMT]

VKT...Vehicle Kilometer Travelled - entspricht der Längeneinheit km

VMT..Vehicle Mile Travelled - entspricht der Längeneinheit US-Meilen

k.....Partikelgrößenabhängiger Faktor (siehe Tabelle 3.2)

sL.....Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße [g/m²]

W..... Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge, die die Straße benutzen [t]

- *Tabelle 3.2: Partikelgrößenabhängiger Faktor k für Gleichung 3-1 [14]*

	k [g/VKT]	k [g/VMT]	k [lb/VMT]
PM 2,5	1,1	1,8	0,004
PM 10	4,6	7,3	0,016
PM 15	5,5	9	0,02
PM 30	24	38	0,082

Bei der Verwendung der Gleichung 3.1 dürfen die **Fahrzeuggewichtsklassen** nicht gesondert betrachtet werden, da das Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuggewichtsklassen, die die zu betrachtende Straße benutzen, in die Gleichung eingeht. Wenn die Gleichung 3-1 in den nachfolgenden Grenzen verwendet wird, wird dem mit dieser Gleichung berechneten Emissionsfaktor die Qualität A – entspricht exzellente Qualität (Ausnahme: Berechnung des Emissionsfaktors für PM-2,5 -> Qualität B) von der EPA bescheinigt [14]:

Feinkornanteil PM75:	0,02 - 400 g/m ²
durchschnittliches Fahrzeuggewicht aller die Straße benutzenden Fahrzeuge	1,8 - 38 t
mittlere Fahrgeschwindigkeit	16 - 88 km/h

Bei der Berechnung von Emissionsfaktoren für befestigte Straßen mit Gleichung 3-1 sollte unbedingt der Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße

gemessen werden. Um den Feinkornanteil PM-75 zu bestimmen, wird der Straßenstaub, der sich auf einer vorher ausgemessenen Fläche befindet, durch Kehrung oder Saugung aufgenommen und bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wird dieser so getrocknete Straßenstaub mit einem 200-mesh-Sieb (nach ASTM) gesiebt. Jene Masse an Straßenstaub, die das 200-mesh-Sieb passiert, wird auf 1 m² dieser ausgemessenen Fläche bezogen und ergibt so den sL-Wert in g/m².

Wenn keine Messdaten für den sL-Wert verfügbar sind, können die Werte für den Feinkornanteil PM-75 auch mit Hilfe der Tabellen 3.3 und 3.4 abgeschätzt werden, wobei die Qualität des mit dieser Gleichung berechneten Emissionsfaktors von A bzw. B für PM-2,5 auf C sinkt. Die so ermittelten Mittelwerte für den Feinkornanteil [g/m²] in Tabelle 3.4 müssen nach neuesten Studien von den aus Tabelle 3.3 ermittelten Werten für den Feinkornanteil bei normalen Bedingungen abgezogen, bei schlechten Bedingungen dazugezählt werden. [14]

- *Tabelle 3.3 Abschätzung des Feinkornanteiles PM-75 der Oberflächenbeladung für Industriestraßen [14]:*

Industriezweig	Feinkornanteil [g/m ²]	
	Bereich	Mittelwert
Eisen/Stahlindustrie	1,1-35,7	12,5
Betonindustrie	5,2-6,0	5,5
Sand/Kiesgruben	6,4-7,9	7,1

- *Tabelle 3.4 Empfohlener Minderungswert des Feinkornanteils PM-75 der Oberflächenbeladung für öffentliche, befestigte Straßen [11]*

Bedingungen	Hohes Verkehrsaufkommen^a Feinkornanteil PM-75 [g/m²]	Niedriges Verkehrsaufkommen Feinkornanteil PM-75 [g/m²]
normale Bedingungen	0.1	0.4
Schlechteste mögliche Bedingungen ^b	0.5	3

^a hohes Verkehrsaufkommen besteht bei mehr als 5000 Fahrzeugen pro Tag

^b bei Auftreten hoher Windgeschwindigkeiten im Frühling, wobei nähere Angaben von der EPA nicht gemacht werden

Eine 1984 von der EPA für städtische befestigte Straßen vorgeschlagene Gleichung zur Berechnung des Emissionsfaktors für befestigte Straßen ist Gleichung 3-2. Diese veraltete Gleichung wird nur für öffentliche befestigte Straßen mit einem Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße kleiner als 2 g/m² und einem durchschnittlichen Fahrzeuggewicht von kleiner als 4 t verwendet. Bei dieser Gleichung gibt es noch keine Qualitätsbewertung des Emissionsfaktors von A-E.

$$E = k \left(\frac{s \cdot L}{0,5} \right)^p \qquad \text{Gl. 3-2}$$

E.....Emissionsfaktor [g/VKT]

s.....Feinkornanteil PM-75, nach Trocknung zur Gewichtskonstanz vom übrigen Staub durch einen 200 mesh Sieb (entspricht 200 Maschen/inch²) getrennt

L.....Straßenoberflächenbeladung [g/m²], ist definiert als die Masse an Staubpartikeln pro Quadratmeter Straßenoberfläche

k.....Partikelgrößenabhängiger Faktor [g/VKT] (siehe Tabelle 3.5)

p.....Exponent [], lässt die gewünschte Korngröße in die Gleichung einfließen.(siehe Tabelle 3.5)

- *Tabelle 3.5: Werte von k und p für Gleichung 3-2 [14]*

	k [g/VKT]	p []
TSP	5,87	0,9
PM-15	2,54	0,8
PM-10	2,28	0,8
PM-2,5	1,02	0,6

Da Gleichung 3-3 für **befestigte Industriestraßen** nur Qualität B besitzt und ebenso veraltet ist (Entwicklung 1983), wird sie hier nur der Vollständigkeit halber angeführt. Mit dieser Gleichung kann man nur den Emissionsfaktor für TSP (= Gesamtstaub) berechnen.

$$E = 0,022 \cdot I \cdot \left(\frac{4}{n}\right) \cdot \left(\frac{s}{10}\right) \cdot \left(\frac{L}{280}\right) \cdot \left(\frac{W}{2,7}\right)^{0,7} \quad \text{Gl. 3-3}$$

E..... Emissionsfaktor [g/VKT]

s..... Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße , nach Trocknung zur Gewichtskonstanz vom übrigen Staub durch ein 200 mesh Sieb getrennt

I..... Korrekturfaktor[], der die erhöhten Emissionen bei Industriestraßen berücksichtigt (Werte von 1 bis 7), wobei Beispiele des Korrekturfaktors in [21] angegeben sind.

n.....Anzahl der Fahrbahnen []

L.....Straßenoberflächenbeladung [g/km]

W.....durchschnittliches Fahrzeuggewicht [t]

Die 1984 entwickelte und deshalb ebenso veraltete Gleichung 3-4 zur Berechnung von Emissionsfaktoren an befestigten Straßen wird verwendet, wenn der gemessene **Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße** kleiner als 2 g/m² und gleichzeitig das durchschnittliche Fahrzeuggewicht größer als 4 t ist. (Qualität A):

$$E = k \left(\frac{s \cdot L}{12} \right)^{0,3} \quad \text{Gl. 3-4}$$

E.....Emissionsfaktor [g/VKT]

$s \cdot L$... Feinkornanteil PM 75 der Oberflächenbeladung der Straße, nach Trocknung zur Gewichtskonstanz vom übrigen Staub durch einen 200 mesh Sieb getrennt [g/m²]

k.....Partikelgrößenabhängiger Faktor [g/VKT] siehe Tabelle 3.6

- *Tabelle 3.6 : Partikelgrößenabhängiger Faktor für Gleichung 6-4 [14]*

	k [g/VKT]
PM-15	0,28
PM-10	0,22
PM-2,5	0,081

Die ebenso 1984 im Zuge der Entwicklung von Gleichung 3-4 berechnete und deshalb veraltete Gleichung 3-5 wird für den Fall einer **hohen durchschnittlichen Verkehrsbelastung** (d.h. mehr als 5000 Fahrzeuge / Tag) **durch Leichtverkehr** (dh: < 6t Fahrzeuggewicht) und zugleich eines **hohen Feinkornanteils** (dh: $sL > 15 \text{ g/m}^2$) verwendet. Zu beachten ist, dass diese Gleichung nur Qualität C aufweist, und dadurch nur, wenn keine andere Gleichung verwendet werden kann (siehe Tabelle 3.8), eingesetzt werden sollte.

$$E = k \quad \text{Gl. 3-5}$$

E.....Emissionsfaktor [g/VKT]

k.....Partikelgrößenabhängiger Faktor [g/VKT], siehe Tabelle 3.7

- *Tabelle 3.7: Partikelgrößenabhängiger Faktor für Gleichung 3-5 [14]*

	k [g/VKT]
PM-15	0,12
PM-10	0,093

Tabelle 3.8 zeigt kurz zusammengefasst, wann welche Gleichung in Abhängigkeit von dem Feinkornanteil der Oberflächenbeladung der Straße sL und dem durchschnittlichen Fahrzeuggewicht W verwendet werden darf:

- *Tabelle 3.8: Auswahl der Gleichungen zur Berechnung von Emissionsfaktoren für befestigte Straßen [14]*

sL [g/m ²]	W [t]	Gleichung	Qualität
< 2	> 4	3-4	A (veraltet)
< 2	< 4	3-2	A(veraltet)
> 2	> 6	3-4	A(veraltet)
2 < sL < 15	< 6	3-4	A(veraltet)
> 15	< 6	3-5	C(veraltet)
0,02 – 400	1,8 - 38	3-1	A

Aus den obigen Erkenntnissen kann geschlossen werden, dass Emissionsfaktoren für befestigte Straßen in Wien gemäß **Gleichung 3.1 der EPA** berechnet werden sollten. Die veralteten Gleichungen 3-2 – 3-5 der EPA sollten nur dann für die Berechnung des Emissionsfaktors bei befestigten Straßen herangezogen werden, wenn die Grenzen für Gleichung 3-1 nicht erfüllt sind. In Tabelle 3.8 sind die Grenzen des Einsatzbereiches der verschiedenen Gleichungen angegeben.

Bei der Anwendung der Gleichungen der EPA sollte aber die Ungenauigkeiten von +/- 20 % des mit diesen Gleichungen errechneten Emissionsfaktors beachtet werden. Weiters sollte darauf geachtet werden, dass vor der Berechnung Parameter wie z.B. der Feinkornanteil PM-75 der Straßenoberfläche gemessen werden sollten, um die

geeignetste Gleichung auszuwählen und so die Genauigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

3.1.1 Berechnungsbeispiele für obige Formeln für befestigten Straßen

➤ **Gleichung 3-1:**

Annahme: Als Beispiel wird eine befestigte Straße angenommen. Durch eine Verkehrszählung wurde ein Durchschnittsgewicht der die Straße benutzenden Fahrzeuge von 3 t ermittelt. Der gemessene Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße beträgt 14 g/m². Da die Werte laut Tabelle 3.8 in den Grenzen der Gleichung 3-1 liegen, soll die aktuellste Gleichung 3-1 der EPA verwendet werden.

$$W = 3 \text{ t}$$

$$sL = 14 \text{ g/m}^2$$

$$E = k \cdot \left(\frac{sL}{2} \right)^{0,65} \cdot \left(\frac{W}{3} \right)^{1,5} \quad \text{Gl. 3-1}$$

Der partikelgrößenabhängige Faktor k wird aus Tabelle 3.2 für die einzelnen PM's entnommen.

Ergebnis:

$$PM - 30: E = 24 \cdot \left(\frac{14}{2}\right)^{0,65} \cdot \left(\frac{3}{3}\right)^{1,5} = 85,0 \text{ [g/VKT]} \\ = 85,0 \text{ [g/km]} *$$

$$PM - 15: E = 5,5 \cdot \left(\frac{14}{2}\right)^{0,65} \cdot \left(\frac{3}{3}\right)^{1,5} = 19,5 \text{ [g/km]}$$

$$PM - 10: E = 4,6 \cdot \left(\frac{14}{2}\right)^{0,65} \cdot \left(\frac{3}{3}\right)^{1,5} = 16,3 \text{ [g/km]}$$

$$PM - 2,5: E = 1,1 \cdot \left(\frac{14}{2}\right)^{0,65} \cdot \left(\frac{3}{3}\right)^{1,5} = 3,9 \text{ [g/km]}$$

* Anmerkung: [g/VKT] entspricht [g/km zurückgelegtem Weg]

➤ **Gleichung 3-2:**

Annahme: Als Beispiel wird eine befestigte Straße angenommen. Der Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße wurde mit 1,5 g/m² bestimmt. Das durchschnittliche Fahrzeuggewicht W wurde mit 1 t durch eine Verkehrszählung bestimmt. Mit diesen angenommenen Werten wird laut Tabelle 3.8 die Bedingungen für die Verwendung von der aktuellen Gleichung 3-1 nicht erfüllt, es muss daher die veraltete Gleichung 3-2 herangezogen werden.

$$s \cdot L = 1,5 \text{ g/m}^2$$

$$E = k \left(\frac{s \cdot L}{0,5} \right)^P \quad \text{Gl. 3-2}$$

Der partikelgrößenabhängige Faktor k und der Exponent p werden aus Tabelle 3.5 für die einzelnen PM's entnommen.

Ergebnis:

$$TSP: \quad E = 5,87 \cdot \left(\frac{1,5}{0,5} \right)^{0,9} = 15,78 \quad [g / km]$$

$$PM - 15: \quad E = 2,54 \cdot \left(\frac{1,5}{0,5} \right)^{0,8} = 6,12 \quad [g / km]$$

$$PM - 10: \quad E = 2,28 \cdot \left(\frac{1,5}{0,5} \right)^{0,8} = 5,49 \quad [g / km]$$

$$PM - 2,5: \quad E = 1,02 \cdot \left(\frac{1,5}{0,5} \right)^{0,6} = 1,97 \quad [g / km]$$

➤ **Gleichung 3-4:**

Annahme: Als Beispiel wird eine befestigte Straße angenommen. Der Feinkornanteil PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße wurde mit 8 g/m² bestimmt. Das durchschnittliche Fahrzeuggewicht wurde mit 40 t durch eine Verkehrszählung bestimmt. Damit sind die Bedingungen für die Verwendung von der aktuellen Gleichung 3-1 nicht erfüllt, es muss daher laut Tabelle 3.8 die veraltete Gleichung 3-4 zur Berechnung des Emissionsfaktors herangezogen werden.

$$s \cdot L = 8 \text{ g/m}^2$$

$$W = 40 \text{ t}$$

$$E = k \cdot \left(\frac{s \cdot L}{12} \right)^{0,3}$$

Ergebnis:

$$PM - 15 : E = 0,28 \cdot \left(\frac{8}{12}\right)^{0,3} = 0,25 \quad [kg / km]$$

$$PM - 10 : E = 0,22 \cdot \left(\frac{8}{12}\right)^{0,3} = 0,19 \quad [kg / km]$$

$$PM - 2,5 : E = 0,081 \cdot \left(\frac{8}{12}\right)^{0,3} = 0,07 \quad [kg / km]$$

➤ **Gleichung 3-5:**

Annahme: Als Beispiel wird eine befestigte Straße angenommen. Der Feinkornanteil der Oberflächenbeladung der Straßen beträgt 20 g/m². Durch eine Verkehrszählung wurde ein durchschnittliches Fahrzeuggewicht von 1 t bestimmt. Damit werden die in Tabelle 3.8 angegebenen Bedingungen für die Verwendung der aktuellen Gleichung 3-1 nicht erfüllt, daher muss laut Tabelle 3.8 Gleichung 3-5 der EPA verwendet werden.

$$sL = 20 \text{ g/m}^2$$

$$W = 1 \text{ t}$$

$$E = k$$

Gl. 3-5

Der partikelgrößenabhängige Faktor k wird aus Tabelle 3.7 für die einzelnen PM's entnommen.

Ergebnis:

$$PM - 15 : E = 0,12 \quad [g / km]$$

$$PM - 10 : E = 0,093 \quad [g / km]$$

3.1.2 *Bestimmungsmethodik des sL- Wertes (nach EPA)*

Der sL-Wert, der die Staubbiladung mit Staubpartikel mit einem Siebdurchmesser $< 75 \mu\text{m}$ auf StraÙen angibt, wird in fast allen oben angefuhrten Formeln als Eingangsparmeter verwendet.

Dazu beschreibt die EPA im Appendix C1 der „Emission Factor Documentation for AP-42 (Section 13.2.1-Paved roads)“ [10] sehr ausfuhrlich das von der EPA vorgeschlagene Verfahren zur Messung des sL-Wertes. Nachfolgend soll diese sL-Wert-Bestimmungsmethodik der EPA zusammenfassend dargestellt werden:

Zur reprasentativen Erfassung des sL- Wertes in einem definierten Messgebiet schlagt die EPA vor, die StraÙen in verschiedene StraÙentypen zu unterteilen und Proben des sL-Wertes von allen StraÙentypen zu ziehen. Naehere Angaben zu der Einteilung nach StraÙentypen werden im Appendix C1 nicht angefuhr. Bei kleinraumigen Messungen des sL-Wertes, wie zum Beispiel in Industriebetrieben, sollen auf jedem StraÙenabschnitt mindestens alle 0,8 km Messungen erfolgen. Die EPA definiert den Begriff StraÙenabschnitt als den Bereich einer StraÙe, der von zwei StraÙenkreuzungen begrenzt ist (siehe Abbildung 3.1). Bei groÙraumigeren Emissionsinventuren, wie zum Beispiel fuur ganze Stadtgebiete sollte pro Strassenabschnitt alle 4,8 km mindestens 3 Proben bestimmt werden. Diese Probenahmestellen sollten zufaellig ausgewaehlt werden. Ist die Laenge eines Strassenabschnittes kuurzer als 4,8 km, so muessen in diesem StraÙenabschnitt ebenfalls an 3 zufaellig ausgewaehlt Stellen Proben gezogen werden.



- *Abbildung 3.1: graphische Darstellung des Begriffes Straßenabschnitt*

Die Probenahme soll mit einem Staubsauger durchgeführt werden, wobei bei geringen Staubbelastungen ein handelsüblicher Staubsauger mit leichten Staubsaugersäcken aus Papier verwendet werden soll. Bei hohen Straßenstaubbelastungen, die z.B. auf Industriestraßen auftreten können, können auch Industriesauger verwendet werden, die mit schwereren Staubsaugersäcken ausgerüstet sind. Das Taragewicht der Staubsaugersäcke soll vor der Messung bestimmt werden.

Die Messung des sL-Wertes soll so erfolgen, dass an der ausgewählten Probenahmestelle quer zu der Fahrbahn Streifen mit einer Breite von 0,3m bis 3m, gesaugt werden. Die jeweilige Breite der Streifen richtet sich nach dem erwarteten sL-Wert, das heißt bei geringeren sL-Werten nimmt man breitere Streifen, um genügend Material für die nachfolgenden Schritte zu bekommen. Man sollte immer soviel zusammensaugen, sodass die Probemasse das 3 – 5 fache des Taragewichts des Staubsaugersackes beträgt, mindestens aber 200 g. Die Länge der Streifen sollte so gewählt werden, dass die gesamte Strassenbreite, die von fließendem Verkehr befahren wird, erfasst wird. Nicht dürfen jedoch Randbereiche von Straßen, wie z.B. Rinnsäle, Sperrflächen, Gleiskörper, die nur von Schienenfahrzeugen befahren werden dürfen, und dgl. bei der Saugung erfasst werden.

Befinden sich auf dem gewählten Bereich größere Schmutzteilchen, die der Staubsauger nicht mehr aufnehmen kann, so sollten diese mit einem Handfeger zusammengekehrt werden. Diese werden dann anschließend mit der Saugfraktion

dieses Bereiches vereinigt. Wichtig ist, dass bei einer allfällig notwendigen Handkehrung darauf geachtet werden soll, diese KeHRung sehr vorsichtig durchzuführen, um zu vermeiden, dass zu viel Feinstaub aufgewirbelt wird und so der sL-Wert-Bestimmung entzogen wird.

Um nun den sL-Wert für eine bestimmtes Strassenstück zu erhalten, müssen die mittels Staubsauger bzw. Handkehrung gezogenen Proben laut EPA einer Siebanalyse unterworfen werden. Die Siebanalyse soll nach folgenden Verfahrensschritten durchgeführt werden [17]:

- Verwendung eines mechanischen Siebturmes
- Verwendung von Sieben mit folgender Maschenweite (siehe Tabelle 3.9):
- *Tabelle 3.9: Die von der EPA vorgeschlagenen Siebe für die Bestimmung des sL-Wertes:*

Bezeichnung der Siebe nach ASTM	Maschenweite der Siebe nach ASTM-Norm	Analoge Bezeichnung der Siebe nach DIN ISO 3310*
3/8 inch	3/8 inch / Loch	9,5 mm
No. 4	4 mesh(Maschen)/inch ²	4,75 mm
No. 20	20 mesh(Maschen)/inch ²	850 µm
No. 40	40 mesh(Maschen)/inch ²	425 µm
No. 100	100 mesh(Maschen)/inch ²	150 µm
No. 140	140 mesh(Maschen)/inch ²	106 µm
No. 200	200 mesh(Maschen)/inch ²	75 µm
Siebtasse		

* Anmerkung: Um die in Europa übliche Bezeichnung der Maschenweiten der Siebe nach DIN zu bekommen, wurde eine Siebvergleichstabelle der Fa. Retsch herangezogen.[16]

Die EPA empfiehlt zur Bestimmung des sL-Wertes Siebe mit den oben angeführten Maschenweiten zu verwenden. Sollten jedoch diese Siebe für den Durchführenden der

Messung nicht verfügbar sein, so sollten Siebe mit ähnlichen Maschenweiten herangezogen werden. Die Ausnahme stellt der ASTM-Sieb No. 200 (Maschenweite nach DIN ISO 3310 75 μm) dar. Dieser muss mit dieser exakten Maschenweite verwendet werden, da diese Siebfraction für die Berechnung des sL-Wertes direkt herangezogen wird. Alle anderen Siebe dienen ausschließlich einer Vorfraktionierung der Probe und einer allfälligen Auftrennung von Staubagglomeraten.

- Die Abreinigung der Siebe soll mit Pressluft und/oder einem weichen Pinsel erfolgen
- Die Siebdauer sollte 40 min. nicht überschreiten. Über die zu verwendende Siebintensität werden in Appendix C.2 keine näheren Angaben gegeben.

4 Beschreibung der für Wien formulierten Mess- und Berechnungsvorschrift

Wie in Kapitel 3, Tabelle 3.8 dargestellt, benötigt man zur Auswahl der geeigneten Formel Angaben über den sL-Wert und das Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge, die die Strasse, für die ein Emissionsfaktor berechnet werden soll, benutzen. Ebenso sind der sL-Wert und teilweise auch das Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge als Eingangsparameter für diese Formeln notwendig. Nachfolgend werden daher die Bestimmungsverfahren für die beiden Parameter dargestellt:

4.1 Messung des sL-Wertes

Wie in Kapitel 3 angeführt, erfolgt die Messung des Feinkornanteils PM-75 der Oberflächenbeladung der Straße durch Saugung einer bestimmten Straßenfläche und anschließender Siebung der durch die Saugung erhaltenen Probe mit einem mechanischem Siebturm.

4.1.1 Beschreibung des Messfahrzeuges

Um diese Saugungen an verschiedenen Messpunkten in Wien durchzuführen, wurde ein PKW mit folgenden Geräten bestückt:

- ◆ Rundumkennleuchte Type 595 M

Magnetbefestigung, Glas orange, 12 Volt, dient zur Absicherung des Fahrzeuges bei den Messtätigkeiten

- ◆ Stromerzeuger Honda EC 2200

230 Volt, Dauerleistung 2,0 kVA, liefert den für den Betrieb des Staubsauger notwendigen Strom, der Auspuff wurde so adaptiert, dass die Abgase bei geöffneten Heckklappe nach hinten ausgeblasen werden.

◆ Arbeitsscheinwerfer 500 W

Dieser soll bei nächtlichen Messungen den Arbeitsbereich ausleuchten. Wie sich bei der Durchführungen der Messungen später herausgestellt hat, sind Messungen bei Nacht effizienter und sicherer (siehe Ergebnisse in Kapitel 5).

◆ Staubsauger Nilfisk GM 80 P

Ausgerüstet mit Hepa-Filter, Motorschutzfilter Goretex, der Saugschlauch ist eine Spezialanfertigung (Innenwand glatt ausgeführt, um Geräteverluste zu minimieren) Bodenmundstück besitzt eine Saugbreite von 400 mm und ist mit einem Rädersatz bestückt, die es ermöglichen, die Bodenfreiheit zu variieren.

◆ Transportbehältnis

Dieses dient zur Lagerung der Staubsäcke

Um die Sicherheit des Mitarbeiters bei den Messtätigkeiten zu erhöhen, trägt dieser eine mit reflektierenden Streifen versehene Warnweste.

Die Abbildungen 4.1 und 4.2 zeigen das Messfahrzeug mit den oben beschriebenen Geräten.



- *Abbildung 4.1: Wolfgang Koschutnig bei den Vorbereitungsarbeiten zur Messung des sL-Wertes*



- *Abbildung 4.2: Rückansicht des Messfahrzeuges. In dieser Abbildung sieht man den Stromerzeuger mit dem adaptierten Auspuff und dem darauf montierten Arbeitsscheinwerfer. Links daneben befindet sich der Transportbehälter.*

4.1.2 Auswahl der Messpunkte

Die Auswahl der Messpunkte in Wien erfolgte einerseits nach statistischen Regeln, andererseits müssen für die Berechnung des Durchschnittsgewichtes aller Fahrzeuge W Verkehrszählungen für die Messpunkte verfügbar sein. Daher wurden die Messstellen in Wien, die auch für die händischen Straßenverkehrszählungen verwendet werden, auch für die sL- Wert Bestimmung herangezogen. Aus einer Liste, die in der Auswertung der händischen Strassenverkehrszählung 1995 auf Wiener Bundes- und Gemeindestrassen [18] veröffentlicht wurde, wurden mittels Zufallsgenerator Messstellen für den sL-Wert ausgewählt. Zusätzlich wurden noch weiteren Messstellen in kleineren Gassen, die ausschließlich nur für den untergeordneten Verkehr dienen und daher keine Verkehrszählungen durchgeführt werden, zufällig ausgewählt. Insgesamt wurden 50 Messstellen ausgewählt. Diese Anzahl entspricht der maximalen Anzahl, die in einer Woche zeitlich bewältigt werden kann.

Nachfolgende Liste zeigt die so ausgewählten Messstellen:

Mariahilfer Gürtel vor Kirche

Hernalser Gürtel Höhe Thelemangasse (in der Nähe der Luftmessstelle Währinger Gürtel der MA 22)

Margaretengürtel bei Arbeiter- u. Steinbauergasse

Hadikgasse zwischen Schönbr.- u. Kennedy-Brücke

Linke Wienzeile stadtausw. vor Lobkowitzbrücke (in der Nähe der Luftmessstelle Gaudenzdorf der MA 22)

Triester Str. bei Spinnerin am Keuz

Hadikgasse bei Braunschweigasse

Hadikgasse zw. Gulden- u. Bräuhaus-Brücke

Wagramer Strasse bei Donauzentrum

Lassallestr. zw. Praterstern u. Reichsbrücke

Erzherzog Karl-Strasse bei Ostbahnunterführung (in der Nähe der Luftmessstelle

Stadlau der MA 22)

Gablengasse/Koppstr. Höhe Hippgasse

Erdberger Lände vor ONr. 36

Brünnerstrasse bei Shuttleworthstrasse (B229) (in der Nähe der Luftmessstelle

Gerichtsgasse der MA 22)

Raxstrasse zw. Triester- u. Laxenburger Strasse

Adalbert Stifter Strasse bei Gürtelbrücke

Schloßallee unter Westbahn

Wienerbergstrasse vor ONr. 15

Prager Str. nach Anton Störck-Str. (in der Nähe der Luftmessstelle Gerichtsgasse der
MA 22)

Ludwig von Höhnel-Gasse (in der Nähe der Luftmessstelle Laaerberg der MA 22)

Rautenweg bei Ostbahn (nördl. Linie)

Donaustadtstrasse bei Erzherzog Karl Strasse

Siemensstrasse

Maroltingergasse zw. Wiesberg- u. Rankgasse

Breitenfurter Strasse zw. Rodaunerstrasse u. Willergasse

Krottenbachstrasse zw. Flotow- u. Budinskygasse

Landstraße Hauptstrasse

Dornbacher Strasse bei St. Anna Kapelle

Kaiser Ebersdorferstrasse nach Florian Hedorferstrasse

Stadlauer Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)

Leopoldsdorfer Strasse bei Laaerbergstr.

Breitenleerstrasse unter Ostbahn (nördl. Linie)

Wiener Gasse bei Ketzer Gasse-Landesgrenze

Mauerbachstrasse

Zehetnergasse unter Westbahn

Gerasdorfer Strasse (Gerasdorf)

Kirchstetterngasse zw. Kopp- u. Hasnerstr.

Asperner Strasse bei Ostbahn (Marchegger Ast)

Rautenweg bei Bahnhofssiedlung

Haberlgasse zw. Hasner- u. Koppstrasse

Kaltenleutgeber Strasse bei Hochstrasse

Telephonweg bei Ostbahn (Marchegger Ast)

Höhenstrasse-Landesgrenze

Taborstrasse, Ecke Glockengasse (unmittelbar bei der Luftmessstelle Taborstrasse
der MA 22)

Senfgasse

Kästenbaumgasse

Rauchfangkehrergasse

Tuersgasse

Achengasse

Salbeigasse

4.1.3 Durchführung und Auswertung der Messung

Die zur Saugung verwendeten Papierstaubsäcke werden in einem klimatisiertem Raum mit Normklima (21°C Raumtemperatur, 50% relative Luftfeuchte) gelagert. Die Klimatisierung des Aufbewahrungsraumes ist wichtig, da Papier leicht Raumfeuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben kann. Bei Schwankungen der relativen Luftfeuchte würden insbesondere bei niedrigen sL-Werten zu große Fehler bei den einzelnen Wägungen auftreten.

Vor der Messung wird das Taragewicht m_T der für den Messtag vorgesehenen Papierstaubsäcken bestimmt. Anschließend werden die Papierstaubsäcke staubdicht verpackt und in das Messfahrzeug verladen. Ebenso wird die Masse des Motorschutzfilters und des HEPA-Filters bestimmt, um so auf etwaige Durchgangsverluste der Papierstaubsäcke schließen zu können.

Anschließend werden die einzelnen Messstellen mit dem Messfahrzeug angefahren, wobei pro Arbeitstag zirka 12-14 Messungen durchgeführt werden können. Daraus folgt, dass die oben angeführten Messstellen einmal pro Woche gemessen werden können.

Die Saugung erfolgt, wie die EPA vorschlägt, quer zur Fahrbahn. Zusätzlich wird die Straßenbreite vermessen. Multipliziert man die Straßenbreite mit der Breite des Bodenmundstückes des Staubsaugers und der Anzahl der gesaugten Streifen, so erhält man die gesaugte Fläche.

$$A = B \cdot b \cdot N \qquad \text{Gleichung 4-1}$$

A.....gesaugte Fläche [m²]

B.....Straßenbreite [m]

b.....Breite des Bodenmundstücks des Staubsaugers [m]

N.....Anzahl der gesaugten Streifen, wird nach Verschmutzungsgrad der Straße zwischen 1 und 10 gewählt.

Nicht berücksichtigt werden bei der Saugung nicht vom fließendem Verkehr befahrene Straßenteile, wie z.B. Parkstreifen, Sperrflächen und dgl. und Rinnsale.

Nach Beendigung der Messungen werden die mit Straßenstaub gefüllten Papierstaubsäcke 24 Stunden im klimatisierten Raum gelagert.

Anschließend werden die Papierstaubsäcke vorsichtig geöffnet und der lose Inhalt einer Siebanalyse unterworfen. Dabei werden Siebe mit folgenden Maschenweiten verwendet: 2 mm , 800 µm, 400 µm, 160 µm, 100 µm, ASTM-Sieb No.200 = 75 µm

Die Auswahl der Siebe erfolgte nach der Empfehlung der EPA. Die Masse der Siebfraction < 75 µm m_S wird gewogen. Zusätzlich wird der leere Papiersack ebenfalls gewogen und die Taramasse m_T von der Masse des leeren Papiersack abgezogen, das ergibt die Rückstandsmasse m_R .

Da angenommen werden kann, dass die in der Tiefe des Filterpapiers angelagerten Partikelmassen ebenfalls < 75 µm sind, wird die Rückstandsmasse m_R der Siebfraction < 75 µm zugeschlagen. Die Gesamtmasse an Straßenstaub < 75 µm m_{sL} ergibt sich somit mittels folgender Formel:

$$m_{sL} = m_R + m_S \qquad \text{Gleichung 4-2}$$

m_{sL}Masse an Straßenstaub < 75 μm [g]

m_RRückstandsmasse in Staubsack [g]

m_SMasse < 75 μm nach Siebung [g]

Um nun den sL -Wert zu erhalten, dividiert man die Masse an Straßenstaub < 75 μm m_{sL} durch die gesaugte Fläche A :

$$sL = \frac{m_{sL}}{A} \quad \text{Gleichung 4-3}$$

sL sL -Wert [g/m^2]

m_{sL}Masse an Straßenstaub < 75 μm [g]

Agesaugte Fläche [m^2]

4.2 Bestimmung des Durchschnittsgewichts der Fahrzeuge

Für die Formeln der EPA ist neben dem sL -Wert als zusätzlicher Eingangsparameter das Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge, die die jeweilige Straße benutzen, notwendig. Ebenso erfolgt die Auswahl der verwendbaren Formel nach dem Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge (siehe Kapitel 3, Tabelle 3.8).

Für die Bestimmung des Durchschnittsgewichtes wird auf Verkehrszählungsdaten zurückgegriffen [18]. In dieser Veröffentlichung werden bei den Verkehrszählungen nach 10 Fahrzeuggruppen unterschieden. Diese sind laut [18] wie folgt definiert:

- ◆ Einspurige KFZ
- ◆ Personenkraftwagen
- ◆ Personenkraftwagen mit Anhänger
- ◆ Autobusse

- ◆ Lieferwagen
- ◆ Lastkraftwagen ohne Anhänger
- ◆ Lastkraftwagen mit Anhänger, Sattelzugfahrzeuge
- ◆ Sonstiger Güterverkehr
- ◆ Spezialfahrzeuge
- ◆ Fahrräder

Für jede Fahrzeugkategorie wurde an den einzelnen Zählstellen die Verkehrszählung durchgeführt. Ebenso kann diesen Fahrzeugkategorien ein durchschnittliches Gewicht zugeordnet werden. Diese Zuordnung des durchschnittlichen Gewichts erfolgt nach folgender Vorgangsweise:

- ◆ Einspurige KFZ

Unter diese Kategorie fallen Motorfahrräder und Motorräder. Anhand des Zulassungsbestandes in Österreich für das Jahr 2000 [19] erfolgt die Berechnung des durchschnittlichen Gewichtes für diese Fahrzeugkategorie. Diese Berechnung ergibt ein durchschnittliches Gewicht von 0,2 t.

- ◆ Personenkraftwagen

Für diese Fahrzeugkategorie existieren in Österreich keine Daten über durchschnittliche Eigengewichte bzw. Gesamtgewichte. Daher musste für diese Fahrzeugkategorie das durchschnittliche Gewicht mit 1,5 t geschätzt werden.

- ◆ Personenkraftwagen mit Anhänger

Für diese Fahrzeugkategorie existieren in Österreich keine Daten über durchschnittliche Eigengewichte bzw. Gesamtgewichte. Daher musste für diese Fahrzeugkategorie das durchschnittliche Gewicht mit 2 t geschätzt werden.

- ◆ Autobusse

Das durchschnittliche Gewicht für diese Fahrzeugkategorie wurde durch telefonische Befragungen von Herstellerfirmen für Autobusse (z.B. Volvo Trucks

Austria GesmbH) ermittelt. Der daraus gebildete Mittelwert für dieses Durchschnittsgewicht beträgt 16t.

◆ Lieferwagen

Für diese Fahrzeugkategorie existieren Daten, die vom ÖSTAT veröffentlicht wurden.[20] Diese Daten wurden zur Berechnung des durchschnittlichen Gewichts herangezogen. Damit ergibt sich ein durchschnittliches Gewicht für diese Fahrzeugkategorie von 2,13 t.

◆ Lastkraftwagen ohne Anhänger

Für diese Fahrzeugkategorie existieren Daten, die vom ÖSTAT veröffentlicht wurden.[20] Diese Daten wurden zur Berechnung des durchschnittlichen Gewichts herangezogen. Damit ergibt sich ein durchschnittliches Gewicht für diese Fahrzeugkategorie von 9,46 t.

◆ Lastkraftwagen mit Anhänger, Sattelzugfahrzeuge

Für diese Fahrzeugkategorie existieren in Österreich keine Daten über durchschnittliche Eigengewichte bzw. Gesamtgewichte. Daher musste für diese Fahrzeugkategorie das durchschnittliche Gewicht mit 33 t geschätzt werden. Diese Schätzung wurde durch telefonische Kontaktaufnahme mit der Magistratabteilung 46 (Technische Prüfstelle der Magistratsabteilung 46 der Stadt Wien - Verkehrsorganisation und technische Verkehrsangelegenheiten) auf ihre Plausibilität hin überprüft.

◆ Sonstiger Güterverkehr

Diese Fahrzeugkategorie kann für Wien laut der Ergebnisse der Verkehrszählung [18] vernachlässigt werden. Daher wurde auf eine Schätzung des Durchschnittsgewichtes verzichtet. Ebenso wird diese Fahrzeugkategorie bei der nachfolgenden Berechnung des Durchschnittsgewichts aller Fahrzeuge W nicht berücksichtigt.

◆ Spezialfahrzeuge

Diese Fahrzeugkategorie kann für Wien laut der Ergebnisse der Verkehrszählung [18] vernachlässigt werden. Daher wurde auf eine Schätzung des Durchschnittsgewichtes verzichtet. Ebenso wird diese Fahrzeugkategorie bei der nachfolgenden Berechnung des Durchschnittsgewichts aller Fahrzeuge W nicht berücksichtigt.

◆ **Fahrräder**

Für diese Fahrzeugkategorie existieren in Österreich keine Daten über durchschnittliche Eigengewichte bzw. Gesamtgewichte. Daher musste für diese Fahrzeugkategorie das durchschnittliche Gewicht mit 0,09 t geschätzt werden.

Da die Messstellen für den sL-Wert ident mit diesen Zählstellen sind, kann man nach Gleichung 4-4 ein durchschnittliches Gewicht aller Fahrzeuge W an der Messstelle berechnen:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^8 (f_i \cdot \bar{M}_i)}{\sum_{i=1}^8 f_i} \quad \text{Gleichung 4-4}$$

W Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge an der Messstelle [t]

f_i Frequenz der i-ten Fahrzeugkategorie [Fahrzeuge/Stunde bzw.
Fahrzeuge/Tag, allgemein Fahrzeuge/Zeitraum]

\bar{M}_i Durchschnittsgewicht der i-ten Fahrzeugkategorie

4.3 Berechnung des Emissionsfaktors für die Messstelle

Aus der Kenntnis des sL-Wertes und des Durchschnittgewichtes aller Fahrzeuge W kann man zur Berechnung des Emissionsfaktors an der Messstelle mittels Tabelle 3.8 die geeignete Formel auswählen:

- *Tabelle 3.8: Auswahl der Gleichungen zur Berechnung von Emissionsfaktoren für befestigte Straßen [14]*

sL [g/m²]	W [t]	Gleichung	Qualität
< 2	> 4	3-4	A (veraltet)
< 2	< 4	3-2	A(veraltet)
> 2	> 6	3-4	A(veraltet)
2 < sL < 15	< 6	3-4	A(veraltet)
> 15	< 6	3-5	C(veraltet)
0,02 – 400	1,8 - 38	3-1	A

Die in der Tabelle 3.8 angeführten Gleichungen sind in Kapitel 3 – Theoretische Grundlagen ausführlich diskutiert (siehe dazu auch die Berechnungsbeispiele in Kapitel 3). In der Regel wird man mit der aktuellsten Gleichung der EPA (Gleichung 3-1) die Emissionsfaktoren für die Messstellen berechnen können. Sollten dennoch die Randbedingung für die Verwendung der Formel 3-1 (sL-Wert, Durchschnittsgewicht aller Fahrzeuge W) nicht erfüllt sein, sollte man auf die anderen Gleichungen der EPA für befestigte Strassen zurückgreifen.

5 Ergebnisse der Überprüfung der Verwendbarkeit dieser Mess- und Berechnungsvorschrift

5.1 Ergebnisse der Messung des sL-Wertes

In Abhängigkeit der Witterungsverhältnisse konnten die Messstellen unterschiedlich oft angefahren werden. Die sL-Werte wurden in der 50. und 51. Kalenderwoche im Jahr 2000 gemessen:

- *Tabelle 5.1: Ergebnisse der sL-Wert-Messung*

Messstelle	Gemessener sL-Wert [g/m ²]
Mariahilfer Gürtel vor Kirche	-
Hernalser Gürtel Höhe Thelemangasse (in der Nähe der Luftmessstelle Währinger Gürtel der MA 22)	2 Messungen des sL-Wertes: 0,05 / 0,09 Mittelwert: 0,07
Margaretengürtel bei Arbeiter- u. Steinbauergasse	-
Hadikgasse zwischen Schönbr.- u. Kennedy-Brücke	-
Linke Wienzeile stadtausw. vor Lobkowitzbrücke (in der Nähe der Luftmessstelle Gaudenzdorf der MA 22)	1 Messung des sL-Wertes: 0,03
Triester Strasse bei Spinnerin am Kreuz	-
Hadikgasse bei Braunschweigasse	1 Messung des sL-

	Wertes: 0,43
Hadikgasse zw. Gulden- u. Bräuhaus-Brücke	1 Messung des sL- Wertes: 0,05
Wagramer Strasse bei Donauzentrum	1 Messung des sL- Wertes: 0,04
Lassallestrasse zw. Praterstern u. Reichsbrücke	-
Erzherzog Karl-Strasse bei Ostbahnunterführung (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	2 Messungen des sL- Wertes: 0,16 / 0,21 Mittelwert: 0,185
Gablenzgasse/Koppstr. Höhe Hippgasse	-
Erdberger Lände vor ONr. 36	1 Messung des sL- Wertes: 0,05
Brünnerstrasse bei Shuttleworthstrasse (B229) (in der Nähe der Luftmessstelle Gerichtsgasse der MA 22)	1 Messung des sL- Wertes: 0,19
Raxstrasse zw. Triester- u. Laxenburger Strasse	-
Adalbert Stifter Strasse bei Gürtelbrücke	1 Messung des sL- Wertes: 0,06
Schloßallee unter Westbahn	-
Wienerbergstrasse vor ONr. 15	-
Prager Strasse nach Anton Störck-Str. (in der Nähe der Luftmessstelle Gerichtsgasse der MA 22)	-
Ludwig von Höhnel-Gasse (in der Nähe der Luftmessstelle)	1 Messung des sL-

Laaerberg der MA 22)	Wertes: 0,10
Rautenweg bei Ostbahn (nördl. Linie)	2 Messungen des sL- Wertes: 0,17 / 0,12 Mittelwert: 0,145
Donaustadtstrasse bei Erzherzog Karl Strasse	-
Siemensstrasse	2 Messungen des sL- Wertes: 0,08 / 0,13 Mittelwert: 0,105
Maroltingergasse zw. Wiesberg- u. Rankgasse	-
Breitenfurter Strasse zw. Rodaunerstrasse u. Willergasse	-
Krottenbachstrasse zw. Flotow- u. Budinskygasse	1 Messung des sL- Wertes: 0,48
Landstraßer Hauptstrasse	1 Messung des sL- Wertes: 0,08
Dornbacher Strasse bei St. Anna Kapelle	-
Kaiser Ebersdorferstrasse nach Florian Hedorferstrasse	1 Messung des sL- Wertes: 0,06
Stadlauer Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	-
Leopoldsdorfer Strasse bei Laaerbergstrasse	1 Messung des sL- Wertes: 0,10
Breitenleerstrasse unter Ostbahn (nördl. Linie)	2 Messungen des sL-

	Wertes: 0,04 / 0,07 Mittelwert: 0,055
Wiener Gasse bei Ketzer Gasse-Landesgrenze	-
Mauerbachstrasse	2 Messungen des sL- Wertes: 0,16 / 0,13 Mittelwert: 0,145
Zehetnergasse unter Westbahn	-
Gerasdorfer Strasse (Gerasdorf)	1 Messung des sL- Wertes: 0,07
Kirchstetterngasse zw. Kopp- u. Hasnerstrasse	1 Messung des sL- Wertes: 0,83
Asperner Strasse bei Ostbahn (Marchegger Ast)	2 Messungen des sL- Wertes: 0,08 / 0,05 Mittelwert: 0,065
Rautenweg bei Bahnhofssiedlung	2 Messungen des sL- Wertes: 0,04 / 0,04 Mittelwert: 0,04
Haberlgasse zw. Hasner- u. Koppstrasse	-
Kaltenleutgeber Str. bei Hochstr.	-
Telephonweg bei Ostbahn (Marchegger Ast)	1 Messung des sL- Wertes: 0,10
Höhenstrasse-Landesgrenze	2 Messungen des sL- Wertes:

	0,05 / 0,06 Mittelwert: 0,055
--	----------------------------------

5.2 Ergebnisse der Berechnung des Durchschnittsgewichtes aller Fahrzeuge W an den Messstellen

- Tabelle 5.3: Durchschnittsgewichte aller Fahrzeuge W an den Messstellen

Messstelle	Durchschnittliches Gewicht aller Fahrzeuge W
Mariahilfer Gürtel vor Kirche	1,95
Hernalser Gürtel Höhe Thelemangasse (in der Nähe der Luftmessstelle Währinger Gürtel der MA 22)	1,82
Margaretengürtel bei Arbeiter- u. Steinbauergasse	1,98
Hadikgasse zwischen Schönbr.- u. Kennedy-Brücke	2,19
Linke Wienzeile stadtausw. vor Lobkowitzbrücke (in der Nähe der Luftmessstelle Gaudenzdorf der MA 22)	2,01
Triester Strasse bei Spinnerin am Keuz	1,98
Hadikgasse bei Braunschweiggasse	2,21
Hadikgasse zw. Gulden- u. Bräuhaus-Brücke	2,24
Wagramer Strasse bei Donauzentrum	2,05
Lassallestrasse zw. Praterstern u. Reichsbrücke	2,08
Erzherzog Karl-Strasse bei Ostbahnunterführung (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	1,93
Gablenzgasse/Koppstrasse Höhe Hippgasse	1,90
Erdberger Lände vor ONr. 36	2,21
Brünnerstrasse bei Shuttleworthstrasse (B229) (in der Nähe	2,36

der Luftmessstelle Gerichtsgasse der MA 22)	
Raxstrasse zw. Triester- u. Laxenburger Strasse	2,09
Adalbert Stifter Strasse bei Gürtelbrücke	2,04
Schloßallee unter Westbahn	2,27
Wienerbergstrasse vor ONr. 15	2,10
Prager Strasse nach Anton Störck-Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Gerichtsgasse der MA 22)	1,98
Ludwig von Höhnel-Gasse (in der Nähe der Luftmessstelle Laaerberg der MA 22)	2,22
Rautenweg bei Ostbahn (nördl. Linie)	2,74
Donaustadtstrasse bei Erzherzog Karl Strasse	2,02
Siemensstrasse	2,03
Maroltingergasse zw. Wiesberg- u. Rankgasse	2,09
Breitenfurter Strasse zw. Rodaunerstrasse u. Willergasse	2,23
Krottenbachstrasse zw. Flotow- u. Budinskygasse	2,00
Landstraßer Hauptstrasse	1,98
Dornbacher Strasse bei St. Anna Kapelle	1,80
Kaiser Ebersdorferstrasse nach Florian Hedorferstrasse	2,42
Stadlauer Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	1,86
Leopoldsdorfer Strasse bei Laaerbergstrasse	1,87
Breitenleerstrasse unter Ostbahn (nördl. Linie)	2,36
Wiener Gasse bei Ketzer Gasse-Landesgrenze	2,16
Mauerbachstrasse	2,00
Zehetnergasse unter Westbahn	2,03
Gerasdorfer Strasse (Gerasdorf)	1,90
Kirchstetterngasse zw. Kopp- u. Hasnerstrasse	1,82
Asperner Strasse bei Ostbahn (Marchegger Ast)	2,34
Rautenweg bei Bahnhofssiedlung	3,49
Haberlgasse zw. Hasner- u. Koppstrasse	1,69
Kaltenleutgeber Strasse bei Hochstrasse	3,44

Telephonweg bei Ostbahn (Marchegger Ast)	1,84
Höhenstrasse-Landesgrenze	2,04

5.3 Berechnung der Emissionsfaktoren an den Messstellen

Da sowohl die sL-Werte als auch das durchschnittliche Fahrzeuggewicht W an den Messstellen im dem Gültigkeitsbereich der Formel 3-1 lagen, wurde zur Berechnung der Emissionsfaktoren an den einzelnen Messstellen Formel 3-1 herangezogen.

Der Emissionsfaktor hat die Einheit g/VKT. Die von der EPA verwendete Bezeichnung VKT (Vehicle Kilometer Travelled) kann anhand nachfolgendem Beispiel erklärt werden:

Der Emissionsfaktor beträgt für eine Strasse z.B. 1 g/VKT. Will man nun die täglichen Emissionen für ein Auto berechnen, welches auf dieser Straße in einem Tag 10 km zurückgelegt hat, so muss man den Emissionsfaktor mit dem Faktor 10 (ergibt sich aus 1 Auto * 10 km) multiplizieren. Somit würden die Emissionen, die durch dieses Auto verursacht werden, 10 g Staub/Tag betragen. Will man hingegen die täglichen Emissionen von 100 Autos berechnen, die durchschnittlich jeweils 5 km auf dieser Straße zurückgelegt haben, so muss man den Emissionsfaktor mit einem Faktor 500 (ergibt sich aus 100 Autos * 5km) multiplizieren. Somit würden die Emissionen 500 g Staub/Tag betragen.

- *Tabelle 5.3: Berechnete Emissionsfaktoren an den Messstellen*

Messstelle	Emis- sions- faktor für PM- 2,5 [g/VKT]	Emis- sions- faktor für PM- 10 [g/VKT]	Emis- sions- faktor für PM- 15 [g/VKT]	Emis- sions- faktor für PM- 30 [g/VKT]
Mariahilfer Gürtel vor Kirche	-	-	-	-
Hernalser Gürtel Höhe Thelemangasse (in der Nähe der Luftmessstelle Währinger Gürtel der MA 22)	0,06	0,25	0,29	1,28
Margaretengürtel bei Arbeiter- u. Steinbauergasse	-	-	-	-
Hadikgasse zwischen Schönbr.- u. Kennedy-Brücke	-	-	-	-
Linke Wienzeile stadtausw. vor Lobkowitzbrücke (in der Nähe der Luftmessstelle Gaudenzdorf der MA 22)	0,04	0,16	0,20	0,86
Triester Strasse bei Spinnerin am Keuz	-	-	-	-
Hadikgasse bei Braunschweiggasse	0,26	1,07	1,28	5,59
Hadikgasse zw. Gulden- u. Bräuhaus- Brücke	0,06	0,27	0,32	1,41
Wagramer Strasse bei Donauzentrum	0,05	0,20	0,24	1,07
Lassallestrasse zw. Praterstern u. Reichsbrücke	-	-	-	-
Erzherzog Karl-Strasse bei Ostbahnunterführung (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	0,12	0,51	0,60	2,64
Gablengasse/Koppstr. Höhe Hippgasse	-	-	-	-
Erdberger Lände vor ONr. 36	0,06	0,26	0,32	1,38
Brünnerstrasse bei Shuttleworthstrasse (B229) (in der Nähe der Luftmessstelle	0,17	0,69	0,83	3,63

Gerichtsgasse der MA 22)				
Raxstrasse zw. Triester- u. Laxenburger Strasse	-	-	-	-
Adalbert Stifter Strasse bei Gürtelbrücke	0,06	0,26	0,32	1,38
Schloßallee unter Westbahn	-	-	-	-
Wienerbergstrasse vor ONr. 15	-	-	-	-
Prager Strasse nach Anton Störck-Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Gerichtsgasse der MA 22)	-	-	-	-
Ludwig von Höhnel-Gasse (in der Nähe der Luftmessstelle Laaerberg der MA 22)	0,10	0,42	0,50	2,18
Rautenweg bei Ostbahn (nördl. Linie)	0,17	0,73	0,87	3,81
Donaustadtstrasse bei Erzherzog Karl Strasse	-	-	-	-
Siemensstrasse	0,09	0,38	0,45	1,97
Maroltingergasse zw. Wiesberg- u. Rankgasse	-	-	-	-
Breitenfurter Strasse zw. Rodaunerstrasse u. Willergasse	-	-	-	-
Krottenbachstrasse zw. Flotow- u. Budinskygasse	0,24	0,99	1,18	5,17
Landstraßer Hauptstrasse	0,07	0,30	0,36	1,59
Dornbacher Strasse bei St. Anna Kapelle	-	-	-	-
Kaiser Ebersdorferstrasse nach Florian Hedorferstrasse	0,08	0,34	0,41	1,78
Stadlauer Strasse (in der Nähe der Luftmessstelle Stadlau der MA 22)	-	-	-	-
Leopoldsdorfer Strasse bei Laaerbergstr.	0,08	0,32	0,39	1,69
Breitenleerstrasse unter Ostbahn (nördl. Linie)	0,07	0,31	0,37	1,62

Wiener Gasse bei Ketzer Gasse- Landesgrenze	-	-	-	-
Mauerbachstrasse	0,11	0,45	0,54	2,37
Zehetnergasse unter Westbahn	-	-	-	-
Gerasdorfer Strasse (Gerasdorf)	0,06	0,26	0,31	1,37
Kirchstetterngasse zw. Kopp- u. Hasnerstrasse	0,29	1,23	1,47	6,40
Asperner Strasse bei Ostbahn (Marchegger Ast)	0,08	0,34	0,41	1,78
Rautenweg bei Bahnhofssiedlung	0,11	0,45	0,54	2,37
Haberlgasse zw. Hasner- u. Koppstrasse	-	-	-	-
Kaltenleutgeber Strasse bei Hochstrasse	-	-	-	-
Telephonweg bei Ostbahn (Marchegger Ast)	0,08	0,32	0,38	1,64
Höhenstrasse-Landesgrenze	0,06	0,25	0,30	1,30

6 Zusammenfassung

Diffuse Staubemissionen von befestigten Straßen besitzen in Ballungsräumen einen großen Anteil an den gesamten Staubemissionen. Insbesondere die Fraktionen unter einem aerodynamischen Durchmesser von 10 μm sind aus gesundheitlicher Sicht von großem Interesse.

In diesem Projekt, das als Vorprojekt konzipiert ist, sollte die Anwendung einer von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde entwickelten Messvorschrift für Wien überprüft werden. Durch umfangreiche Literaturrecherche wurden die genauen Messvorschriften der EPA für befestigte Straßen ermittelt und auf ihre Anwendbarkeit für Wien hin getestet. Als Ergebnis dieser Überprüfung wurde eine detaillierte Mess- und Berechnungsvorschrift erarbeitet.

Die für die Messungen notwendige Messanordnung wurde konzipiert und durch erste Messungen auf ihre Verwendbarkeit hin überprüft. Für die Messungen wurden nach einem statistischen Verfahren Messstellen im Stadtgebiet von Wien ausgewählt und die zur Berechnung der Emissionsfaktoren notwendigen Eingangsparameter bestimmt. Nach einem Auswerteverfahren, welches in diesem Bericht detailliert beschrieben ist, wurden aus den Messdaten anschließend Emissionsfaktoren für die Messstellen berechnet.

Die ermittelten sL-Werte liegen in den für die Formel angegebenen Gültigkeitsbereichen und die für die Ermittlung der Fahrzeugdurchschnittsgewichte notwendigen Verkehrszählraten konnten verfügbar gemacht werden.

Die errechneten Emissionsfaktoren sind daher realistisch und liegen im Bereich von in der Literatur zitierten Werten [21].

Der Fahraufwand (Fahrzeit und Fahrstrecke) hat sich etwas aufwendiger als ursprünglich geplant herausgestellt. Durch Verlegung der Messfahrten in die Nacht konnte dies etwas entschärft werden.

Die zusammengestellte Messapparatur bestehend aus den Teilen zum Aufsaugen des Staubbelages von der Straße und der Siebanalyse konnte als praktisch geeignet angesehen werden. Es kann daher schlussgefolgert werden, dass die im gegenständlichen Forschungsprojekt verwendete Mess- und Berechnungsvorschrift als geeignet zur Bestimmung der Staubemission in Wien angesehen werden kann. Die Berechnung der Staubemissionen über das Jahr, bzw. die Durchführung von Simulationsrechnungen zur Entwicklung von Staubreduktionsmaßnahmen kann als durchführbar erachtet werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1]: Höflinger, W.: Vortragsmanuskripte zum Symposium Luftreinhaltung, Vorwort, 1997
- [2]: N.N.: Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva, 1999
- [3]: Winkler, W.: Verfahrenscheme und Umweltschutz, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft Berlin, 1986
- [4]: Bundesministerium für Arbeit und Soziales; Aerosole - Stäube, Rauche und Nebel, MAK, 24.Lieferung, 1997
- [5]: Höflinger, W.: Skriptum zur Lehrveranstaltung Entstaubungstechnik, TU Wien
- [6]: VDI 3790, Blatt 3, Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen, Lagerung, Umschlag, und Transport von Schüttgütern, Mai 1999
- [7]: Holzhauser, R.: Beitrag zur Beurteilung und Weiterentwicklung von Emissionsminderungsmaßnahmen beim Umschlag staubender Schüttgüter, Diss. Univ. Dortmund, 1991
- [8]: N.N.: Umweltbundesamt, Statistisches Bundesamt Deutschlands, Environmental data Germany, KOMAG Berlin-Brandenburg, 1998
- [9]: N.N.: U.S. Environmental Protection Agency, Sources and Emissions of Atmospheric Particles, 1994
<http://www.epa.gov/nceawww1/pdfs/0671ch05.pdf>
- [10]: N.N.: Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.1 Paved Roads, EPA Contract No. 68-D2-0159, Midwest Research Institute, Kansas City, MO, 1997
- [11]: Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, April 1999
- [12]: N.N.: TTN Web, Chief; AP-42, Fugitive Dust Sources, EPA
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/c13s02.txt>
- [13]: Trenker, C.; Höflinger, W.: Diffuse Staubemissionen: Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren und Laboruntersuchungen von staubenden Schüttgütern, Endbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des BM für Umwelt, Jugend und Familie, BM für Wissenschaft und Verkehr und des Amtes der NÖ Landesregierung, 1999, 164 S. + Anhang
- [14]: N.N.: Background Documentation for AP-42, Section 11.2.5, Paved Roads, Office of Air Quality Planning and Standards, EPA Contract No. 68-DO-0123, Work Assignment No. 44, March 8, 1997

- <http://www.epa.gov/ttn/chief/fbgdocs/b13s02-1.pdf>
- [15] Axtell, K.; Zell, J.: *Controll of reentraines dust from paved streets*, EPA-907/9-77-007, U.S. Environmental Protection Agency, Region VII, Kansas City, MO, 1977
- [16] N.N.: *Siebvergleichstabelle der Fa. Retsch GmbH. & Co. KG, BRD*, 2000
<http://www.retsch.de>
- [17] N.N.: *Procedures for Loboratory Analysis of Surface / Bulk Dust Loading Samples, Background Documentation for AP-42, Appendix C.2*, EPA, 1995
- [18] Steierwald, G.; Fußeis, W.; Schlosser, F.: *Auswertung der händischen Strassenverkehrszählung 1995 auf Wiener Bundes- und Gemeindestraßen, durchgeführt im Auftrag des BM für wirtschaftliche Angelegenheiten und der Magistratsabteilung 18*, 1995
- [19] N.N.: *Zulassungsbestand Motorfahräder und Motorräder Österreich 2000*, Internetseite KFZ-Online, 2000
<http://www.kfz-online.at/Datafact/stats>
- [20] N.N.: *Bestandsstatistik der Kraftfahrzeuge in Österreich 1999*, herausgegeben von der Bundesanstalt Statistik Österreich (ÖSTAT), 2000
- [21] Zimmer, R.A.; Reeser, W.K.; Cummins, P.: *Evaluation of PM 10 Emission Factors for Paved Streets, PM 10 Standards and Nontraditional Particulate Source Controls*, Air and Waste Management Association, 1992

8 *Abbildungsverzeichnis*

- *Abbildung 1.1 : Unterscheidungskriterien zwischen Punktquelle und diffuser Quelle*[7]7
- *Abbildung 1.2: Entwicklung der Staubemissionen in Deutschland 1990 und 1996* [8]... 8
- *Abbildung 1.3: Vergleich der Stärke einiger diffuser PM-10 Quellarten, veröffentlicht für das Jahr 1993 von der EPA* [9] 9
- *Abbildung 1.4: Depositions- und Entfernungsmechanismen für Straßenstaub* [10] 10
- *Abbildung 3.1: graphische Darstellung des Begriffes Straßenabschnitt* 29
- Abbildung 4.1: Wolfgang Koschutnig bei den Vorbereitungsarbeiten zur Messung des sL-Wertes* 34
- Abbildung 4.2: Rückansicht des Messfahrzeuges. In dieser Abbildung sieht man den Stromerzeuger mit dem adaptierten Auspuff und dem darauf montierten Arbeitsscheinwerfer. Links daneben befindet sich der Transportbehälter.* 34
- *Abbildung 10.1: Tageshöchsttemperaturen im Messzeitraum*..... 60
- *Abbildung 10.2: Tagestiefsttemperaturen im Messzeitraum*..... 61
- *Abbildung 10.3: durchschnittliche Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum*..... 62
- *Abbildung 10.4: Tagessumme Niederschlag in Messzeitraum* 63
- *Abbildung 10.5: relative Luftfeuchtigkeit an den Messtagen* 64

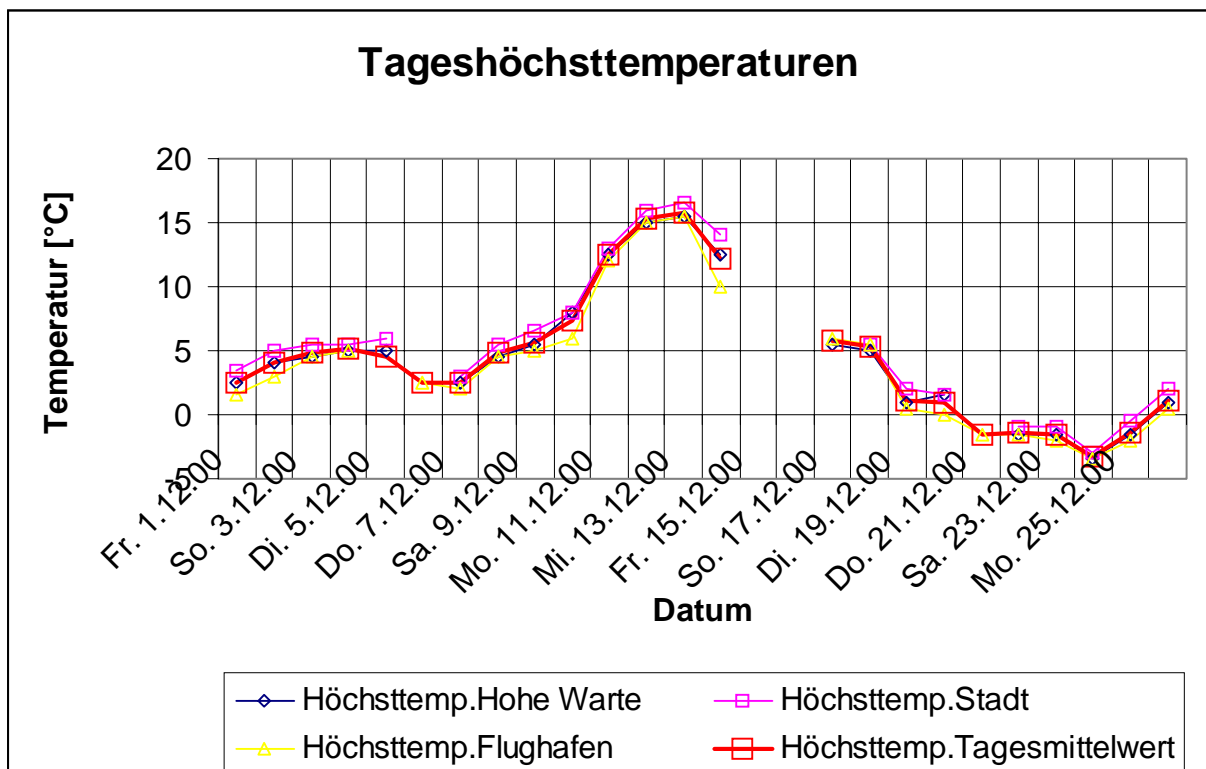
9 Tabellenverzeichnis

• Tabelle 1.1 : Hauptunterschiede zwischen Punktquelle und diffuser Quelle [7]	4
• Tabelle 2.1: Arbeitsplan	14
• Tabelle 3.2: Partikelgrößenabhängiger Faktor k für Gleichung 3-1 [14]	18
• Tabelle 3.3 Abschätzung des Feinkornanteiles PM-75 der Oberflächenbeladung für Industriestraßen [14]:	19
• Tabelle 3.4 Empfohlener Minderungswert des Feinkornanteils PM-75 der Oberflächenbeladung für öffentliche, befestigte Straßen [11]	19
• Tabelle 3.5: Werte von k und p für Gleichung 3-2 [14]	20
• Tabelle 3.6 : Partikelgrößenabhängiger Faktor für Gleichung 6-4 [14]	22
• Tabelle 3.7: Partikelgrößenabhängiger Faktor für Gleichung 3-5 [14]	22
• Tabelle 3.8: Auswahl der Gleichungen zur Berechnung von Emissionsfaktoren für befestigte Straßen [14]	23
• Tabelle 3.9: Die von der EPA vorgeschlagenen Siebe für die Bestimmung des sL -Wertes:	30
• Tabelle 3.8: Auswahl der Gleichungen zur Berechnung von Emissionsfaktoren für befestigte Straßen [14]	43
• Tabelle 5.1: Ergebnisse der sL -Wert-Messung	44
• Tabelle 5.3: Durchschnittsgewichte aller Fahrzeuge W an den Messstellen.....	48
• Tabelle 5.3: Berechnete Emissionsfaktoren an den Messstellen.....	50

10 Anhang

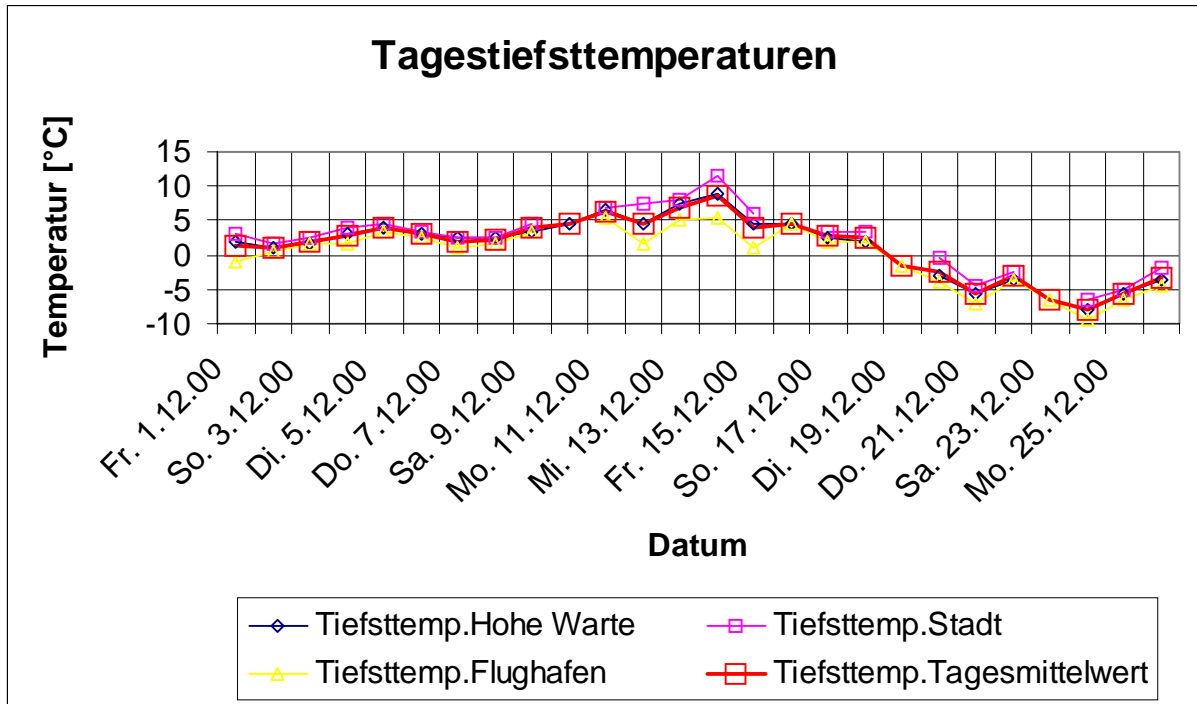
Für ein in einem etwaig nachfolgenden Forschungsprojekt geplanten Simulationsprogramm bezüglich der Einflussfaktoren auf den sL-Wert wurden parallel zu den Messungen der sL-Werte zusätzliche Daten erfasst. Wie aus der Literatur bekannt, stellen insbesondere meteorologische Einflüsse wie Wind und Niederschläge wichtige Einflussfaktoren auf den sL-Wert dar. Nachfolgend sind daher die wichtigsten meteorologischen Parameter für den Messzeitraum dargestellt.

10.1 Tageshöchsttemperaturen im Messzeitraum



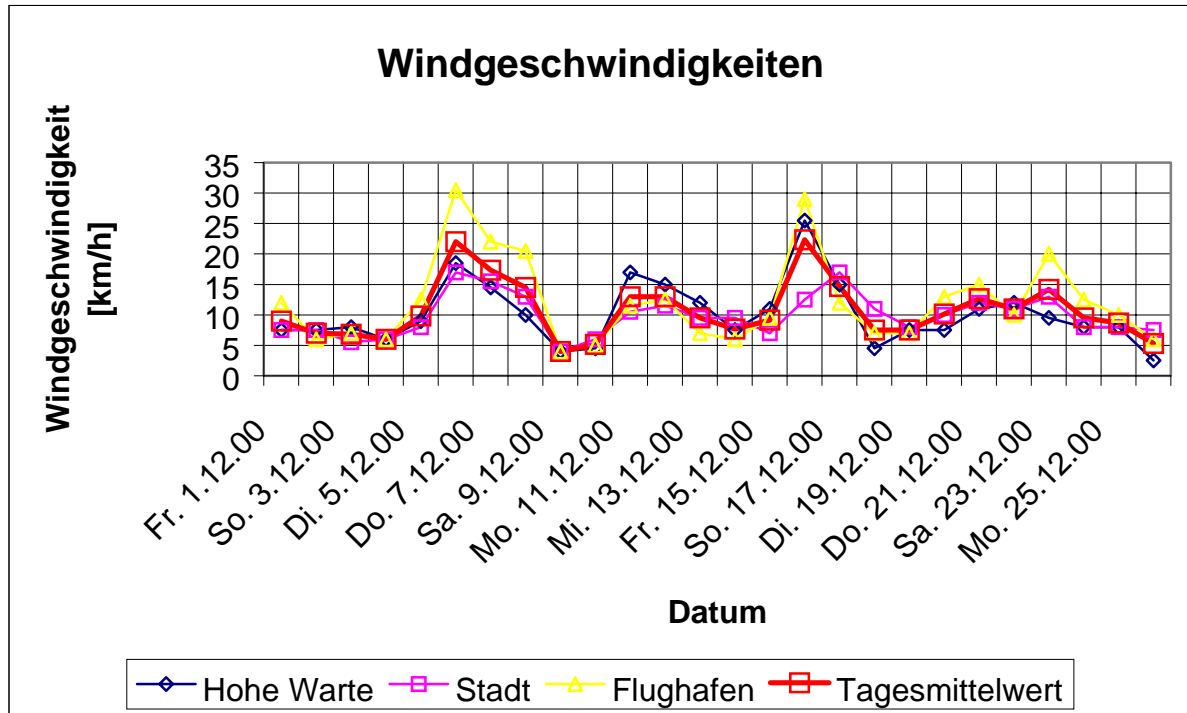
• *Abbildung 10.1: Tageshöchsttemperaturen im Messzeitraum*

10.2 Tagestiefsttemperaturen im Messzeitraum



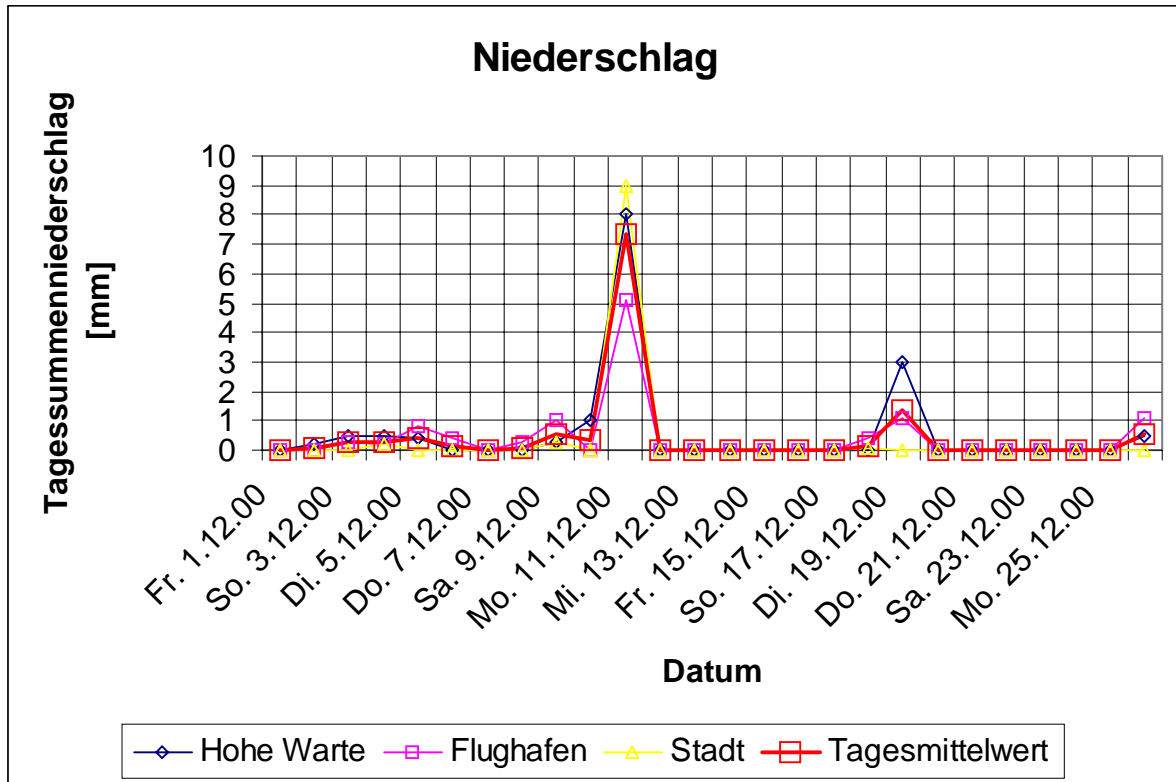
• Abbildung 10.2: Tagestiefsttemperaturen im Messzeitraum

10.3 Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum



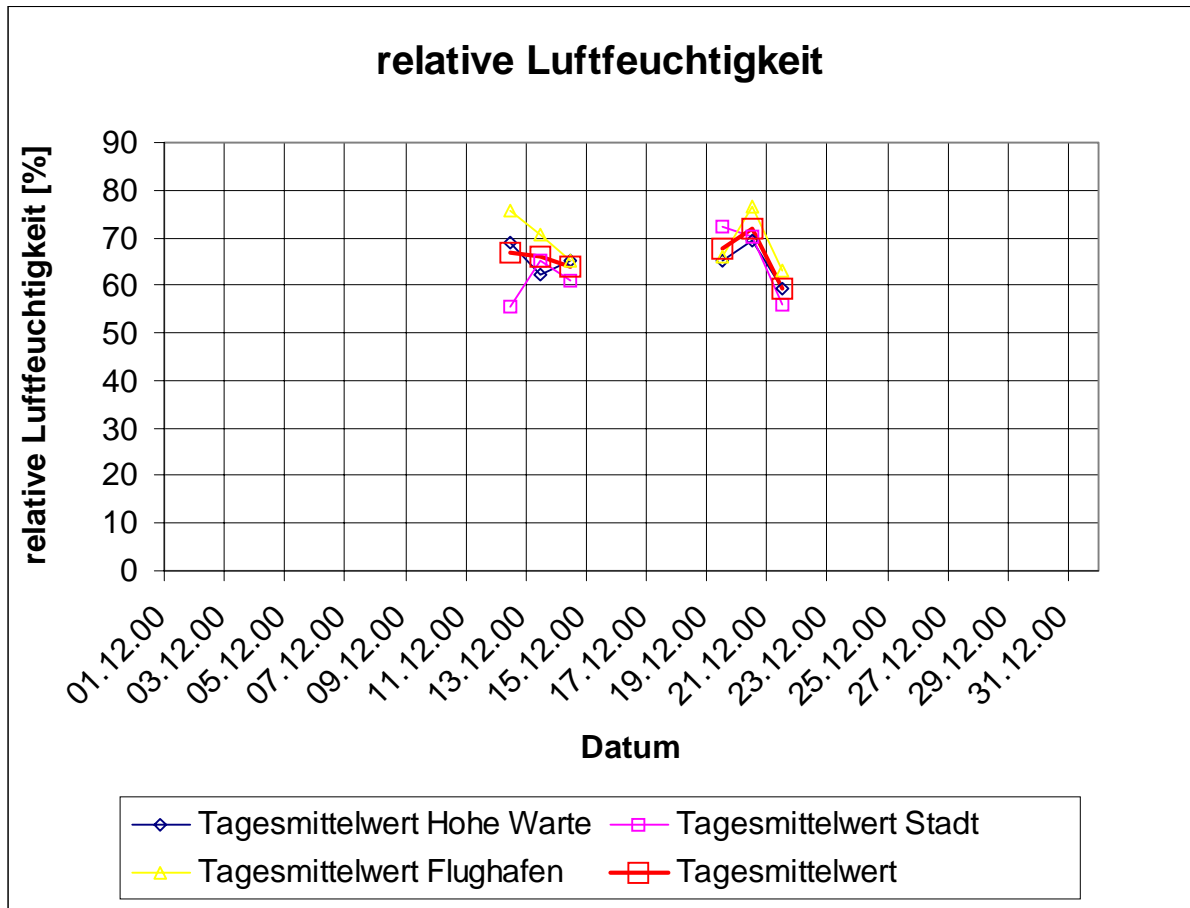
• Abbildung 10.3: durchschnittliche Windgeschwindigkeiten im Messzeitraum

10.4 Tagessummen an Niederschlag im Messzeitraum



• *Abbildung 10.4: Tagessumme Niederschlag in Messzeitraum*

10.5 Relative Luftfeuchtigkeit im Messzeitraum



• *Abbildung 10.5: relative Luftfeuchtigkeit an den Messtagen*